

CADERNOS

 **FGV ENERGIA**

AGOSTO 2017 | ANO 4 | Nº 8 | ISSN 2358-5277

BIO

COMBUSTÍVEIS



BIO

COMBUSTÍVEIS



DIRETOR

Carlos Otavio de Vasconcellos Quintella

EQUIPE TÉCNICA

Coordenação Editorial

Felipe Gonçalves

Autores

Fernanda Delgado

Milas Evangelista de Sousa

Tamar Roitman

EQUIPE DE PRODUÇÃO

Coordenação Operacional

Simone Corrêa Lecques de Magalhães

Execução

Raquel Dias de Oliveira

Diagramação

Bruno Masello e Carlos Quintanilha



ESCRITÓRIO

Praia de Botafogo, 210 - Cobertura 02, Rio de Janeiro | RJ, CEP: 22250-145
Tel.: (21) 3799-6100 | www.fgv.br/energia | fgvenergia@fgv.br

PRIMEIRO PRESIDENTE FUNDADOR

Luiz Simões Lopes

PRESIDENTE

Carlos Ivan Simonsen Leal

VICE-PRESIDENTES

Sergio Franklin Quintella, Francisco Oswaldo Neves Dornelles
e Marcos Cintra Cavalcanti de Albuquerque



Instituição de caráter técnico-científico, educativo e filantrópico, criada em 20 de dezembro de 1944 como pessoa jurídica de direito privado, tem por finalidade atuar, de forma ampla, em todas as matérias de caráter científico, com ênfase no campo das ciências sociais: administração, direito e economia, contribuindo para o desenvolvimento econômico-social do país.

DIRETOR

Carlos Otavio de Vasconcellos Quintella

SUPERINTENDENTE DE ENSINO E P&D

Felipe Gonçalves

SUPERINTENDENTE ADMINISTRATIVA

Simone Corrêa Lecques de Magalhães

SUPERINTENDENTE DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

E RESPONSABILIDADE SOCIAL

Luiz Roberto Bezerra

CONSULTORES ESPECIAIS

Milas Evangelista de Sousa

Nelson Narciso Filho

Paulo César Fernandes da Cunha

PESQUISADORES

André Lawson Pedral Sampaio

Fernanda Delgado

Guilherme Armando de Almeida Pereira

Júlia Febraro França G. da Silva

Larissa de Oliveira Resende

Mariana Weiss de Abreu

Tamar Roitman

Tatiana de Fátima Bruce da Silva

AUXILIAR ADMINISTRATIVA

Ana Paula Raymundo da Silva

ANALISTA DE NEGÓCIOS

Raquel Dias de Oliveira

ESTAGIÁRIA

Larissa Schueler Tavernese

Agradecimento

Este trabalho foi possível graças à colaboração de diversos profissionais ligados aos setores de biocombustíveis e energético, áreas diretamente impactadas pelos desdobramentos do programa RenovaBio. A contribuição desses profissionais nos auxiliaram a melhor entender quais são os desafios e oportunidades ligados ao desenvolvimento do setor de biocombustíveis não só no Brasil, mas também no mundo.

Em nome da **FGV Energia**, agradecemos a todos aqueles que disponibilizaram seu tempo para a realização de conversas sobre o tema: Alberto Borges de Souza, Alessandro Arco Gardemann, Angela Oliveira da Costa, Artur Yabe Milanez, Aurélio Cesar Nogueira Amaral, Bernardo Gradin, Carlos Eduardo Cavalcanti, Carolina Grassi, Christian Michael Wahnfried, Cid Jorge Caldas, Cleber Lima Guarany, Daniel Furlan Amaral, Donizete Tokarski, Edson Orikassa, Elizabeth Farina, Erasmo Carlos Battistella, Fábio Venturelli, Gonçalo Amarante Guimarães Pereira, Henry Joseph Junior, Ivan Coelho, Jackson da Silva Albuquerque, Jaime Finguerut, João Roberto Rodrigues, Joaquim Eugênio Abel Seabra, José Mauro Ferreira Coelho, José Velloso Dias Cardoso, Leandro de Barros Silva, Luciano Rodrigues, Luis Henrique Guimarães, Luis Oriani, Luís Roberto Pogetti, Luiz Carlos Corrêa Carvalho, Luiz de Mendonça, Luiz Guilherme Ribeiro, Marcelo Melo Ramalho Moreira, Marcelo Weyland Barbosa Vieira, Marcos Clemente, Mariana Cals, Marília Ieda da Silveira Folegatti Matsuura, Marlon Arraes Jardim Leal, Martin Mitchell, Martinho Seiti Ono, Miguel Ivan Lacerda de Oliveira, Mirian Rumenos Piedade Bacchi, Nilton Monteiro, Otávio Cavalett, Paulo Melo, Plínio Mário Nastari, Rafael Barros Araujo, Rafael Vizeu Mancuso, Ricardo Abe, Ricardo Borges Gomide, Ruy Chammas, Sandro Paes Barreto, Sergio Beltrão e outros profissionais que também contribuíram para a realização deste projeto.

Aproveitamos também para expressar nossa gratidão aos nossos colegas da FGV Energia. Em nossos ambientes de trabalho, o debate e a colaboração são constantes, contribuindo para a realização de pesquisa e publicações decorrentes que, esperamos, auxiliem no fortalecimento do setor energético e no desenvolvimento do nosso país.

FERNANDA DELGADO

Pesquisadora FGV Energia

TAMAR ROITMAN

Pesquisadora FGV Energia

MILAS EVANGELISTA DE SOUSA

Consultor FGV Energia

Índice

06

SUMÁRIO EXECUTIVO

09

INTRODUÇÃO

17

RENOVABIO

25

ETANOL

63

BIODIESEL

95

NOVOS BIOCOMBUSTÍVEIS

106

CONSIDERAÇÕES FINAIS

109

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Sumário Executivo

- O RenovaBio, como parte integrante da Política Energética Nacional, tem como objetivo assegurar previsibilidade para a participação dos combustíveis renováveis no mercado de combustíveis, promover a geração de investimentos e empregos no setor de biocombustíveis, além de promover a competitividade do Brasil no mercado internacional de biocombustíveis, bem como impulsionar o desenvolvimento tecnológico e a inovação para aumentar a competitividade destes.
 - As perspectivas de crescimento do setor de etanol giram em torno da retomada dos investimentos e no aumento da produção, tendo como mote: os cenários de oportunidades criados pelos compromissos assumidos na COP 21, uma nova proposta regulatória voltada para a promoção dos biocombustíveis (RenovaBio), o desenvolvimento tecnológico com foco no aumento da produtividade, a garantia de abastecimento de combustíveis de ciclo Otto e o aprimoramento de motores a combustão para serem mais eficientes com o uso do etanol, assim como o desenvolvimento de motores híbridos e motores elétricos à célula combustível.
 - O panorama apresentado para o setor de biodiesel vislumbra o aumento da produção a partir dos seguintes motivos: cenário de oportunidades criado pelas metas assumidas na COP 21 (redução das emissões de GEE e percentuais definidos para a bioenergia na matriz); nova proposta regulatória voltada para a promoção dos biocombustíveis; aumento dos mandatos de mistura, já estabelecidos em Lei e autorizados
-

mediante a realização de testes; desenvolvimento de programas voltados à produção de novas oleaginosas, como a palma; utilização da capacidade ociosa de esmagamento de soja, com a ampliação do mercado de farelo.

- O Brasil, além de possuir larga experiência na produção de biocombustíveis e apresentar condições climáticas favoráveis para tal, possui área agrícola suficiente para o plantio de culturas com fins energéticos de forma a não afetar a produção de alimentos, o que representa uma vantagem que deve ser aproveitada. As externalidades positivas da maior penetração de biocombustíveis são muitas, entre elas a geração de empregos, o aumento da renda e o desenvolvimento tecnológico, bem como a redução dos impactos no clima e na saúde humana.

- A condição de destaque do Brasil é reconhecida internacionalmente, visto pelo seu papel de liderança em grandes fóruns mundiais. O país já estabeleceu compromissos importantes na COP 21, mas estes precisam ser desmembrados em metas claras e com prazos definidos, envolvendo um arcabouço regulatório que traga segurança e confiabilidade e mecanismos de mercado que promovam a competitividade dos biocombustíveis, de forma que se consiga retomar os investimentos e que o país responda à altura do que se espera dele e, principalmente, que aproveite todo o seu potencial.



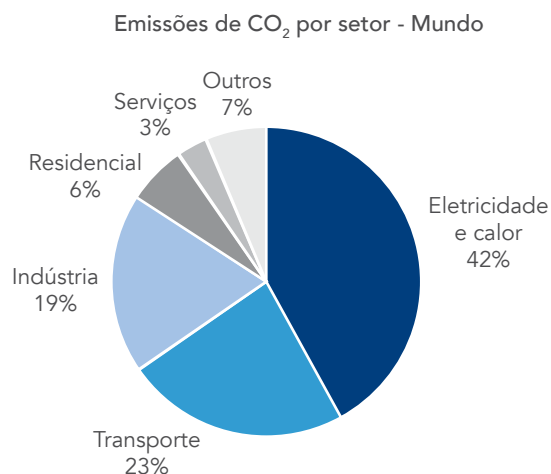
Introdução

Durante a 21ª Conferência das Partes (COP 21), em 2015, foi aprovado o Acordo de Paris, no qual um dos objetivos é manter o aquecimento global abaixo de 2°C, com esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C, em relação aos níveis pré-industriais. O Acordo foi considerado um marco nas discussões climáticas, por ter conseguido a assinatura de 195 países e a ratificação de 155, quase 80% (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, 2017), sinalizando um forte movimento global na busca por soluções para os impactos ambientais causados pela ação antropogênica. Para alcançar os objetivos do Acordo, os países participantes apresentaram os seus compromissos para a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), na forma da chamada Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, na sigla em inglês).

Nesse contexto de aumento das preocupações com as mudanças climáticas globais, a redução das emissões de gases de efeito estufa pelo setor de transportes é vista como prioritária. O setor é responsável por aproximadamente 23% das emissões provenientes da combustão, conforme mostra a Figura 1, atrás apenas da geração de

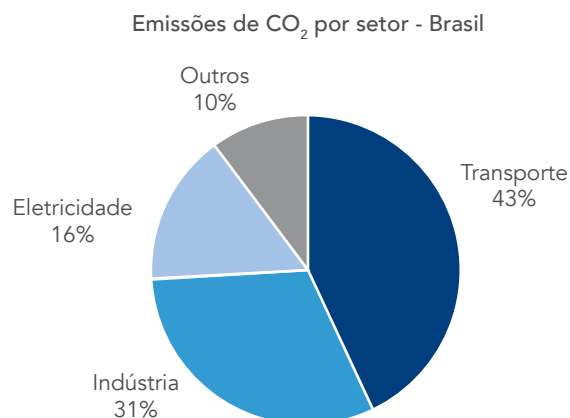
eletricidade e calor (42%). No Brasil, a parcela das emissões de CO₂ pelo setor de transportes é ainda maior (43%), visto na Figura 2, enquanto a eletricidade responde por 16% das emissões, devido ao uso intenso de hidroeletricidade e bioeletricidade (a partir de biomassa de cana-de-açúcar).

FIGURA 1: EMISSÕES GLOBAIS DE CO₂ A PARTIR DA QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS POR SETOR EM 2014



Fonte: International Energy Agency (IEA, 2016)

FIGURA 2: EMISSÕES BRASILEIRAS DE CO₂ NA GERAÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA POR SETOR EM 2015

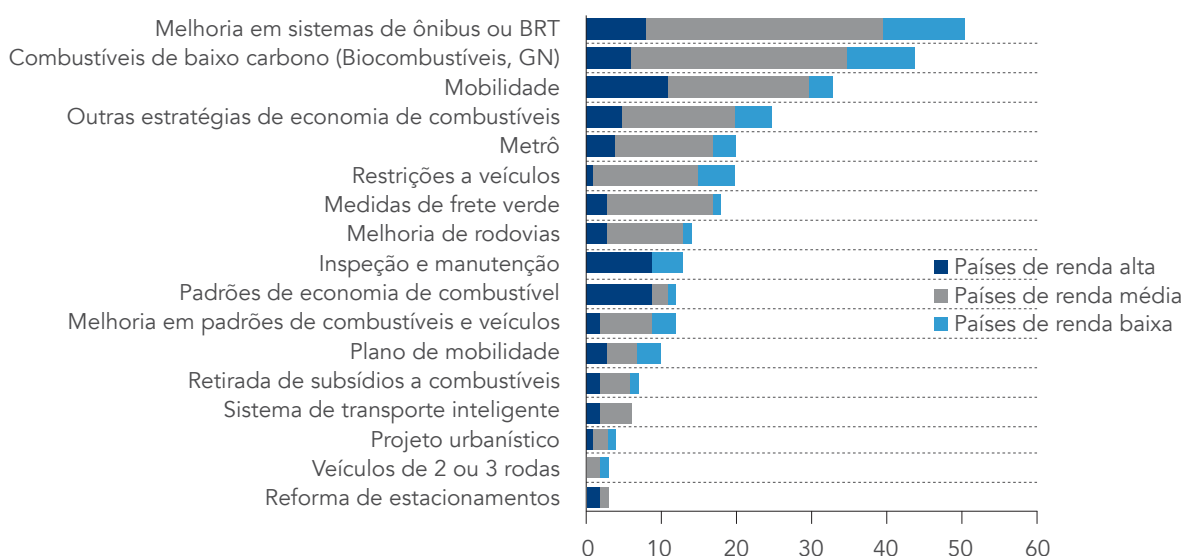


Fonte: Ministério de Minas e Energia (MME, 2016)

Entre 160 NDCs, representando 187 países, que foram submetidas até agosto de 2016, 75% identificaram explicitamente o setor de transportes como uma fonte de mitigação e mais de 63% das contribuições propõem medidas específicas para o setor (Gota, S. et al., 2016).

As estratégias de mitigação propostas incluem diversas ações, como mostra a Figura 3, das quais os biocombustíveis aparecem como a segunda estratégia mais citada, a ser adotada, principalmente por países considerados de renda média¹.

FIGURA 3: ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO PARA O SETOR DE TRANSPORTES PROPOSTAS NAS NDCS



Fonte: Gota, S. et al. (2016)

O Brasil, em sua NDC, assumiu o compromisso de reduzir as emissões totais de GEE do país em 37%, em 2025, e fez a indicação de reduzir as emissões em 43%, em 2030, tendo o ano de 2005 como referência. Os compromissos assumidos

incluem alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030 e, ainda, o aumento da participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximada-

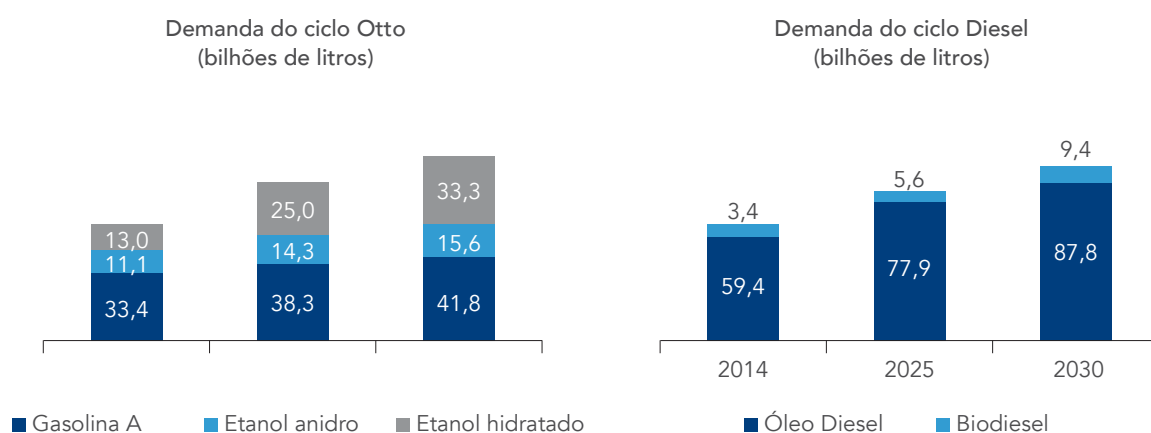
1. De acordo com metodologia do Banco Mundial (2015), as economias são classificadas, em função do valor de Renda Nacional Bruta per capita, em: renda baixa, quando esse valor é igual ou inferior a US\$ 1.025; renda média, quando o valor fica entre US\$ 1.026 e US\$ 12.475; e renda alta, quando esse valor está acima de US\$ 12.476.

mente 18% até 2030; a expansão do consumo de biocombustíveis; o aumento da oferta de etanol, inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração); e o aumento do teor de biodiesel na mistura do diesel.

Em documento em que mostra a memória de cálculo para os compromissos assumidos na COP 21, a EPE (2016a), estima que será necessário aumentar a oferta de etanol em 25 bilhões de litros, entre 2014 e 2030, para suprir o aumen-

to de demanda de combustíveis do ciclo Otto (o estudo considera o teor de 27% de etanol anidro na gasolina durante todo o período) e projeta que a produção deverá alcançar um volume de 54 bilhões de litros em 2030, dos quais 2,5 bilhões de litros virão do etanol de segunda geração. Em relação à demanda por combustíveis do ciclo Diesel, o documento prevê a necessidade de produzir 9,4 bilhões de litros de biodiesel em 2030. Os valores de demanda para os combustíveis do ciclo Otto e ciclo Diesel, mencionados no documento, estão representados na Figura 4.

FIGURA 4: DEMANDA DE COMBUSTÍVEIS DO CICLO OTTO E CICLO DIESEL

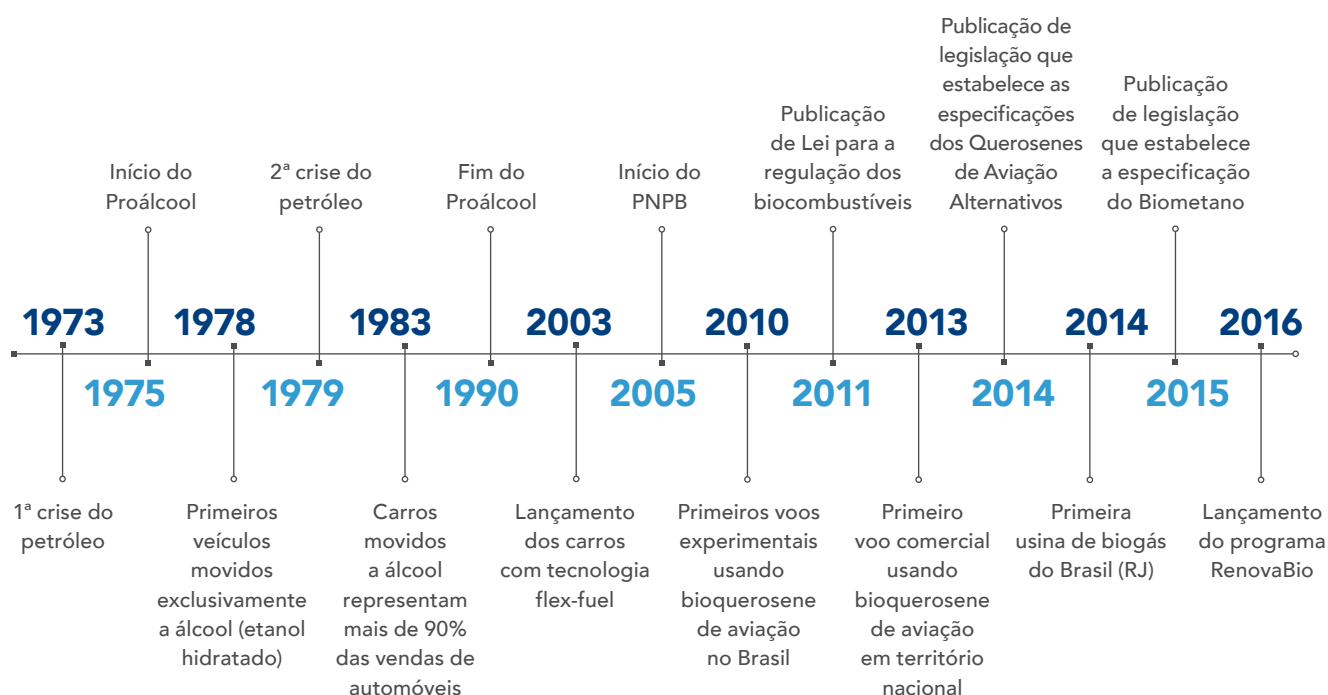


Fonte: Adaptado de EPE (2016a)

A introdução dos biocombustíveis na matriz energética brasileira se deu com o etanol, a partir do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) em 1975, que teve uma segunda etapa em 1979. Esse programa surgiu como uma resposta à crise do petróleo, com o objetivo de reduzir a dependência do país pelo óleo importado. Ou seja, antes mesmo de uma preocupação ambiental, o Brasil recorreu aos biocombustíveis por questões de segurança energética, em uma posição de vanguarda tecnológica em relação à maioria dos países do mundo. Já o Programa

Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), iniciado em 2005, tinha como princípios promover a inclusão social e o desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda. O programa envolvia, ainda, um caráter ambiental, ao fomentar a produção de um combustível capaz de contribuir para o meio ambiente, uma vez que a sua queima emite menos CO₂, material particulado e outros poluentes. A Figura 5 mostra os marcos relacionados à participação dos biocombustíveis no mercado brasileiro de combustíveis.

FIGURA 5: LINHA DO TEMPO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL



Fonte: Elaboração própria

O Brasil tem vantagens comparativas na produção agrícola e, portanto, na produção de energia a partir de biomassa, por possuir condições climáticas favoráveis, além de terras agricultáveis disponíveis em grande quantidade. Diferentemente de países da Europa, por exemplo, o Brasil não tem restrições de área agrícola, de forma que o plantio de culturas com fins energéticos não compete com a produção de alimentos. A EPE (2016a), avaliou a área potencial para expansão da fronteira agrícola no Brasil e chegou ao valor de 140 milhões de hectares sem impedimentos legais, dos quais grande parte já apresenta uso antrópico, classificado como pecuária ou agropecuária. A título de comparação, a área total ocupada pelo cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, hoje, é de aproximadamente 9 milhões de hectares e a área ocupada pela produção de soja, principal matéria prima para a produção do biodiesel é de 33,9 milhões de hectares.

A matriz energética brasileira está entre as mais limpas do mundo, com 43,5% de energia de fonte renovável (em 2016) e com a bioenergia (produtos derivados da cana-de-açúcar e óleo vegetal, nesse caso o biodiesel), representando mais de 18% (17,5% de participação da biomassa da cana e 1% do biodiesel) já em 2016 (EPE, 2017a), mas isso não significa que os compromissos assumidos não sejam ousados. Considerando as projeções de aumento de demanda por energia nos próximos 13 anos, é necessário um esforço

intenso para que os compromissos assumidos no Acordo de Paris sejam alcançados.

O principal desafio imposto pelas metas está na necessidade de altos investimentos, conforme documento-base elaborado por encomenda do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2017), no qual é mencionada a necessidade de R\$ 161 bilhões, entre 2020 e 2030, para modernização e expansão da indústria sucroenergética. Tal indústria, no entanto, se encontra em um momento delicado, com a produção estagnada e alto índice de endividamento de suas empresas. O segmento de biodiesel, por outro lado, apesar de atuar com alta capacidade ociosa, demandará novos investimentos no médio prazo para acompanhar o aumento de produção esperado.

É notório que o setor de biocombustíveis, em especial o etanol hidratado, requer ações governamentais capazes de garantir maior previsibilidade, um dos principais gargalos apontados pelo setor para que se consiga destravar os investimentos. O desmembramento dos compromissos da COP 21 em metas claras e com prazos factíveis seria um primeiro passo nesse sentido, permitindo que o setor se estruture de forma a perseguir os objetivos. Para tanto, deve ser estabelecido um arcabouço regulatório que traga segurança e confiabilidade ao investidor, compreendendo também mecanismos que propiciem a estruturação do

mercado de biocombustíveis e a promoção da competitividade destes em relação aos fósseis, considerando todas as externalidades envolvidas, bem como a definição de instrumentos econômicos e financeiros que contribuam para atrair novos investimentos.

No final de 2016, o MME lançou o programa denominado RenovaBio, com o objetivo de estimular a produção de biocombustíveis no país e que apresenta propostas de mudanças estruturais amplamente discutidas com agentes do setor. A **FGV Energia** conversou com mais de 50 agentes do setor (representantes do Governo, associações empresariais, empresas, consultorias, academia e outros), dos quais a maioria considera que as metas assumidas são factíveis e que o programa RenovaBio contribuirá para a retomada os investimentos.

Diante deste cenário, pode-se dizer que os compromissos derivados da COP 21 criam condições sem precedentes para o reconhecimento da importância dos biocombustíveis na matriz energética, especialmente por ser tratar de tecnologias dominadas e com capacidade de entregar resultados de curto prazo. Adicionalmente aos benefícios ambientais da maior adoção dos biocombustíveis, deve-se ressaltar a importância que este setor poderá ter para a retomada do crescimento econômico, gerando empregos no interior do país e contribuindo para reduzir o déficit da balança comercial, com a substituição da

importação de combustíveis. Segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2016), a demanda de combustíveis do ciclo Otto, em 2030, deverá ser superior à sua oferta em 23,7 bilhões de litros, enquanto que essa diferença deve ser de 24,6 bilhões de litros no caso de combustíveis do ciclo Diesel. Para reduzir a dependência externa projetada, parte dessa demanda poderia ser suprida pela produção nacional de biocombustíveis.

Considerando as oportunidades criadas pelos compromissos assumidos no Acordo de Paris e pela nova regulação proposta pelo RenovaBio e as suas implicações na produção de biocombustíveis no Brasil, este **Caderno da FGV Energia** foi estruturado da seguinte forma: no Capítulo 2, será apresentada a proposta do RenovaBio em mais detalhes, abordando os conceitos que o suportam, o seu mecanismo de funcionamento e o papel dos agentes envolvidos. Os Capítulos 3 e 4 serão dedicados ao etanol e ao biodiesel, respectivamente, contendo, além de uma descrição inicial das características e especificações do biocombustível, análises relacionadas aos seguintes itens: regulação, mercado, produtividade e perspectivas do setor. O Capítulo 5 tratará de novos biocombustíveis: o bioquerosene de aviação, o biogás/biometano e o óleo vegetal hidrotratado (HVO). Por fim, apresentaremos as considerações finais deste trabalho, que pretende traçar um panorama da situação atual do setor, apontando os principais entraves ao seu crescimento e as perspectivas de retomada dos investimentos.



RenovaBio

O Programa RenovaBio foi lançado pelo governo em dezembro de 2016 com o objetivo de estimular a produção de biocombustíveis no país, sendo eles o etanol, o biodiesel, o biogás e o bioquerosene de aviação, tendo em vista os compromissos assumidos no Acordo de Paris. A principal contribuição pretendida pelo Governo será a definição de uma regulação específica para o setor, com regras claras e mecanismos que garantam a previsibilidade necessária para atrair investimentos.

O conteúdo do programa foi disponibilizado para Consulta Pública em fevereiro de 2017, recebendo contribuições de diversos agentes do setor produtivo e de distribuição de biocombustíveis. Em junho de 2017, o Conselho Nacional de

Política Energética (CNPE) aprovou as diretrizes estratégicas do RenovaBio, derivadas de quatro eixos estratégicos (Figura 6), e estas foram publicadas no Diário Oficial no dia 30 do mesmo mês (Resolução nº 14, de 8 de junho de 2017).

FIGURA 6: EIXOS ESTRATÉGICOS DO RENOVABIO



Fonte: MME (2017a)

A forma de tramitação do projeto, se por meio de medida provisória ou como projeto de lei, está sendo definida. No entanto, a Resolução nº 14 estabelece que o MME deverá constituir um Grupo de Trabalho (GT) com participação de especialistas das diversas áreas afetas à produção, distribuição e uso dos biocombustíveis, para dar prosseguimento aos trabalhos do RenovaBio, e que o GT terá 90 dias, a partir da data de publicação da Resolução, para entregar ao MME propostas de aprimoramento do marco legal do setor de biocombustíveis.

O MME (2017a) já apresentou um documento contendo Proposta de Aprimoramento do Marco Legal de Biocombustíveis, cuja última versão foi disponibilizada em agosto de 2017. O texto diz que o governo pretende definir a Política Nacional de Biocombustíveis -

RenovaBio, como parte integrante da Política Energética Nacional, com o objetivo de assegurar previsibilidade para a participação dos biocombustíveis no mercado de combustíveis, promover a geração de investimentos e empregos no setor de biocombustíveis, além de promover a competitividade do Brasil no mercado internacional de biocombustíveis, entre outros. A Política tem ainda, por princípio, impulsionar o desenvolvimento tecnológico e a inovação para aumentar a competitividade dos biocombustíveis e a inserção dos combustíveis avançados e dos novos biocombustíveis, e deverá conter, dentre outros, os seguintes instrumentos: os Créditos de Descarbonização; a certificação dos biocombustíveis; as adições compulsórias de biocombustíveis aos combustíveis fósseis; e os incentivos fiscais, financeiros e creditícios.

A seguir será detalhado o papel de cada agente da indústria:

A. EMISSORES PRIMÁRIOS

São os produtores ou importadores de biocombustíveis, autorizados pela ANP e habilitados a solicitar a emissão de Crédito de Descarbonização, passando por um processo prévio de certificação. A quantidade de Créditos de Descarbonização emitida será proporcional ao volume de biocombustível produzido ou importado e comercializado e dependerá, também, da Nota de Eficiência Energético-Ambiental, valor atribuído, individualmente para cada emissor primário, que representa a diferença entre a intensidade de carbono de seu combustível fóssil substituto e sua intensidade de carbono estabelecida no processo de certificação. Tal nota constará do Certificado da Produção ou Importação Eficiente de Biocombustíveis, documento emitido por uma empresa certificadora.

B. DISTRIBUIDORAS DE COMBUSTÍVEIS

As distribuidoras de combustíveis terão metas individuais, definidas anualmente pela ANP, proporcionais às suas respectivas participações de mercado na comercialização de combustíveis fósseis no ano anterior. Para comprovar o atendimento às metas individuais, as distribuidoras deverão demonstrar a posse de Créditos de Descarbonização.

O distribuidor de combustíveis terá liberdade para comprovar o atingimento de sua meta individual de acordo com sua estratégia, sem prejuízo às adições volumétricas de etanol anidro à gasolina e de biodiesel ao óleo diesel. Até 15% (quinze por cento) da meta individual de um ano poderá ser comprovada pelo distribuidor de combustíveis no ano subsequente, desde que este distribuidor tenha comprovado cumprimento integral da meta no ano anterior.

C. ÓRGÃOS GOVERNAMENTAIS

O CNPE será responsável por estabelecer as metas compulsórias anuais de redução de emissões de GEE para a comercialização de combustíveis, as quais serão definidas com ênfase na melhoria da intensidade de carbono da matriz brasileira de combustíveis ao longo do tempo, para um período mínimo de dez anos. Tais metas poderão ser fixadas para entrar em vigor a partir de 1º de julho de 2018, sendo que o CNPE poderá definir um período de transição com aplicação de metas individuais em caráter voluntário.

A meta compulsória anual será desdobrada pela ANP, para cada ano corrente, em metas individuais, aplicadas a todos os distribuidores de combustíveis, proporcionalmente à sua respectiva participação de mercado na comercialização de combustíveis fósseis no ano anterior. No âmbito da certificação da produção ou importação eficiente de biocombustíveis, a ANP deverá fiscalizar a movimentação de combustíveis comercializados de forma a verificar sua adequação com os

Créditos de Descarbonização emitidos e o cumprimento das metas individuais compulsórias.

O mecanismo de funcionamento do RenovaBio é inspirado em iniciativas internacionais, como o *Renewable Fuel Standard* (RFS), dos Estados Unidos, o *Low Carbon Fuel Standard* (LCFS), da Califórnia, e o *Renewable Energy Directive* (RED), da União Europeia. A avaliação do desempenho em termos de emissões empregará a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida² para calcular a intensidade de carbono, que é a relação da emissão de gases causadores de efeito estufa, computadas no processo produtivo do combustível, por unidade de energia. Quanto menor for a emissão de carbono do processo de produção do biocombustível, mais alta será a nota da usina. Serão avaliados parâmetros como: rendimento industrial do biocombustível, consumo de combustíveis, consumo de fertilizantes, consumo de energia elétrica e rendimento de energia elétrica excedente, entre outros. Em um primeiro momento do programa, o escopo inclui a produção dos seguintes biocombustíveis: etanol de cana-de-açúcar (de primeira e de segunda geração), etanol de milho, biodiesel, bioquerosene de aviação e biogás/biometano.

Os biocombustíveis importados também serão certificados, de forma a competir em igualdade com os nacionais. Um ponto relevante é que a nota das usinas não é fixa, podendo ter validade de até quatro anos, o que estimula a busca por maior eficiência.

Trata-se de um modelo inédito no Brasil, baseado no reconhecimento da capacidade de cada combustível em contribuir para a redução de emissões de GEE e promover a descarbonização, diferentemente da forma tradicional que vem sendo empregada, pela diferenciação tributária ou pelo uso de impostos ambientais (ou sobre carbono), que são valores arbitrados com base em análises que, em geral, dão maior peso a situações macroeconômicas do que às especificidades do setor de combustíveis e biocombustíveis. A iniciativa, centrada na avaliação da intensidade de carbono de cada combustível, tem, ainda, um alto potencial para promover ganhos de eficiência energética na produção e no uso dos biocombustíveis, o que não ocorre com modelos baseados em tributos, que não estimulam os ganhos de eficiência, uma vez que tratam todos os produtores de forma igualitária.

2. A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta para avaliação de impactos ambientais baseada na quantificação de material e energia consumidos pelos processos produtivos e emitidos para o meio ambiente durante todo o ciclo de vida de um produto.

Iniciativas internacionais de promoção de biocombustíveis

Estados Unidos e Califórnia

A motivação inicial da legislação de incentivo aos biocombustíveis dos Estados Unidos tinha como objetivo principal a diversificação da matriz energética de combustíveis carburantes, de forma a diminuir sua vulnerabilidade às oscilações geopolíticas do petróleo e derivados. Posteriormente, o caráter ambiental ganhou força e hoje tem relevância nas tomadas de decisão.

O RFS é um programa federal, originado do *Energy Policy Act* (EPAAct) de 2005, que foi ampliado e prorrogado pelo *Energy Independence and Security Act* (EISA) de 2007. Esta lei define volumes crescentes de biocombustíveis a serem misturados aos combustíveis convencionais, até o ano de 2022. Cada categoria de combustível renovável nesse programa é classificada de acordo com a quantidade de GEE emitida no ciclo de vida dos biocombustíveis³, em relação ao combustível derivado do petróleo que é substituído. O consumo de etanol está relacionado ao da gasolina, pela mistura mandatória E10 (10% de etanol). No entanto, as misturas E15 (15% de etanol) e E85 (85% de etanol) também são permitidas (EPA, 2017). Quanto ao biodiesel, não existe uma mistura obrigatória mínima definida nacionalmente, no entanto, existe o uso facultativo em diversos percentuais, em cada estado da federação, sendo o B20 (20% de biodiesel e 80% de diesel fóssil) a mistura mais utilizada (*United States Department of Energy* – U.S. DOE, 2017).

Para garantir o cumprimento das metas estabelecidas pelo governo dentro do RFS foi criado o *Renewable Identification Number* (RIN), certificado usado para rastrear o uso dos biocombustíveis dentro das metas. As refinarias, distribuidores e importadores de combustível têm a obrigação de apresentar à Agência de Proteção Ambiental americana (*Environmental Protection Agency* – EPA) o número de créditos RIN, correspondente ao

3. Classificação do RFS: renováveis (etanol e biobutanol de milho), avançado (etanol de cana-de-açúcar), diesel de biomassa (biodiesel ou HVO – Óleo Vegetal Hidrotratado) e celulósico (etanol e biodiesel celulósico) (EPA, 2017).

combustível fóssil que comercializarem, satisfazendo o mandatório definido pelo RFS. Emitidos no momento da fabricação do biocombustível, os RINs podem ser comercializados entre os agentes de mercado, visando o cumprimento das metas físicas (EPA, 2017).

Dentre as iniciativas estaduais, destaca-se o LCFS, do estado da Califórnia. Criado pelo Conselho de Qualidade do Ar da Califórnia (*California Air Resource Board* – CARB (CARB, 2017)), o LCFS tem como objetivo reduzir as emissões de GEE em, pelo menos, 10% na intensidade de carbono dos combustíveis de transporte do Estado até o ano 2020 (CARB, 2017), tendo como base o ano de 2010. O programa fornece créditos baseados na intensidade de carbono gerada por cada combustível, tendo como referência as emissões do fóssil. Os combustíveis que tiverem intensidade de carbono abaixo do padrão estabelecido recebem créditos, sendo que o valor será tão maior, quanto menor for sua intensidade de carbono.

Outras jurisdições estão seguindo os passos da Califórnia, representadas pelo *Pacific Coast Collaborative*, um acordo regional entre a Califórnia, Oregon e Columbia Britânica, para alinhar as políticas para reduzir GEE e promover energia limpa. No longo prazo, os programas do LCFS deverão criar um mercado integrado da Costa Oeste para combustíveis com baixas emissões de carbono, o que aumentará sua atratividade, trazendo maior confiança para os investidores de combustíveis alternativos de baixo carbono (CARB, 2017).

União Europeia e Suécia

A União Europeia divulgou, em dezembro de 2008, um conjunto de metas com prazo para 2020, chamado “Triplo 20”, que consiste na diminuição das emissões de CO₂ em 20% (em relação aos níveis de 1990), no aumento da participação das fontes renováveis no consumo total de energia em 20% e no aumento da eficiência energética em 20%. Neste mesmo pacote foi estabelecido que, em relação aos combustíveis automotivos, 5% viriam de renováveis até 2015, aumentando para 10% até 2020 (União Europeia - UE, 2008).

A Diretiva das Energias Renováveis, Diretiva 2009/28/CE, foi lançada em 23 de abril de 2009, (UE, 2009), em substituição à 2003/30/CE, a Diretiva dos Biocombustíveis. Em acréscimo à meta de 20% de renováveis no consumo final de energia, ela estabeleceu cotas mínimas de participação de renováveis a serem cumpridas por cada país-membro, para o período de 2011 a 2020.

Em 2016 foi anunciada uma alteração à política de segurança energética e mitigação de GEE, com marcos definitivos para os anos de 2020, 2030 e 2050. Para 2020, prevaleceram as metas do Triplo 20 (20% na redução nas emissões, participação de renováveis no consumo energético e incremento na eficiência energética) (EURACTIV, 2017). Para 2030, as metas foram aumentadas, respectivamente, para 40%, 27% e 27%. Já para o ano de 2050, a Europa tem planos para alcançar uma redução de 85% a 90% nas emissões de GEE (*European Commission* - EC, 2016).

A nova proposta pretende focar em fontes avançadas de energia, inclusive nos biocombustíveis de segunda geração. A União Europeia reforçou a posição de desfavorecer os biocombustíveis tradicionais (etanol de cana e milho e biodiesel de oleaginosas), limitando a um máximo de 7% de participação na demanda energética em 2020 e reduzindo para 3,8% em 2030.

Cada país da União Europeia possui legislações específicas e metas de consumo de misturas de biocombustíveis com os combustíveis fósseis. Em destaque, tem-se a Suécia com a adoção da mistura E85 (85% de etanol e 15% de gasolina). As políticas para o uso de biocombustíveis naquele país foram estimuladas pelas crises do petróleo na década de 1970, iniciando com a substituição dos combustíveis fósseis no aquecimento residencial e posteriormente migrando para os transportes, uma vez que os fósseis foram, desde então, progressivamente taxados (*European Biomass Association* - AEBIOM, 2012).

A Suécia iniciou as políticas de descarbonização de sua matriz de transporte nos anos 1990 com introdução de veículos E85 em 1994, o que fez com que o país formulasse leis que obrigavam os postos de revenda de combustíveis a implantarem bombas de etanol. Em paralelo, o governo Sueco subsidiava a aquisição de veículos "verdes" com valores de US\$ 1.500,00. Desde então, o número de veículos movidos a etanol e biodiesel cresceu (a frota estimada de veículos flexfuel para E85 em 2014 era de 400 mil automóveis). A meta governamental é que em 2030 haja uma redução de emissão no setor de transportes da ordem de 70% quando comparado a 2010, o que implica o abandono total dos combustíveis fósseis (*Government Offices of Sweden* - GOS, 2017).

Desde 1980, a Suécia produz ônibus ED95, ou seja, movidos 95% de etanol e 5% de um composto que permite à mistura operar sob as condições do ciclo diesel. A capital Estocolmo tem uma frota total de 2.300 ônibus no transporte público, sendo que cerca de 400 unidades são do modelo ED95 (*Svensk Kollektivtrafik* - SK, 2015).



Etanol

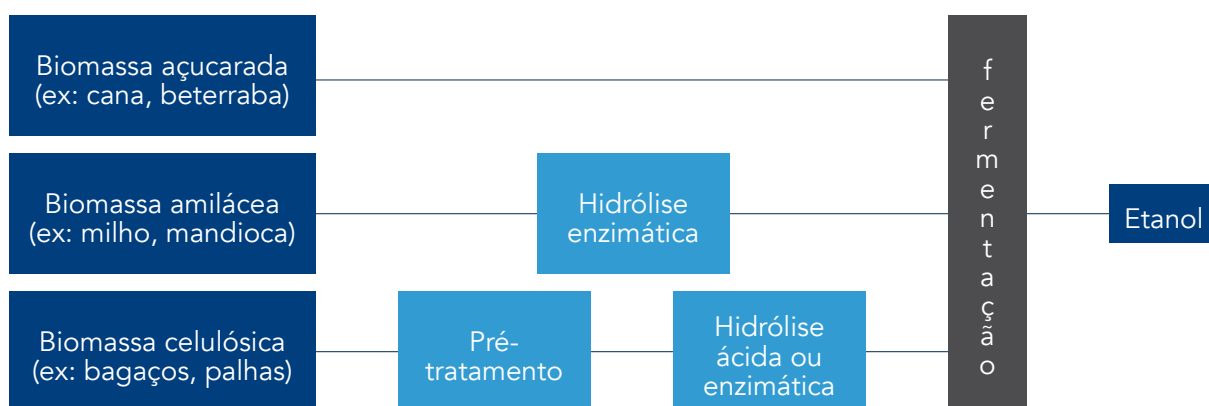
A. CARACTERÍSTICAS E ESPECIFICAÇÕES

O etanol é um álcool produzido usualmente pelo processo de fermentação de açúcares. O processo de produção mais simples, que envolve menos etapas, é o que emprega matérias-primas açucaradas, como a cana de açúcar e a beterraba, pois o açúcar a ser fermentado já está disponível. A biomassa deve passar por uma etapa de extração dos açúcares, o que pode ser feito por meio de processos de moagem ou difusão, e depois segue para a fermentação. A produção de etanol a partir de matérias-primas contendo amido, como é o caso do milho e da mandioca, por exemplo, demanda uma etapa a mais, chamada de hidrólise, na qual o amido é quebrado em açúcar por meio de enzimas (hidrólise enzimática). Essas

duas rotas de produção são consideradas convencionais e o álcool obtido é chamado de etanol de primeira geração. O processo mais complexo é o da produção de etanol celulósico, ou de segunda geração, obtido a partir de biomassa celulósica, como o bagaço e a palha da cana. Os materiais celulósicos possuem uma estrutura rígida e ordenada, dificultando o acesso das enzimas ao substrato, sendo necessária uma etapa de pré-tratamento antes da hidrólise.

A Figura 7 apresenta um esquema simplificado das rotas de produção de etanol, ressaltando as diferentes etapas de acordo com os tipos de biomassa utilizada.

FIGURA 7: ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL

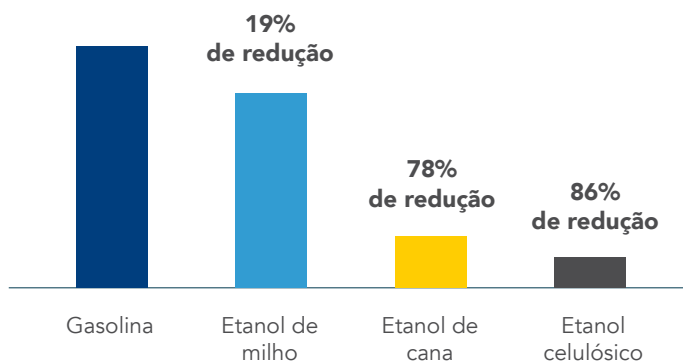


Fonte: Adaptado de Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2008)

Praticamente toda a produção brasileira de etanol emprega como matéria-prima a cana de açúcar, enquanto os Estados Unidos, maiores produtores mundiais de etanol, utilizam o milho. Conforme mostra a Figura 8, o etanol de cana é

capaz de reduzir em 78% as emissões de GEE, em comparação com a gasolina, enquanto o etanol de milho reduz, em média, 19%. Já o etanol de segunda geração permite reduções ainda maiores, de 86% em relação ao combustível fóssil.

FIGURA 8: POTENCIAL DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GEE EM DIFERENTES ROTAS DE PRODUÇÃO DE ETANOL



Fonte: Adaptado de Wang et al. (2007)

Pelas suas propriedades físico-químicas o etanol pode ser utilizado como combustível em motores de combustão interna, do tipo ciclo Otto, com ignição por centelha. Em um primeiro momento do programa Proálcool, a expansão do uso do álcool como combustível ocorreu pela mistura do etanol anidro⁴ à gasolina, que foi elevada de 4,5% em 1977 para 15% em 1979, chegando a 22% em 1985. Após o segundo choque do petróleo, em 1979, iniciou-se a segunda fase do Proálcool e, além do etanol anidro adicionado à gasolina, o etanol hidratado⁵ também passou a ser estimulado pelo programa, para uso em veículos com motores dedicados a esse combustível, que passaram a ser comercializados no país e chegaram a representar mais de 90% das vendas em 1983. No final da década de 1980, o Proálcool passou a não ter mais a mesma relevância, em decorrência de fatores como a queda dos preços internacionais de petróleo, o aumento da produção de petróleo nacional e o aumento de preço do açúcar no mercado internacional, que ocasionou a redução da produção de etanol e uma séria crise de abastecimento em 1989.

Atualmente, o percentual de mistura de etanol anidro na gasolina pode variar de 18% a 27,5%, em volume, conforme a Lei 13.033/2014, sendo que o teor máximo de 27,5% foi definido após a realização de testes para comprovar que esse volume não comprometeria o desempenho do

motor. Desde março de 2015, o percentual de mistura, que vale para todo o território nacional, é de 27% (e não 27,5%, porque os equipamentos de aferição da mistura instalados nas bombas não têm precisão para meio ponto percentual) na gasolina comum e 25% na gasolina *premium*. A Tabela 1 apresenta a evolução dos percentuais de adição, desde 1998.

TABELA 1: HISTÓRICO DO TEOR DE MISTURA DE ETANOL ANIDRO NA GASOLINA

% Etanol anidro na Gasolina	
mai/98	24%
ago/00	20%
mai/01	22%
fev/06	20%
jun/07	25%
jan/10	20%
mai/10	25%
out/11	20%
mai/13	25%
mar/15	27%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP

4. Álcool contendo menor teor de água (no máximo, 0,4% em volume), utilizado como componente de mistura na gasolina A (pura) para a formação da gasolina C (gasolina contendo etanol em teor determinado pela ANP).
5. Álcool contendo maior teor de água (entre 4,0 e 4,9% em volume), comercializado como um combustível acabado.

A adição de etanol anidro à gasolina não requer grandes alterações no motor preparado para a gasolina e, ainda, traz vantagens relacionadas à performance do veículo e à redução de emissões de GEE. A octanagem (ou Número de Octano ou, ainda, Índice de Octano) do etanol é maior do que a da gasolina, conforme pode-se verificar na Tabela 2. Esse parâmetro mede a capacidade que o combustível tem de resistir à detonação espontânea, sendo um dos principais indicadores de qualidade da gasolina automotiva, pois a maior octanagem implica em um

maior rendimento energético. Uma das formas de aumentar esse parâmetro é pelo uso de aditivos antidetonantes⁶, como o chumbo tetraetila e o MTBE (metil-terc-butil-éter). No Brasil, o etanol passou a ser usado em substituição a esses aditivos, que estão em desuso por serem tóxicos e causarem problemas ambientais. Além de melhorar o desempenho do motor à gasolina, o etanol é ambientalmente mais limpo, uma vez que é produzido a partir de matérias-primas renováveis e a sua combustão emite menor quantidade de GEE.

TABELA 2: PROPRIEDADES DA GASOLINA E DO ETANOL ANIDRO

Propriedade	Gasolina	Etanol Anidro
Poder calorífico inferior (MJ/litro)	32,18	22,35
Massa específica (kg/m ³)	720-780	792
Nº de Octano Motor (MON)	80-92	89-96
Relação ar/combustível estequiométrica	14,5	9

Fonte: Adaptado de BNDES (2008)

O surgimento da tecnologia automotiva denominada *flex-fuel*, em 2003, proporcionou um novo aumento da participação do biocombustível na matriz brasileira. Os veículos com essa tecnologia permitem o uso de gasolina ou etanol hidratado puros ou misturas dos dois em qualquer proporção e tais modelos representaram 88% dos licen-

ciamentos e 71% da frota de veículos leves em 2015 (EPE, 2017b). O uso de ambos os combustíveis requer alguns ajustes nas taxas de compressão, no sistema de alimentação de combustível e na ignição, para compensar as diferenças na relação ar/combustível, conforme visto na Tabela 2, o que é possível pela presença de um sensor

6. Estes aditivos impedem a detonação ou combustão da gasolina antes da hora certa.

O Poder Calorífico do etanol é, aproximadamente, 30% inferior ao da gasolina, o que deu origem a uma relação de paridade de preços, aplicada pelos consumidores, que apenas considera vantajoso o uso do etanol quando o seu preço corresponde a até 70% do preço da gasolina.

de teor de oxigênio, que detecta a proporção da mistura álcool-gasolina que está sendo utilizada.

O Poder Calorífico do etanol é, aproximadamente, 30% inferior ao da gasolina (Tabela 2), o que deu origem a uma relação de paridade de preços, aplicada pelos consumidores, que apenas considera vantajoso o uso do etanol quando o seu preço corresponde a até 70% do preço da gasolina. O desempenho automotivo, no entanto, não depende apenas do poder calorífico, sendo função também de outros parâmetros, como a octanagem, e da própria eficiência do motor, que pode variar entre os modelos e o ano de fabricação dos carros. A relação de 70% também não leva em consideração o aumento do teor de etanol anidro na gasolina, que acaba reduzindo o poder calorífico do combustível final. É possível, ainda, otimizar o motor *flex* para uso com o etanol, o que também alteraria a paridade, já amplamente conhecida e empregada pelos consumidores e contribuiria para que mais consumidores optassem pelo etanol hidratado no lugar da gasolina. Abordaremos essas ques-

tões em maiores detalhes no item sobre tecnologia de motores.

B. REGULAÇÃO

Até meados da década de 1990, a interferência do Estado brasileiro na distribuição e revenda de combustíveis automotivos compreendia o controle de preços, margens de comercialização e fretes. Depois, iniciou-se um processo de liberalização de preços em toda a cadeia produtiva de petróleo, gás natural e biocombustíveis, além de gradual redução dos subsídios governamentais. Foi somente a partir da Lei do Petróleo que a liberalização no mercado de combustíveis automotivos se deu de modo mais efetivo, tendo sido concluída em 31 de dezembro de 2001. A partir dessa data, os reajustes nos preços dos combustíveis passaram a caber exclusivamente a cada agente econômico – do poço ao posto revendedor –, que estabelecem seus preços de venda e margens de comercialização em cenário de livre concorrência, segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2016a).

ESTOQUES

Como forma de garantir o abastecimento nacional de combustíveis, a ANP exige dos regulados a manutenção de estoques mínimos e a comprovação de capacidade de atendimento ao mercado. Em sua Resolução 67/2011, a agência estabeleceu critérios para a aquisição e a formação de estoque de etanol anidro, tanto para produtores quanto para distribuidores, conforme detalhado a seguir:

i. Distribuidores:

A aquisição de etanol anidro combustível por parte dos distribuidores pode ser feita por duas modalidades:

- **Regime de contrato de fornecimento:** contratação de etanol anidro combustível entre fornecedor de etanol anidro e distribuidor de combustíveis líquidos automotivos, no período de 1º de maio de cada ano a 30 de abril do ano subsequente. Ao optar por essa modalidade, o distribuidor deve contratar 90% do volume comercializado no ano anterior, podendo ser feito da seguinte forma: ter o volume de 70% ou mais contratado até 1º de abril e o volume de 90% até 1º de junho.
- **Regime de compra direta:** aquisição de etanol anidro combustível para a formação de estoque final próprio em cada mês, em volume suficiente para a comercialização de gasolina C (gasolina adicionada de etanol anidro), no mês subsequente. Nessa modalidade, o distribuidor deve demonstrar mensalmente que

possui, em estoque físico próprio, volume suficiente de etanol anidro para a comercialização de gasolina C no mês seguinte.

Os distribuidores devem possuir, em 31 de março, estoque próprio de etanol anidro combustível, em volume correspondente a, no mínimo, 15 dias de sua comercialização média de gasolina C, tendo como referência o volume total comercializado de gasolina C no mês de março do ano anterior.

ii. Produtores

O produtor, a cooperativa de produtores ou a empresa comercializadora de etanol deverá possuir, em 31 de janeiro e em 31 de março, estoque próprio com volumes mínimos de 25% e 8%, respectivamente, da sua comercialização de etanol anidro combustível com o distribuidor no ano civil anterior.

Caso o produtor, a cooperativa ou a empresa comercializadora tenha firmado contrato com o distribuidor de, no mínimo, 90% do volume de etanol anidro combustível comercializado no ano anterior, deverá comprovar, somente, o estoque mínimo necessário em 31 de março (correspondente ao volume mínimo de 8% da comercialização do ano anterior), ficando dispensado da comprovação de estoque do volume mínimo de 25% em 31 de janeiro.

Em abril de 2017, por meio da Resolução N° 11, de 11/04/2017, o CNPE determinou que os agentes que exercerem a atividade de importação

de biocombustíveis deverão atender às mesmas obrigações de manutenção de estoques mínimos e de comprovação de capacidade para atendimento ao mercado exigidas dos produtores de biocombustíveis instalados no país.

REGIME TRIBUTÁRIO

A carga tributária incidente sobre os combustíveis tem um peso importante no preço final ao consumidor, representando algo próximo a 45%, no caso da gasolina, e 28%, no caso do etanol, segundo a Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e Lubrificantes (Fecombustíveis, 2017).

Os tributos incidentes, atualmente, nas operações com combustíveis automotivos são: a Contribuição para o Programa de Integração Social do Trabalhador e de Formação de Patrimônio do Servidor Público (PIS/PASEP); a Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS); o Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS) e a Contribuição de Intervenção do Domínio Econômico (CIDE). Há ainda, em alguns casos, o Imposto sobre Importação (II). A seguir, será detalhado cada um deles.

O PIS e a COFINS são contribuições sociais federais, cuja finalidade é o financiamento da seguridade social e incidem sobre a totalidade das receitas auferidas por pessoas jurídicas. As alíquotas destes impostos sobre a gasolina C somavam R\$ 0,3816/litro desde maio de 2015 e

passaram a R\$ 0,7925/litro em julho de 2017, o que representa um aumento de R\$ 0,4109/litro, ou 108%. No caso do etanol combustível (hidratado), as alíquotas estavam zeradas desde 2013, passando a R\$ 0,12/litro em janeiro de 2017, incidindo somente nos produtores (e não nos distribuidores). Em julho/2017, as alíquotas foram alteradas para R\$ 0,1309/litro, para os produtores, e de zero para R\$ 0,1109/litro (inicialmente, a alíquota foi estabelecida em R\$ 0,1964/litro, mas o valor foi revisto), para os distribuidores, totalizando R\$ 0,2418/litro, o que representa um aumento de R\$ 0,1218/litro, ou 102%. As alíquotas de PIS/COFINS são, portanto, diferenciadas para a gasolina e o etanol.

A CIDE-Combustíveis, incidente sobre as operações realizadas com combustíveis, é outro tributo federal, sendo destinado a investimentos na infraestrutura de transporte, para subsidiar os preços de álcool combustível, gás natural, petróleo e seus derivados e financiar projetos ambientais. Incide sobre a gasolina C no valor de R\$ 0,1000/litro, porém está zerada para o etanol.

O ICMS é um imposto estadual, que tem como fato gerador a circulação de mercadoria, até mesmo aquela que tem início no exterior, mas destina-se ao mercado interno. As alíquotas são diferentes entre os estados e variam de 23% a 33%, para a gasolina, e de 11% a 30%, para o etanol. Dos 27 estados, 12 aplicam alíquotas diferenciadas entre a gasolina e o etanol, sendo os estados com maior diferença Minas Gerais, com 15% de diferença (alíquotas de 31% para a gasolina e 16% para o etanol), e São Paulo, com 12% (alíquotas de 23% para a gasolina e 11% para o etanol).

As atividades de importação e exportação de etanol, no Brasil, são isentas de taxas. A tarifa de importação foi zerada em 2010, após o etanol ser incluído na lista de exceções da Tarifa Externa Comum (TEC) do Mercosul, com o objetivo de abrir mercados para o etanol brasileiro. Os Estados Unidos, principal destino do etanol brasileiro, também eliminaram suas tarifas na mesma época, facilitando a troca entre os países. O Brasil, desde o segundo semestre de 2016, além de exportar, passou a importar volumes expressivos de etanol americano, devido aos preços baixos decorrentes de safras recordes de milho nos Estados Unidos. Esse fato fez surgir a discussão, entre produtores nacionais, sobre a volta das tarifas de importação, o que está sendo avaliado pela Câmara de Comércio Exterior.

C. MERCADO

CANA-DE-AÇÚCAR

A produção brasileira de cana-de-açúcar e, consequentemente, de etanol, pode ser analisada dividindo-se as áreas produtoras em duas regiões: Norte-Nordeste e Centro-Sul. A região Centro-Sul concentra mais de 90% da produção e a sua safra é bem delimitada, indo de 1º abril

a 31 de março, com período de colheita entre abril e novembro, enquanto que a safra da região Norte-Nordeste varia entre os estados.

A produção brasileira de cana-de-açúcar na última safra (2016/17) foi de mais de 657 milhões de toneladas, em uma área plantada de aproximadamente 9 milhões de hectares, o que representa algo em torno de 12% da área agrícola em uso no Brasil, aproximadamente 75 milhões de hectares, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). Em relação ao etanol, a produção da última safra foi de 27,8 bilhões de litros, dos quais a região Centro-Sul foi responsável por 94% (24,6 bilhões de litros). O estado de São Paulo é o que mais se destaca, sendo responsável por 56% da produção total de cana e 49% da produção total de etanol do país na safra 2016/17 (Companhia Nacional de Abastecimento - Conab, 2017).

UNIDADES PRODUTORAS

Em fevereiro de 2017 (ANP, 2017a), haviam 384 usinas produtoras de etanol autorizadas, das quais 211 (55%) localizam-se na região Sudeste (Figura 9). A capacidade total das 384 plantas produtoras de etanol autorizadas é de 216.883 m³/dia de produção de etanol hidratado e 117.036 m³/dia de etanol anidro.

FIGURA 9: LOCALIZAÇÃO DAS USINAS DE ETANOL



Fonte: União dos Produtores de Bioenergia (UDOP, 2015)

As unidades produtoras podem ser classificadas em: usinas, que produzem exclusivamente açúcar; destilarias autônomas, que produzem exclusivamente etanol; e usinas mistas (ou com destilarias anexas), que produzem ambos os produtos. O Proálcool financiou a expansão da produção de etanol, tanto em destilarias autônomas quanto em anexas. Durante a vigência do programa, o número de destilarias autônomas chegou a superar o de usinas mistas, mas estas passaram a predominar desde

a década de 1990. Em maio de 2017, as usinas mistas representaram 64% do total, enquanto apenas 5% das unidades corresponderam a usinas produtoras exclusivamente de açúcar. Nas usinas mistas, é possível ajustar a produção de forma a produzir mais açúcar ou mais etanol, em proporções de até 60-40% para um dos dois produtos, o que dá maior flexibilidade ao produtor, que pode definir a destinação da cana de acordo com as condições do mercado.

Além de açúcar e etanol, as usinas geram, ainda, eletricidade a partir do bagaço e da palha de cana, principalmente por meio do processo de cogeração⁷. Uma parte das unidades sucroalcooleiras utiliza processos e centrais de cogeração de baixa eficiência, consumindo a biomassa basicamente para atender à sua própria demanda energética (calor e eletricidade), gerando pouco ou nenhum excedente. No entanto, muitas unidades vêm se modernizando e investindo em processos eficientes de cogeração, de forma a gerar maiores excedentes de eletricidade ("bio-eletricidade") e, assim, aumentar a sua receita. Consequentemente, de alguns anos para cá, o termo usina sucroalcooleira passou a ser substituído por usina sucroenergética. Outro energético que também tem sido gerado por essa indústria, mas ainda em quantidades pouco representativas, é o biogás, que pode ser produzido a partir da vinhaça, e será visto em mais detalhes (assim como a bioeletricidade) mais adiante.

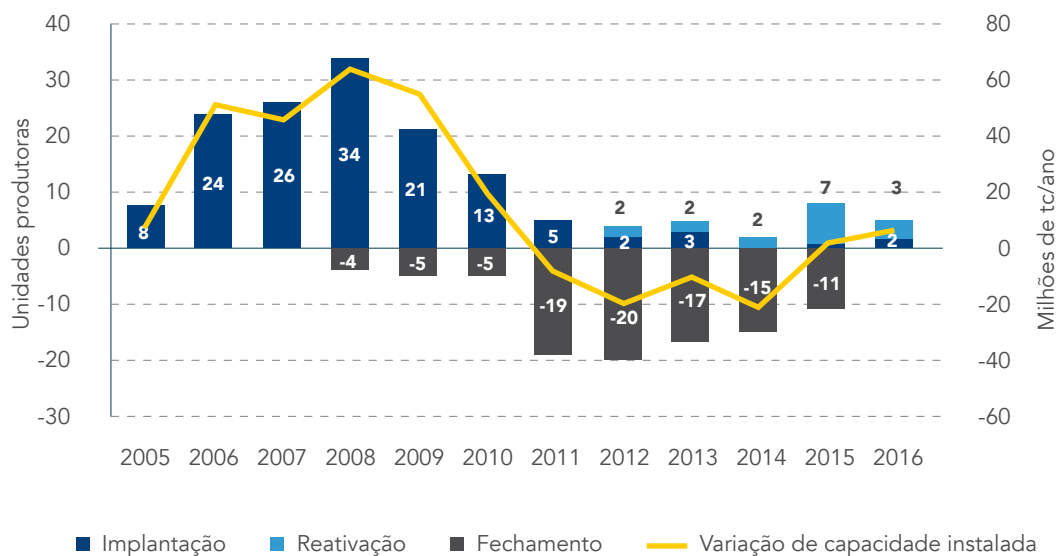
Mais recentemente, a partir de 2011, começaram a surgir, no Brasil, usinas utilizando o milho como matéria-prima para a produção de etanol, usualmente de forma integrada com a cana-de-açúcar, chamadas de usinas *flex*. Nessas, a produção de etanol de milho ocorre no período da entressafra da cana, entre dezembro e março e que pode durar de 90 a 120 dias por ano. Como a cana é perecível e não pode ser estocada, as usinas que utilizam apenas essa matéria-prima operam somente nos meses de safra, ficando ociosas nos demais meses. A integração com o milho, portanto, apro-

veita o momento de inatividade para aumentar a produção de etanol, além de outros subprodutos do milho, como óleo e proteínas para ração animal. A alternativa tem se tornado particularmente interessante na região Centro-Oeste pelos aumentos expressivos da produção de milho, que tem gerado grandes excedentes a preço baixo.

A partir da entrada dos veículos do tipo *flex fuel* no mercado brasileiro, em 2003, o setor sucroenergético passou a investir pesadamente na ampliação da capacidade produtiva. O número de novas usinas passou de 8, em 2005, para 34, em 2008, o auge da entrada de novos empreendimentos (Figura 10). Outros dois fatos contribuíram para as expectativas de crescimento da demanda por etanol: a proibição do uso de aditivos para a gasolina, como o metil-terc-butil éter (MTBE), principalmente nos Estados Unidos e na União Europeia; e a expectativa de haver uma corrida internacional por combustíveis limpos, visando atender ao Protocolo de Quioto. A crise internacional de 2008, no entanto, frustrou as expectativas e fez o cenário de crescimento mudar. O setor, que se encontrava altamente endividado pelos elevados investimentos, foi drasticamente afetado pela restrição ao crédito. As perspectivas de aumento das exportações também não se consolidaram, pois os principais importadores do etanol brasileiro, Estados Unidos e União Europeia, passaram a incentivar a produção interna de bio-combustíveis através de legislações específicas, além de estabelecerem barreiras tarifárias e não tarifárias à entrada do etanol em seus mercados.

7 A cogeração é o processo que permite a geração combinada de energia elétrica e de energia térmica (calor e/ou frio), sendo ambas posteriormente utilizadas.

FIGURA 10: IMPLANTAÇÃO, REATIVAÇÃO E FECHAMENTO DE USINAS DE ETANOL



Fonte: Adaptado de EPE (2017b)

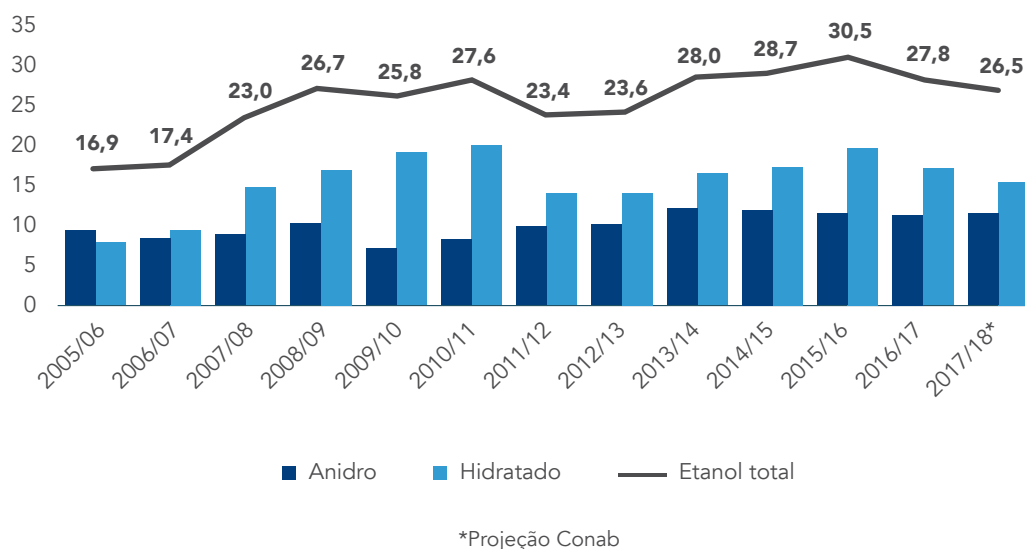
Desde 2009, não só o investimento em novas usinas caiu, como o setor passou a conviver com o fechamento de muitas unidades. A partir desse momento, também aumentaram os processos de fusões e aquisições, em decorrência da queda dos preços dos ativos. Como consequência, o setor se tornou mais concentrado e, também, mais internacionalizado, pela entrada de mais capital estrangeiro. O ano de 2012 apresentou o maior número de usinas fechadas, porém essa quantidade foi caindo e passou-se a ter, também, a reativação de algumas unidades. Atualmente, em função da situação financeira ruim de diversas empresas, espera-se um novo movimento de consolida-

ções antes de serem feitos investimentos em novos projetos.

PRODUÇÃO

Conforme mostra a Figura 11, a produção de etanol, que foi crescente até 2011, atingindo o volume de 27,6 bilhões de litros produzidos, passou a cair em função de perdas de produtividade da cana, motivadas por diversos fatores, entre eles: a redução dos investimentos em reforma do canavial e tratamentos culturais, problemas climáticos e aumento do índice de perdas de sacarose com a mecanização da colheita, levando ao aumento do custo de produção.

FIGURA 11: EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL (BILHÕES DE LITROS)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Conab

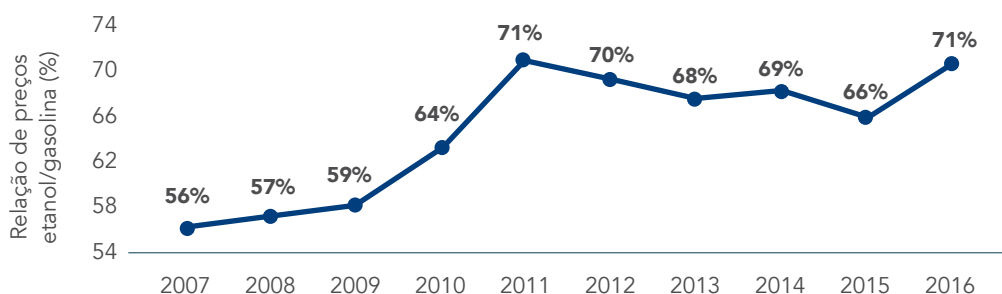
Em 2013, a produção voltou a crescer, como resultado de algumas decisões governamentais, que foram importantes para dar um sinal positivo à indústria, como a desoneração do PIS/COFINS incidentes sobre a venda do etanol. Na safra 2015/16, a produção do biocombustível alcançou um novo pico, de 30,5 bilhões de litros, o maior volume já produzido no país. Diversas ações contribuíram para essa retomada de crescimento, entre elas a elevação do percentual de etanol anidro na gasolina (de 25% para 27%), o retorno da cobrança da CIDE sobre a gasolina e a manutenção da alíquota zero do PIS/COFINS para o etanol, enquanto subia a alíquota para a gasolina. Além disso, em 2015, os preços da gasolina deixaram de sofrer intervenção do governo, que manteve tais preços artificialmente baixos desde

2011 com o objetivo de conter a inflação. Assim, houve melhora das margens e o setor pôde recompor parcialmente suas finanças.

RELAÇÃO DE PREÇOS: ETANOL E GASOLINA

As decisões políticas visando a estabilidade da inflação contribuíram fortemente para a perda de competitividade do etanol hidratado a partir de 2011, ano em que a relação entre os preços do etanol e da gasolina ultrapassou a barreira dos 70% (valor médio para o país), como mostra a Figura 12. A partir de 2012, a relação foi se tornando mais favorável ao uso do etanol, chegando ao valor médio de 66% em 2015. Em 2016, no entanto, a razão voltou a ficar acima de 70%.

FIGURA 12: HISTÓRICO DA RELAÇÃO DE PREÇOS ENTRE ETANOL E GASOLINA (%)



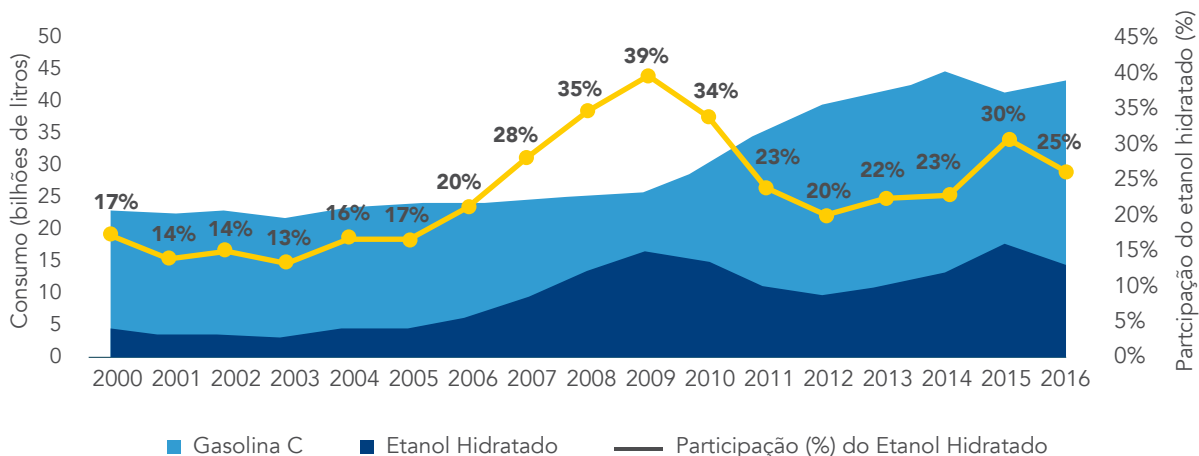
Fonte: Adaptado de EPE (2017b)

DEMANDA

O consumo de etanol hidratado apresentou um pico de 16 bilhões de litros em 2009, o que representou uma participação de 39% da demanda total por combustíveis do ciclo Otto (Figura 13). A partir desse ano, o consumo de gasolina passou a subir, enquanto o de etanol

hidratado foi reduzindo, até retomar a trajetória de crescimento em 2013. A demanda por combustíveis do ciclo Otto, em 2016, foi inferior à de 2015, e o etanol hidratado foi o mais afetado, devido aos preços não competitivos com os da gasolina, tendo sofrido uma redução de 18% no seu consumo, enquanto o consumo de gasolina aumentou em 5%.

FIGURA 13: CONSUMO DE ETANOL HIDRATADO E GASOLINA C E PARTICIPAÇÃO (%) DO ETANOL HIDRATADO



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP

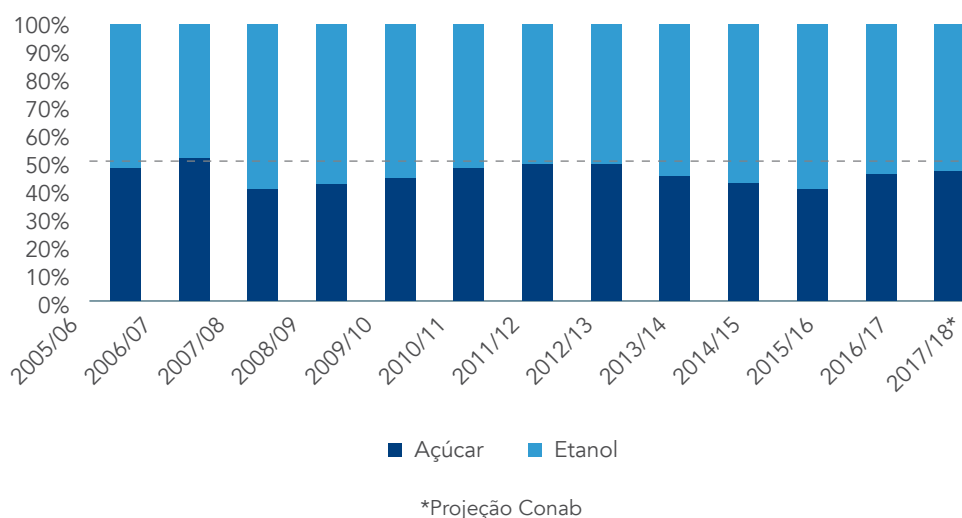
O etanol anidro tem a sua demanda garantida, já que é adicionado à gasolina em percentuais obrigatórios. O mesmo não ocorre com o etanol hidratado, que está sujeito às variações de preços tanto do açúcar quanto da gasolina, mercados bastante distintos. Conforme mencionado anteriormente, os preços do açúcar no mercado internacional interferem na maior ou menor destinação da cana para esta *commodity*, afetando a parcela de produção de etanol hidratado. Em veículos do tipo *flex*, este biocombustível compete diretamente com a gasolina, que tem seu preço relacionado, em última instância, ao do petróleo (considerando que não haja interferência do governo para manutenção artificial dos preços dos combustíveis).

CANA-DE-AÇÚCAR X ETANOL

A destinação da cana-de-açúcar que, desde a safra 2007/08, seguia uma tendência “açucareira”,

voltou a ser mais “alcooleira” a partir da safra 2013/14 (Figura 14). O aumento do percentual de etanol anidro na gasolina, de 20% para 25% em 2013, e um novo aumento, de 25% para 27%, em março de 2015, além de um cenário de queda dos preços do açúcar no mercado internacional desde 2011, foram os principais motivos que levaram os produtores a destinarem percentuais maiores da matéria-prima para o etanol. Em 2016, no entanto, o perfil de produção se alterou novamente, devido aos preços internacionais do açúcar, que tiveram uma alta expressiva e fizeram com que as usinas aumentassem o direcionamento da cana para essa *commodity*. A expectativa da Conab é que a destinação da cana para o açúcar aumente de 45,9%, no ciclo 2016/17, para 47,1%, no ciclo 2017/18, ao considerar que o preço internacional do açúcar continuará em patamares remuneradores.

FIGURA 14: DESTINAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR



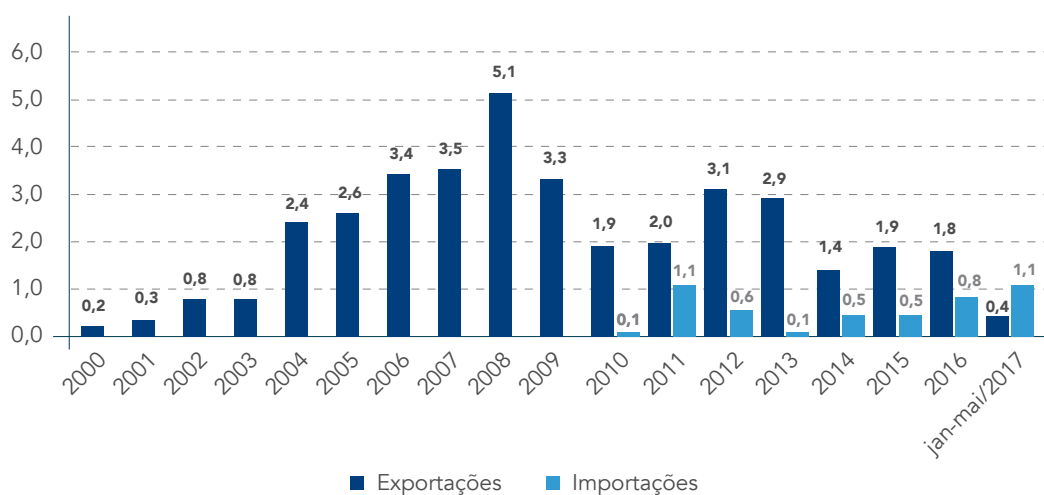
IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO

O Brasil é o segundo maior exportador de etanol, atrás apenas dos Estados Unidos. Nas transações internacionais, o etanol anidro é o mais comercializado, pela possibilidade de ser adicionado à gasolina. Em geral, as exportações são maiores nos períodos da safra, quando há excesso de produto no mercado interno, enquanto as importações são intensificadas nos períodos de entressafra, para compensar a queda de produção. Apesar de os Estados Unidos serem o maior produtor mundial do biocombustível, o país é o principal destino das exportações brasileiras, pois o etanol de cana brasileiro é considerado um combustível avançado pelos programas americanos de incentivos aos biocombustíveis e, portanto, recebe um prêmio no seu preço. Em 2016, 44% das

exportações de etanol brasileiro tiveram como destino os Estados Unidos e 35% foram para a Coreia do Sul. Já no caso das importações brasileiras, 99% tem origem norte-americana.

A importação de etanol pelo Brasil é um fenômeno recente, quando comparada com a exportação, conforme se nota na Figura 15. O aumento das importações brasileiras, em 2016, não foi motivado por dificuldades de abastecimento interno, mas para aproveitar a oportunidade de diferencial de preço, já que o biocombustível americano estava barato após safra recorde de milho. Nos primeiros cinco meses de 2017, a importação já superou o volume de 2016 e isso não só tem preocupado as autoridades brasileiras, como também tem gerado um clima de insatisfação dos produtores nacionais, que pedem a volta das tarifas de importação, atualmente zeradas.

FIGURA 15: EXPORTAÇÕES E IMPORTAÇÕES DE ETANOL ANIDRO (BILHÕES DE LITROS)



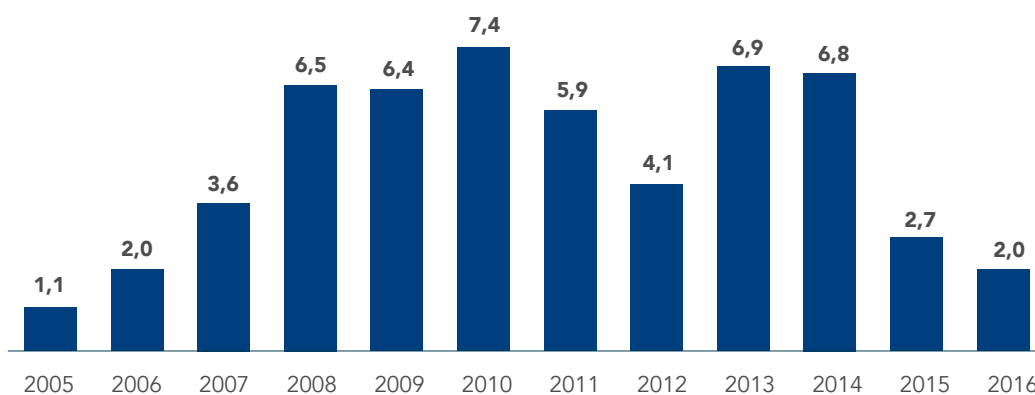
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP e da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA)

FINANCIAMENTOS

Conforme mencionado anteriormente, a partir da introdução dos veículos *flex* no mercado brasileiro, a indústria sucroenergética passou a investir pesadamente em aumento de capacidade produtiva e o BNDES foi a principal fonte de financiamento para suportar esse crescimento. A partir de 2005, os desembolsos do banco se intensificaram e chegaram a R\$ 7,4 bilhões em 2010, conforme mostra a Figura 16. O volume recorde desembolsado em 2010 refletiu a criação de medidas emergenciais para mitigar

os efeitos negativos da crise financeira internacional sobre a economia brasileira. Entre as medidas estavam a implementação do Programa de Sustentação do Investimento (PSI) e do Programa de Apoio ao Setor Sucroalcooleiro (BNDES PASS). O primeiro forneceu recursos a taxas fixas de juros subsidiados pelo Tesouro, que chegaram ao seu menor nível em 2012 (2,5%), para a aquisição de máquinas e equipamentos voltados para a expansão da produção ou para renovação da frota agrícola. O segundo teve como objetivo financiar a estocagem de etanol combustível.

FIGURA 16: DESEMBOLSOS DO BNDES PARA O SETOR SUCROENERGÉTICO
(EM BILHÕES DE REAIS)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de BNDES (2011, 2013a, 2015), G1 (2016) e Rede Agroservices (2016)

A partir de 2010, muitos dos investimentos planejados foram adiados, em decorrência do alto endividamento das empresas, o que refletiu na redução dos volumes desembolsados pelo BNDES. A retomada dos investimentos, em 2013, teve o incentivo de novos programas, com foco, principalmente, em projetos de inovação, como forma de promover o desenvolvimento tecnológico do setor.

O Plano Conjunto de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS), programa desenvolvido em parceria entre BNDES e a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), lançado em 2011, contou com três linhas temáticas: bioetanol de 2ª Geração; novos produtos de cana-de-açúcar, incluindo o desenvolvimento a partir da biomassa da cana por meio de processos biotecnológicos; e gaseificação, com ênfase em tecnologias, equipamentos, processos e catalisadores. O sucesso do PAISS motivou o lançamento, em 2014, do PAISS Agrícola, a nova versão do plano, também fruto de parceria do BNDES com a Finep. O foco do novo plano foi acelerar o desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas – como variedades de cana transgênica e de cana-energia e novas máquinas de plantio e colheita – que aumentassem a eficiência agrícola do setor sucroenergético e, conse-

quentemente, proporcionassem maiores ganhos de produtividade no médio e longo prazos.

Além desses, outra linha de financiamento de extrema importância foi o Programa de apoio à renovação e implantação de novos canaviais (BNDES Prorenova), criado em 2012, voltado para a renovação de canaviais. O programa colaborou de maneira decisiva para a retomada dos níveis de produtividade da cana e contribuiu para a redução da idade média dos canaviais de 3,9 para 3,2 anos, até 2014, segundo cálculos do próprio BNDES. Em 2017, o governo tornou a linha do Prorenova permanente, acatando a uma antiga reivindicação do setor (até essa decisão, era necessário negociar, a cada ano safra, o montante e a forma de financiamento para o Prorenova).

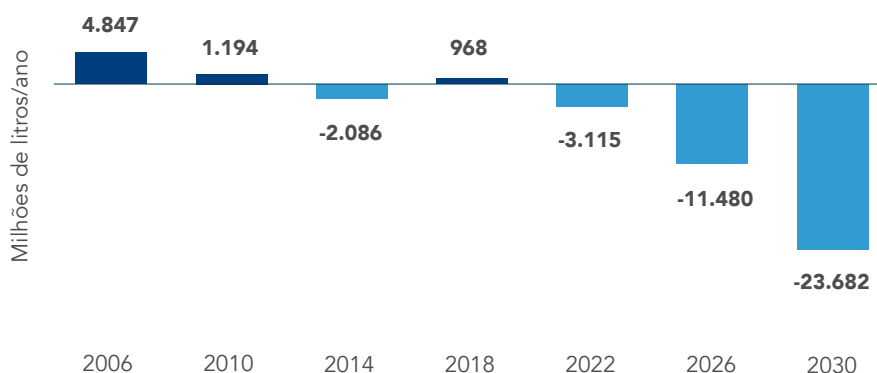
Em 2015, os desembolsos do banco foram 60% inferiores aos do ano de 2014, como resultado dos juros mais altos e do atraso na liberação de recursos da linha para estocagem de etanol. Em 2016, o volume dos empréstimos foi ainda menor. A restrição orçamentária do Governo, o cenário de incertezas, o alto endividamento das usinas e os prejuízos sofridos pelo BNDES causados pelas empresas do setor sucroenergético estão entre os motivos para a redução dos recursos provenientes do banco.

CENÁRIO DE ABASTECIMENTO – CICLO OTTO

A partir de 2010, o Brasil deixou de ser exportador de gasolina para se tornar importador, em decorrência do aumento da demanda pelo combustível e da falta de investimentos em aumento da capacidade de refino. A ANP

estima que, em 2030, haverá um déficit de produção interna para o ciclo Otto de aproximadamente 24 bilhões de litros (Figura 17). Além disso representar, em valores atuais, um dispêndio anual de cerca de R\$ 32 bilhões, a importação desse volume requer investimentos em infraestrutura de portos, dutos e capacidade de estocagem.

FIGURA 17: DÉFICIT DE PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEIS DO CICLO OTTO



Fonte: Adaptado de Chambriard (2016)

Em seu Plano Decenal de Expansão da Energia (PDE) 2026, a EPE (2017c) estima que haverá expansão da oferta de etanol e que o mercado nacional de etanol carburante deverá continuar sua trajetória de expansão nos próximos dez anos, para o atendimento à demanda do ciclo Otto. A EPE projeta ainda, que os investimentos no setor

de etanol, adicionados aos sinais provenientes de políticas públicas como o RenovaBio, desdobrem-se em aumento da competitividade do etanol frente à gasolina. Nesse sentido, o bio-combustível terá papel fundamental na redução do déficit de combustíveis derivados de petróleo projetado pela ANP.

Programa Combustível Brasil

O MME lançou, em fevereiro de 2017, a iniciativa Combustível Brasil, com foco na atração de investimentos para o setor de derivados, inclusive para a ampliação do parque de refino nacional e da infraestrutura logística deste mercado, de forma a garantir o fornecimento de combustíveis.

A iniciativa é motivada pelas projeções de crescimento do consumo (estudos preliminares da EPE indicam que em 2030 o país deverá consumir 3,1 milhões de barris/dia de derivados de petróleo, ante ao consumo de 2,3 milhões de barris/dia em 2016), pelo aumento da importação de derivados (487 mil barris/dia em 2016), bem como pela necessidade de adequações deste mercado com o reposicionamento da Petrobras, que deve reduzir sua participação no refino e logística, deixando também de garantir o abastecimento nacional.

Assim como ocorreu com o RenovaBio, o Combustível Brasil foi desenvolvido de forma participativa, com a realização de *workshops* técnicos com o setor privado e os técnicos do MME, da EPE e da ANP, que coordenam a iniciativa de forma conjunta.

A Resolução CNPE nº 15, aprovada em 8 de junho de 2017, definiu as diretrizes estratégicas para o desenvolvimento do mercado de combustíveis, demais derivados de petróleo e biocombustíveis, com o objetivo de embasar a proposição de medidas que contribuam para a garantia do abastecimento nacional. A Resolução declara que as ações em curso no âmbito da iniciativa Combustível Brasil têm como objetivo propor medidas que estimulem a entrada de novos agentes econômicos no setor de combustíveis, biocombustíveis e demais derivados de petróleo, bem como promover a livre concorrência.

O CNPE definiu também a criação do Comitê Técnico Integrado para o Desenvolvimento do Mercado de Combustíveis, demais Derivados de Petróleo

e Biocombustíveis, o CT-CB, que terá o objetivo de propor ações e medidas ao MME para aprimoramento do marco legal do setor e para o desenvolvimento do mercado de combustíveis, demais derivados de petróleo e biocombustíveis, além de avaliar a implementação das propostas apresentadas na iniciativa Combustível Brasil. O comitê será composto por representantes de todos os órgãos de governo envolvidos na implantação das diretrizes estratégicas e poderá convidar especialistas e representantes de outros órgãos e entidades, bem como da sociedade civil e associações, para participar de reuniões e prestar assessoramento sobre temas específicos.

A Resolução determina, ainda, que o CT-CB observe o alinhamento das suas propostas com outras iniciativas e programas do setor energético, em especial o RenovaBio. Tal alinhamento é de extrema importância, pois os dois programas são convergentes. Ambos os programas partem da premissa de que a demanda por combustíveis aumentará e que o Brasil precisa se preparar para supri-la. As discussões no âmbito do Combustível Brasil giram em torno de dois cenários: o primeiro deles considera que o Brasil deve buscar a autossuficiência em produção de derivados, o que implica na necessidade de investimentos em capacidade de refino, com a construção de novas refinarias e/ou a ampliação de unidades já existentes; o segundo avalia que o Brasil se tornará dependente de importação e, para isso, deve investir em infraestrutura e logística para a importação de derivados, como portos, dutos e estoques. Já o RenovaBio pretende estimular a produção de biocombustíveis, sabendo que o país tem capacidade de aumentar a produção de etanol e biodiesel, de forma a garantir boa parte do abastecimento de combustíveis no médio prazo. A questão do abastecimento é estratégica para Brasil e deve ser pensada de forma integrada, visando otimizar os investimentos e aproveitar o potencial de produção interna.

D. PRODUTIVIDADE

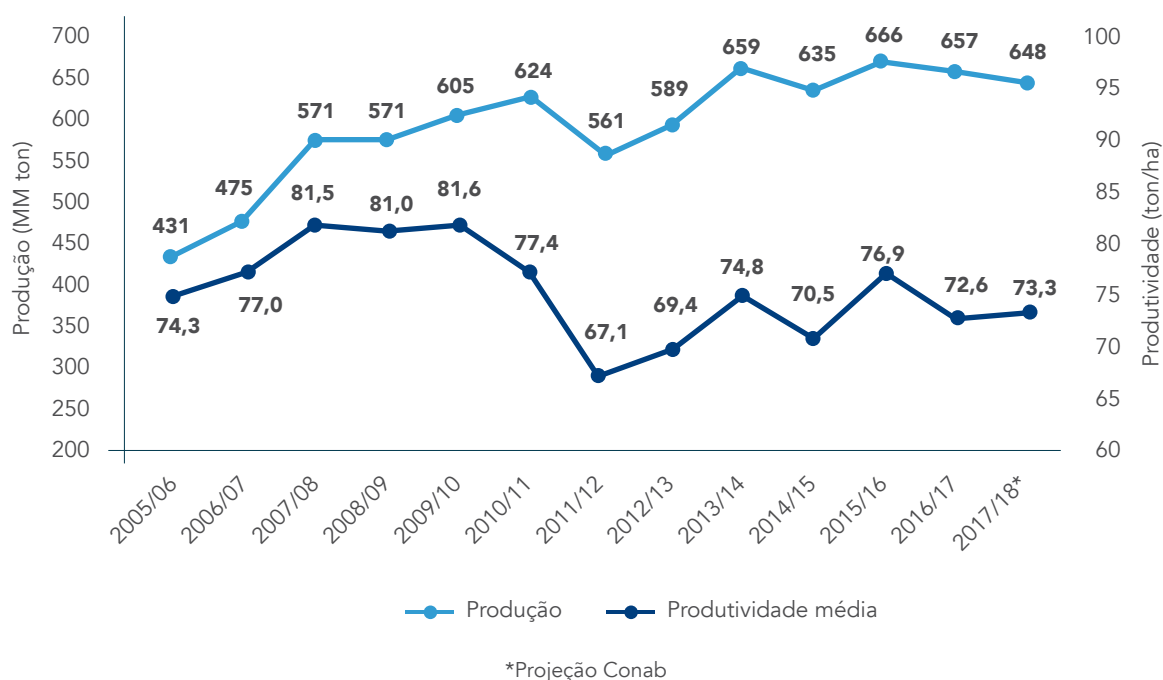
A competitividade do setor sucroenergético está intimamente relacionada com a produtividade da cana-de-açúcar, medida em toneladas por hectare (ton/ha), uma vez que o aumento da produção em uma determinada área agrícola leva a maiores rendimentos em termos de colheita e menores custos agrícolas. A produtividade depende de diversos fatores, sendo os principais: condições edafoclimáticas, qualidade das variedades de cana utilizadas, renovação dos canaviais, tratos culturais adequados, e uso das melhores técnicas de mecanização do plantio e da colheita. Já o rendimento da cana-de-açúcar, medido pelo índice Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) por tonelada de cana, é influenciado por fatores como: a maturação do canavial (canas colhidas no início da safra tem menor ATR), as variações de clima (temperatura, umidade relativa do ar, chuva), condições do solo e tratos culturais.

Para atingir as metas de expansão da produção associadas aos compromissos da COP 21, que implicam em praticamente duplicar o volume de etanol atualmente produzido, o setor espera que não será necessário dobrar a área plantada, pois deverá haver um importante aumento de produtividade. As apostas variam de 30% a 70% em relação aos níveis atuais. Parte disso virá da disseminação das melhores práticas que já vêm sendo adotadas pelas melhores empresas do setor (o diferencial de produtividade entre a

média do setor e as melhores empresas é estimado em 15%). Já se sabe que no Centro-Oeste estão sendo obtidos ganhos de produtividade devido a um fenômeno ainda pouco conhecido, que é o papel da cana na recuperação da qualidade do solo de áreas de pastagens utilizadas para a expansão da indústria sucroenergética. A produtividade, que no primeiro ciclo era de 75 ton/ha, tem chegado a 100 ton/ha no segundo ciclo. Outra parcela das contribuições advirá de inovações, como o desenvolvimento de novas variedades de cana, novas técnicas agrícolas e também de produção do etanol.

A produtividade, que no início do Proálcool era de 45 ton/ha, alcançou valores próximos a 82 ton/ha na safra 2009/10 (Figura 18). De 2009 a 2011 houve uma forte queda na produtividade agrícola, que vem se recuperando lentamente desde então. A expansão dos canaviais, com a implantação de novas usinas nos primeiros anos deste século, foi feita de forma desordenada, sem que houvesse critérios adequados de alocação de variedades às características edafoclimáticas das áreas de expansão, sendo um dos principais fatores que levaram às quedas de produtividade e ao aumento dos custos de produção. Outros fatores que contribuíram para esse cenário foram a ocorrência de condições climáticas adversas (secas), a falta de recursos financeiros para a renovação dos canaviais e para a aplicação de tratos culturais aos canaviais existentes, bem como a rápida implantação da mecanização.

FIGURA 18: PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE MÉDIA DA CANA-DE-AÇÚCAR



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Conab

Introduzida inicialmente pela Lei Estadual (SP) nº 11.241/2002, a mecanização da colheita passou também a ser exigida nos demais estados produtores. Além de melhorias nas condições de trabalho, possibilitou que os canaviais fossem colhidos sem queima, com significativos benefícios ao meio ambiente pela redução das emissões. A colheita sem queima trouxe também benefícios na conservação do solo, pois a palha deixada na lavoura permite o controle da erosão e da umidade em áreas quentes e secas, contribui para o aumento de matéria orgânica e nutrientes do solo, e atua no controle de ervas daninhas.

A implementação das tecnologias de colheita e plantio mecanizados, no entanto, causou impactos importantes no setor, levando a perdas de produtividade por falta de preparo apropriado do solo durante o plantio, pelo alinhamento inadequado do canavial, pela qualificação insuficiente dos operadores e pelas variedades de cana não adaptadas ao corte mecânico. Milanez et al. (2012) argumentam que, segundo especialistas do setor, as perdas de produtividade em consequência da mecanização podem ser explicadas por, pelo menos, três razões: (i) a compactação do solo; (ii) a menor densidade de plantas por área plantada, já que o plantio deve se ajus-

tar ao corte mecanizado; e (iii) a maior altura em que o colmo é cortado pelas colheitadeiras em relação à altura do corte manual, de modo a evitar que a máquina arranque as soqueiras de cana no momento da colheita.

Contudo, as perdas ocorridas em um primeiro momento com a implantação da mecanização da colheita, vêm sendo recuperadas com o aperfeiçoamento das técnicas agrícolas, entre elas a agricultura de precisão⁸, e com a curva de aprendizado resultante do conhecimento acumulado com as safras subsequentes. Nesse sentido, os primeiros esforços para obtenção de ganhos de produtividade devem ser direcionados à ampliação do uso das melhores práticas, pois representa o investimento mais barato. Os ganhos de produtividade na área agrícola levam a um crescimento da produção mantendo a mesma base de área plantada, sendo necessário investir apenas na ampliação da indústria, o que ocorre de forma mais rápida e com menos riscos. A seguir serão apresentadas algumas soluções tecnológicas em fase de desenvolvimento e/ou aprimoramento e que trazem boas perspectivas para a retomada do crescimento da produtividade do setor.

MELHORAMENTO GENÉTICO

A busca por aumentos de produtividade passa pelo desenvolvimento de novas variedades de cana, pois a manutenção de um canavial saudável requer que sejam feitas renovações periódicas

e que sejam plantadas variedades diferentes de cana. As técnicas de melhoramento genético buscam desenvolver variedades mais produtivas, mais resistentes a pragas e doenças, bem como a condições climáticas específicas, e mais adaptadas à colheita mecanizada.

No Brasil, existem três programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar: a Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (Ridesa), formada por um convênio de cooperação técnica entre dez universidades federais; o Centro de Tecnologia Canaveira (CTC), empresa privada que tem como acionistas as maiores empresas do setor; e o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), instituto de pesquisa da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo.

As técnicas utilizadas no melhoramento de plantas vão desde as tradicionais, como cruzamento e seleção, até o uso da engenharia genética. O melhoramento genético tradicional emprega o cruzamento entre variedades da mesma planta, envolvendo milhares de genes, com a finalidade de alcançar determinadas características. Essas tecnologias, no entanto, possuem limitações consideráveis. O desenvolvimento completo (até a comercialização) de uma nova variedade de cana leva, em média, dez anos. Se bem-sucedida comercialmente (depois da década de desenvolvimento), a nova variedade leva, pelo menos, mais cinco anos para figurar entre as

⁸ Sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva.

mais utilizadas pelas usinas (Nyko et al., 2013). Além disso, alguns traços desejáveis comercialmente não podem ser introduzidos na cana por meio das técnicas clássicas de melhoramento. Nesses casos, novas técnicas de melhoramento, como a transgenia, são necessárias.

Diversas culturas de plantas, como o milho e a soja, por exemplo, já fazem uso dessas técnicas há bastante tempo, mas a primeira cana-de-açúcar transgênica do mundo somente teve seu uso aprovado recentemente, no Brasil. Em junho de 2017, foi aprovado o uso comercial da primeira cana-de-açúcar geneticamente modificada, desenvolvida pelo CTC. A nova variedade, CTC 20 Bt, tem como característica a resistência à broca da cana (*Diatraea saccharalis*), principal praga que ameaça a cultura. As técnicas de transgenia demandam altos investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), que muitas vezes são considerados incompatíveis com o retorno proporcionado, porém o presidente do Conselho do CTC, Luís Roberto Pogetti, estima que, com a introdução das sete variedades que estão em desenvolvimento, sejam alcançados ganhos de produtividade de até 30%.

MUDAS PRÉ-BROTADAS

Outra frente de onde se espera um salto tecnológico relevante para a produtividade da cana vem do desenvolvimento de novas técnicas de plantio, que tradicionalmente é feito utilizando-se pedaços da própria cana (colmo), que são dispostos na terra para que brotem. Em média, são necessárias de 18 a 20 toneladas de cana para cada hectare.

Com a técnica das chamadas Mudanças Pré-Brotadas (MPB), ao invés de se utilizar os colmos, passa-se a utilizar uma planta, a muda pré-brotada. As mudas são produzidas em viveiros, a partir de colmos submetidos a cuidados e manejos adequados. As MPB são mudas de alta qualidade, livres de doenças e pragas e com capacidade de multiplicação maior do que pelo plantio tradicional. O sistema envolve a formação de viveiros para multiplicação rápida de novos materiais de cana e é um método simples que pode ser adotado por pequenos produtores e associações, não ficando restrito às usinas.

Segundo o IAC, entre os benefícios da técnica está a redução da quantidade de mudas que vai a campo. Para o plantio de um hectare de cana, o consumo de mudas cai de 18 a 20 toneladas, no plantio convencional, para 2 toneladas no MPB. Isso significa que as 16 a 18 toneladas que seriam enterradas como mudas irão para a indústria produzir álcool e açúcar, gerando ganhos ao produtor.

SEMENTES DE CANA-DE-AÇÚCAR

Considerada uma tecnologia com potencial para grandes ganhos de produtividade, o desenvolvimento das chamadas sementes de cana (células de cana clonadas) vem sendo conduzido, no Brasil, pelo CTC e constitui-se no desenvolvimento de sementes obtidas por técnicas de clonagem em larga escala, em um biorreator, de forma que poderão ser produzidas milhões de sementes a partir de uma única planta.

De acordo com o presidente do Conselho do CTC, Luís Roberto Pogetti, das 18 toneladas de cana atualmente utilizadas para se plantar um hectare, serão necessários apenas 300kg. Segundo Pogetti, o desafio atual consiste em ganhar escala e conferir rusticidade às sementes, para que consigam resistir às intempéries após o plantio. Espera-se, com essa tecnologia, uma redução do custo de plantio tão significativa, que será possível fazer a renovação do canavial em menor tempo, aumentando a produtividade média. A expectativa é que as sementes estejam disponíveis no mercado em, aproximadamente, cinco anos.

CANA-ENERGIA

Outra tecnologia de destaque na rota para o aumento de produtividade do setor sucroenergético

é a cana-energia. Trata-se de uma variedade produzida por meio de melhoramento genético, de forma a conter um percentual maior de fibras do que a cana convencional, tendo foco, inicialmente, na produção de energia elétrica e etanol de segunda geração.

A característica mais chamativa da cana-energia é a sua produtividade. Enquanto a cana comum apresenta valores médios de 70 a 100 ton/ha, empresas como a GranBio e a Vignis divulgam que produzem variedades de cana-energia com produtividades de 180 a 200 ton/ha. Isso significa dobrar a produção, sem aumentar em nada a área agrícola utilizada. A Tabela 3 apresenta uma comparação entre algumas características da cana convencional e da cana-energia produzida pela GranBio.

TABELA 3: COMPARAÇÃO ENTRE A CANA-ENERGIA E A CANA-DE-AÇÚCAR CONVENCIONAL

Características	Cana-de-açúcar (alta produtividade)	Cana-energia
Teor de fibras (%)	17,4	27
Teor de açúcar (%)	12,6	8,5
ATR (kg de ATR/ton de cana)	135	93
Produtividade (ton/ha)	100	180
Número de colheitas por ciclo	5	10
Bagaço (ton/ha)	25	92,6
Açúcar (ton/ha)	13,5	17,2

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de GranBio (2017) e Portal Canaonline (2016)

A produção de bagaço da cana-energia pode chegar a quase quatro vezes mais do que a da cana convencional, levando a um rendimento em energia elétrica e/ou etanol de segunda geração significativamente superior ao da variedade tradicional. Outra vantagem da cana-energia é que ela requer menores quantidades de água e insumos, o que permite seu plantio em áreas degradadas e pouco propícias para a produção de alimentos, não competindo, portanto, com a produção destes. Além de mais resistente a condições adversas de clima e solo, também possui maior resistência a pragas e doenças.

A qualidade do açúcar presente na cana-energia hoje disponível, não se presta à produção de açúcar. Contudo, diversas variedades estão em desenvolvimento, as quais podem conter um teor próximo ou maior de sacarose do que a cana tradicional e possibilitar, também, a produção de açúcar e etanol de primeira geração. Uma das variedades em desenvolvimento pela Ridesa mantém o teor de açúcar das variedades atuais, em torno de 15% de sacarose, com acréscimo na quantidade de fibra para 18% (a cana convencional possui 14%, em média). Esse tipo será para atender as atuais empresas do setor sucroenergético brasileiro, com vistas à produção de açúcar, etanol e eletricidade. Outro tipo, com reduzido teor de sacarose (próximo a 6%) e alto teor de fibra (próxima a 25%) destina-se à produção de energia elétrica.

Outra questão relevante para a disseminação da cana-energia é o fato das máquinas atuais

de colheita não terem capacidade para cortá-la. Uma vez que possui um formato diferente e mais fibras do que a cana convencional, o uso da variedade exige adaptações do maquinário industrial e agrícola da usina. De acordo com Pereira (2017), a pesquisa em torno dessas novas variedades se desenvolve em várias frentes: na mecanização, com equipamentos que são híbridos de forrageiras e colheitadeiras de cana; na cristalização do açúcar, uma vez que a pureza é inferior à da cana-de-açúcar; e na queima direta, que levaria a cana-energia do campo direto para a caldeira. A GranBio afirma que já desenvolveu, em parceria com uma empresa tradicional do setor de máquinas agrícolas, uma forrageira para fazer a colheita, que já está no quinto protótipo e disponível para a produção em escala de mercado, com custos competitivos em relação aos custos de colheita da cana convencional.

Diante da qualidade e disponibilidade de açúcar e dos problemas relacionados à sua colheita e processamento, boa parte dos produtores resiste à sua adoção, já que seus mercados de atuação estariam restritos ao de eletricidade e de etanol. Desta forma, espera-se que a introdução da cana-energia seja feita, inicialmente, no início e no final da safra, acrescentando maior produção de etanol de primeira geração e eletricidade, permitindo que a cana convencional seja colhida mais tarde, quando terá maior concentração de açúcar e melhor aproveitamento de seu potencial. Por outro lado, assim que o etanol de segunda geração se tornar uma realidade, o uso da cana-energia tende a ser ampliado.

ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO (E2G)

A produção de etanol a partir de matérias-primas celulósicas também é considerada uma tecnologia com capacidade para revolucionar a produtividade do setor sucroenergético. A utilização do bagaço e da palha representam um potencial que pode chegar a valores próximos a 50% de aumento de produção de biocombustível a partir da mesma quantidade de matéria-prima já empregada hoje na produção convencional.

No Brasil, as primeiras usinas de E2G começaram a surgir em 2014, como resultado de uma iniciativa do BNDES e da Finep (o programa PAISS), iniciada em 2011. O plano viabilizou a implementação de três plantas, duas em escala comercial, da GranBio, localizada em Alagoas, e da Raízen, em São Paulo, e outra demonstrativa, do CTC, em São Paulo. As usinas da GranBio e da Raízen estão entre as cinco empresas em operação no mundo, juntamente com as das empresas Poet-DSM (Iowa, Estados Unidos), Beta Renewables (Crescentino, Itália) e DuPont (Iowa, Estados Unidos). As empresas brasileiras possuem grande vantagem em termos de custos, já que utilizam os insumos mais baratos para a produção de etanol celulósico, o bagaço e a palha de cana-de-açúcar. Segundo a consultoria Lux Research (2017), essas biomassas podem custar menos da metade da palha de milho, matéria-prima usada nos Estados Unidos.

Embora as usinas de etanol celulósico sejam de tecnologia mais sofisticada e de investimentos

mais elevados, com um custo de capital estimado em 30% superior ao de uma usina convencional, a integração entre os processos de primeira e segunda geração permitem uma sinergia que pode elevar de 30 a 40% a produtividade total em termos de etanol, sem a necessidade de ampliação da área agrícola. A larga experiência brasileira com a primeira geração é mais uma vantagem, portanto, para a produção de E2G e que, se bem aproveitada, pode tornar o Brasil um líder no segmento de biocombustíveis de segunda geração.

Conforme mencionado anteriormente, o processo de produção de E2G envolve duas etapas anteriores à fermentação dos açúcares: o pré-tratamento e a hidrólise enzimática. A escolha de uma tecnologia eficiente de pré-tratamento é essencial para a viabilidade econômica do etanol celulósico, uma vez que essa etapa afeta o rendimento de todos os estágios subsequentes.

As tecnologias mais utilizadas como pré-tratamento são processos químicos, como hidrólises ácidas e/ou básicas, e físico-químicos, como a explosão a vapor. As empresas com projetos de E2G têm enfrentado dificuldades além do esperado nessa etapa, ao passar da escala piloto para a industrial. Uma das principais fontes de problemas está no teor acima do previsto de impurezas minerais (terra, areia e pedras), que chega junto com a matéria-prima na usina, provocando danos em estruturas como válvulas, bombas e tubulações, além de corrosão nos equipamentos, devido à alta pressão e temperatura do processo. Entre as soluções encontra-

das estão o revestimento das estruturas com material cerâmico e a pré-lavagem da biomassa. Outra fonte de complicações está nos equipamentos utilizadas para tratar a biomassa. As empresas acreditaram que seria possível utilizar o maquinário inicialmente criado para a indústria de papel e celulose, mas a matéria-prima é diferente e exigiu esforços para que se fizessem as adaptações necessárias. Com tantos entraves, as etapas de hidrólise e fermentação também tiveram a sua continuidade comprometida. Os tempos de reação estão acima do desejado, enquanto os rendimentos estão abaixo.

É importante mencionar que, uma vez que o insumo utilizado é o mesmo (bagaço e palha de cana), é possível haver competição entre a produção de E2G e bioeletricidade. A mesma biomassa que resulta no excedente de energia elétrica a ser comercializado pode ser direcionada para a produção de etanol celulósico e isso será mais uma decisão do produtor. Assim como este administra a proporção da cana que será destinada ao açúcar e ao etanol, ele também poderá optar entre a destinação da biomassa para E2G ou eletricidade, de acordo com as condições de mercado. Caberá a ele avaliar o risco e o retorno de cada opção.

Apesar de ainda haver gargalos, muitos dos pontos críticos da tecnologia de segunda geração já foram solucionados, como o desenvolvimento de enzimas para a quebra das complexas estruturas da matéria-prima celulósica e de leveduras para a fermentação dos açúcares.

Não obstante, dentre as duas plantas existentes no Brasil, a Raízen espera rodar nesta safra (2017/18) com 50% de capacidade e atingir, já na próxima safra, 100% da capacidade. De forma semelhante, a GranBio almeja chegar a 55% de ocupação nesta safra e a 100% da capacidade no próximo ano.

MILHO

O milho poderá ter papel relevante na ampliação da produção de etanol, especialmente nas chamadas usinas *flex*, que utilizam o grão durante a entressafra da cana. Isto só é viável nos estados produtores de milho do Centro-Oeste, onde a produção tem gerado excedentes, com baixo custo. O milho tem potencial para contribuir para o rápido aumento da produção no curto prazo, uma vez que a implantação do investimento ocorre em 18 meses, enquanto um canavial leva cerca de 5 anos para atingir sua completa implantação.

Em agosto de 2017, foi inaugurada a primeira usina de etanol feito exclusivamente de milho, no Mato Grosso, e o sucesso desta planta poderá ser um indutor de novos investimentos semelhantes. Vale notar que a classificação da pegada de carbono do etanol de milho do Brasil deverá ser a mesma ou próxima à do etanol de cana, dado que a sua produção usará energia renovável, a partir da queima de biomassa, ao passo que as usinas norte-americanas utilizam energia de origem fóssil.

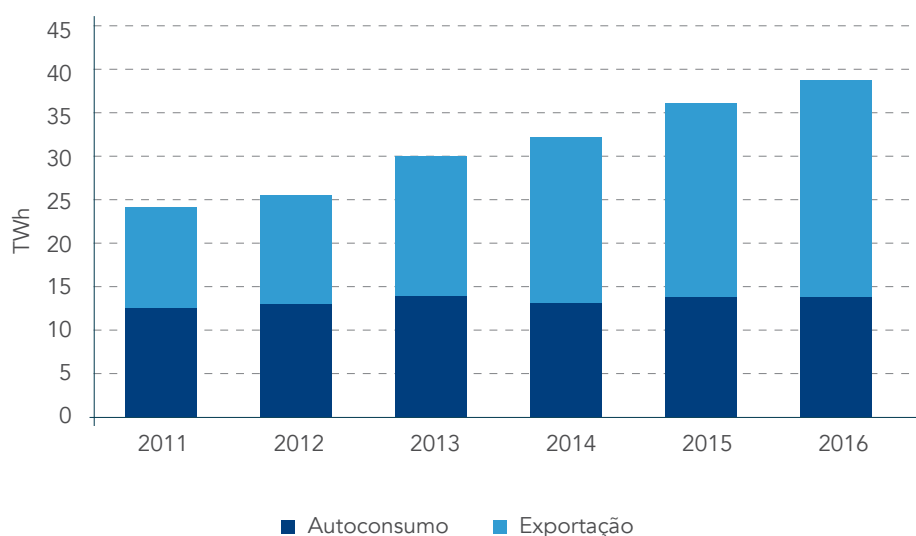
Bioeletricidade

A participação da bioeletricidade proveniente do bagaço da cana na geração elétrica do país tem sido cada vez mais relevante. Além de produzirem energia suficiente para consumo próprio, as usinas comercializam o volume excedente e este tem aumentado significativamente a cada ano. A geração elétrica pelo setor sucroenergético tem a vantagem de ser complementar à geração hidroelétrica, uma vez que sua produção se dá durante os meses de safra, que são os mais secos do ano, quando os reservatórios das hidroelétricas estão mais baixos. Segundo a EPE (2017b), dentre as 378 usinas a biomassa de cana-de-açúcar em operação em 2016, 44% comercializaram eletricidade. Este número apresenta um leve aumento em relação ao ano anterior, de 40%, mas evidencia que ainda há um potencial relevante a ser explorado. As usinas exportam energia para o Sistema Interligado Nacional (SIN), sendo que parte atua exclusivamente no Ambiente de Contratação Livre - ACL⁹ (57%) ou no Ambiente de Contratação Regulada - ACR¹⁰ (8%) e o restante (35%) vende em ambos os ambientes de contratação.

De acordo com a UNICA (2017), desde 2013, o setor sucroenergético vem gerando mais energia elétrica para o Sistema Interligado do que para o consumo próprio das unidades fabris, ficando numa relação 60% de energia para a rede e 40% para consumo próprio em 2015. Além disso, de 2004 a 2016, a bioeletricidade sucroenergética já comercializou um total de 125 projetos nos leilões regulados somando 1.662 MW médios (ou 14.559 GWh para entrega anual). A oferta de energia pelo setor sucroenergético em 2015 foi de 20 TWh, correspondendo a 4,4% do consumo nacional de energia elétrica.

-
- 9 No ACL, a contratação ocorre por meio de livre negociação entre compradores e vendedores, que realizam contratos bilaterais de compra e venda de energia. Não é permitido às distribuidoras adquirirem energia neste mercado.
- 10 No ACR, as operações de compra e venda de energia ocorrem por meio dos leilões de energia, como os de energia nova (A-3 e A-5), de reserva (LER) e de fontes alternativas (LFA).

AUTOCONSUMO E EXPORTAÇÃO DE BIOELETRICIDADE



Fonte: EPE (2017b)

Entre as iniciativas governamentais que impulsionaram o aumento de participação da bioeletricidade, estão a promoção de leilões de energia voltados para fontes alternativas e a criação do Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que tiveram como objetivo incentivar a diversificação da matriz de energia elétrica, introduzindo fontes renováveis e ampliando a participação de energia eólica, de biomassa e de pequenas centrais hidrelétricas. O BNDES também contribuiu com esse segmento ao disponibilizar linhas de financiamento voltadas para a renovação e a modernização das instalações de cogeração das usinas.

Outro fator relevante para o aumento da comercialização desse tipo de energia é o preço ofertado nos leilões. Quando estes foram competitivos para a economicidade dos projetos, o setor respondeu com a implantação dos 125 projetos mencionados anteriormente. Por outro lado, a comercialização dos excedentes vendidos no mercado livre com base no Preço de Liquidação de Diferenças (PLD¹¹), proporcionou boas receitas ao setor, uma vez que, nos últimos anos, os valores do PLD têm sido elevados devido à baixa geração das usinas hidrelétricas e ao aumento da participação das térmicas no atendimento da carga, chegando a atingir o preço de 822,83 R\$/MWh em fevereiro de 2014 (valor cerca de 7 vezes superior à média desde 2003).

Atualmente, a maior parte da bioeletricidade é gerada pela queima do bagaço da cana, mas também há espaço para aumentar a geração pela queima da palha. A colheita manual da cana envolve a prática da queima da palha, o que não ocorre na colheita mecanizada e, neste caso, uma quantidade considerável de palha fica na lavoura. Existem benefícios agrônômicos em se deixar a palha no campo, mas é possível aproveitar boa parte desse material, o que dependerá da viabilidade econômica do custo do recolhimento e transporte da palha até a usina. De acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC, 2017), pesquisadores do CTBE estão desenvolvendo um projeto para ampliar a produção de energia elétrica a partir da palha da cana-de-açúcar recolhida durante a colheita da cana sem queima. O projeto *Sugarcane Renewable Electricity* (Sucre), financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente e gerido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Pnud), começou em 2015, com um investimento de US\$ 67,5 milhões durante os cinco anos de duração, com o objetivo de identificar as barreiras que estão dificultando o uso da palha nas usinas. Especialistas estimam que é possível aumentar a produção de energia em sete vezes e, para isso, os pesquisadores trabalham na identificação e na solução dos problemas que dificultam a geração de eletricidade pelas usinas de forma plena e sistemática.

11 O PLD é um valor determinado semanalmente para cada patamar de carga com base no Custo Marginal de Operação, limitado por um preço máximo e mínimo vigentes para cada período de apuração e para cada Submercado (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, 2017).

E. TECNOLOGIA DOS MOTORES

Diferentemente do caso de veículos com motores dedicados a um único combustível, em que todos os parâmetros são ajustados para operar no ponto ótimo do combustível utilizado, seja álcool ou gasolina, o mesmo não ocorre nos veículos do tipo *flex*, que operam com valores médios e, portanto, fora do ponto ótimo de cada combustível. Alguns especialistas, como Nigro e Szwarc (2009) e Smith (2010), apontam que os motores do tipo *flex* não aproveitam integralmente as vantagens relacionadas à maior octanagem e à maior eficiência de combustão do etanol.

Para o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE, 2015), motores *flex* são motores a gasolina que também operam com etanol graças, basicamente, a ajustes do *software* que controla o motor. Por isso, geralmente, não conseguem aproveitar adequadamente as propriedades do etanol (como a totalidade de seu poder calorífico), vantajosas para os motores usados em veículos leves (ciclo Otto). No entanto, alguns motores *flex* já apresentam rendimentos maiores com etanol do que com gasolina, tendência que pode evoluir com o uso mais generalizado de injeção direta e dos turbos. O PrEE - Programa Etanol Eficiente do INEE, que calcula e divulga as eficiências relativas dos diversos modelos com base nas infor-

mações do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), verificou que, do total de modelos *flex* comercializados em 2015, a maioria (85%) foi mais eficiente usando etanol do que gasolina, representando um grande avanço em relação a 2014, quando apenas 25% dos carros eram mais eficientes com etanol. Isso significa que, para 85% dos modelos, os consumidores aceitariam abastecer com etanol quando este estivesse em uma relação de preços acima de 70%. Ainda segundo o INEE, esta melhora reflete avanços tecnológicos estimulados pelo Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (Inovar-Auto), que dá benefícios fiscais à indústria automotiva, mas exige, como contrapartida, um aumento da eficiência dos modelos.

O programa governamental Inovar-Auto, que teve início em 2013 e se encerra em dezembro de 2017, promove incentivos tributários direcionados a novos investimentos, à elevação do padrão tecnológico dos veículos, peças e componentes, e à segurança e eficiência energética veicular. Apesar do programa buscar a melhoria da eficiência energética como um todo, sem focar especificamente na otimização para o etanol, em 2014, a lei que instituiu o programa (Lei 12.715/2012), passou a prever a possibilidade de serem estabelecidas alíquotas do Imposto so-

O Rota 2030 ainda está sendo elaborado, mas as discussões já iniciaram e há uma expectativa de alinhamento de definições entre este e o RenovaBio, visto pela assinatura de um acordo entre representantes da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) e da UNICA.

bre Produtos Industrializados (IPI) menores para os veículos que adotarem motores *flex* que tiverem relação de consumo entre etanol hidratado e gasolina superior a 75%.

O governo já está estruturando o programa que vai suceder o Inovar-Auto em 2018, nomeado como Rota 2030, de iniciativa do MDIC. O Rota 2030 ainda está sendo elaborado, mas as discussões já iniciaram e há uma expectativa de alinhamento de definições entre este e o

RenovaBio, visto pela assinatura de um acordo entre representantes da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) e da UNICA. O acordo visa unir as estratégias dos dois programas com as metas assumidas na COP 21 e está centrado em três pilares: previsibilidade e garantia de oferta de biocombustíveis (previsto pelo RenovaBio); maior eficiência energética (prevista no Rota 2030); e redução das emissões de GEE, que permeia o âmbito dos dois programas (AutomotiveBusiness, 2017).

O papel dos biocombustíveis na mobilidade elétrica

Os veículos elétricos vêm ganhando cada vez mais espaço nas estradas mundiais. Em 2016, o estoque de carros elétricos ultrapassou a marca de 2 milhões de unidades (IEA, 2017). Esses números dizem respeito, majoritariamente, a veículos 100% elétricos e híbridos. Os veículos elétricos à célula de hidrogênio (FCEV, da sigla em inglês *Fuel Cell Electric Vehicle*) ainda são poucos – em 2016, existiam apenas três modelos de FCEV em mercados selecionados nos Estados Unidos: Toyota Mirai, Hyundai ix35/Tucson e Honda *Clarity* (IHS Markit, 2016). Em comparação, o número de modelos de elétricos puros e híbridos chegam a trinta e cinco. Entretanto, a tecnologia elétrica à célula de combustível vem se desenvolvendo, e novas possibilidades já estão surgindo, como a Célula de Combustível de Óxido Sólido (SOFC), que produz hidrogênio a partir de etanol.

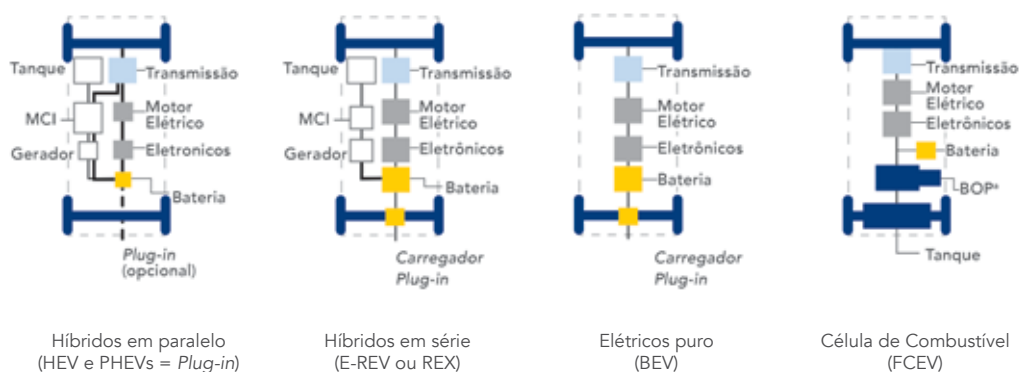
Antes de discutir como os biocombustíveis podem contribuir para o desenvolvimento da mobilidade elétrica no Brasil, cabe entender melhor sobre as diferentes tecnologias de veículos elétricos. Os diferentes tipos de veículos elétricos são:

1. Elétricos puros (BEV, da sigla em inglês *Battery Electric Vehicle*): possuem apenas um motor elétrico, que é responsável por movimentar o carro. Também são conhecidos como “100% elétrico” ou “puramente elétrico”;
2. Elétricos híbridos (HEV, da sigla em inglês *Hybrid Electric Vehicle*): são assim chamados por possuírem dois motores, um elétrico e outro à combustão interna. Os híbridos que têm tomada para recarga na rede elétrica são chamados *plug-in* (PHEV, da sigla em inglês *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*). Além disso, os híbridos podem ser em série ou em paralelo. Nos híbridos em paralelo, o motor que move o carro é à combustão interna, o motor elétrico tem função auxiliar. Já nos híbridos em série, o motor elétrico move o carro, enquanto que o motor à combustão interna fornece

energia para o motor elétrico principal. Híbridos em série são conhecidos por terem autonomia estendida, pois enquanto houver combustível para o motor à combustão interna gerar eletricidade, o veículo funcionará.

3. Elétricos à célula de combustível (FCEV, da sigla em inglês *Fuel Cell Electric Vehicle*): possuem apenas um motor, que é elétrico. A eletricidade que move o carro é resultante de uma reação química entre hidrogênio e oxigênio na célula de combustível. A fonte do oxigênio é o ar, enquanto que o hidrogênio é abastecido e armazenado em um tanque no veículo.

DIFERENTES TECNOLOGIAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS



Fonte: Caderno FGV Energia – Carros Elétricos (2017)

Os biocombustíveis, principalmente o etanol, podem ser um grande diferencial para a mobilidade elétrica brasileira. Além do FCEV tradicional, a Célula de Combustível de Óxido Sólido (SOFC), que utiliza etanol, está sendo desenvolvida pela Nissan, devendo estar disponível na próxima década.

Além disso, os carros elétricos híbridos *flex* também são uma possibilidade tecnológica que se apresentam como uma oportunidade para o Brasil. Da mesma forma que a tecnologia *flex fuel* foi desenvolvida nas últimas décadas, espera-se que híbridos *flex fuel* a gasolina e etanol se tornem uma realidade no futuro. Tanto que a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no Plano Decenal de Energia 2026, já considera os híbridos *flex fuel* uma realidade a partir de 2021¹². Dado que o Brasil tem vantagens comparativas, tanto na produção de biocombustíveis quanto em tecnologia *flex fuel*, e que os carros elétricos híbridos são uma tecnologia de transição que continuará em uso por ainda muitos anos, o país muito tem a ganhar com o desenvolvimento de elétricos a etanol.

Os veículos elétricos híbridos a biocombustível também podem ser utilizados no transporte de passageiros. A vantagem do emprego de combustíveis alternativos, como biocombustíveis e eletricidade, na frota de transporte público é a sua capacidade de ter um efeito considerável na descarbonização do transporte rodoviário, dado que o transporte coletivo é muito demandado, consumindo muito combustível e, por consequência, também emitindo muitos gases causadores do efeito estufa. Ônibus elétricos híbridos a biodiesel já circulam em Curitiba há alguns anos (G1, 2012). Em São Paulo, uma lei municipal exigia que, até 2018, todos os ônibus da cidade fossem movidos a combustíveis renováveis, ou seja, não fósseis. A utilização de ônibus híbridos *flex* seria uma boa opção. Essa meta, contudo, foi adiada até 2037 (ESTADÃO, 2017).

Em suma, os biocombustíveis podem contribuir consideravelmente para o desenvolvimento dos veículos elétricos no Brasil. A tecnologia elétrica híbrida, contudo, é tida como de transição, de forma que, no futuro, carros 100% elétricos se tornarão predominantes. Em um primeiro momento, a produção de híbridos *flex fuel* pelas montadoras tradicionais brasileiras deve deslançar – esses veículos já são, inclusive, considerados pelo planejador a partir de 2021. Enquanto isso, a tecnologia SOFC se aprimorará, de forma que, ainda na década de 2020, ela se torne uma realidade na produção de carros elétricos nacionais. É certo que o futuro do mundo da mobilidade é elétrico. No Brasil, isso não será diferente. Mas, antes de ser 100% elétrico, esse futuro no nosso país será híbrido a etanol, podendo, em seguida, ser à célula de etanol.

12 No PDE 2026, da EPE (2017c), os híbridos serão a maioria dos carros elétricos brasileiros, cuja participação esperada na frota é projetada em menos de 1% em 2026. Cabe destacar que, em tal horizonte, são considerados apenas veículos híbridos, sendo que os mesmos são assumidos como híbridos *flex fuel* a partir de 2021.

E. PERSPECTIVAS

As perspectivas de crescimento do setor, considerando o panorama apresentado, focando na retomada dos investimentos e no aumento da

produção de etanol, terá como direcionadores os seguintes motivos:

1

Cenário de oportunidades criado pelos compromissos assumidos na COP 21: metas de redução das emissões de GEE e percentuais definidos para a bioenergia na matriz

2

Nova proposta regulatória voltada para a promoção dos biocombustíveis – **RenovaBio**

3

Desenvolvimento de tecnologias com foco em aumento de produtividade, trazendo maior competitividade ao setor

4

Necessidade de garantia de abastecimento de combustíveis do ciclo Otto no médio prazo

5

Aprimoramento de motores à combustão para serem mais eficientes com o uso de etanol, além da possibilidade tecnológica de desenvolvimento de motores híbridos *flex* e motores elétricos à célula de combustível com hidrogênio proveniente do etanol



Biodiesel

A. CARACTERÍSTICAS E ESPECIFICAÇÕES

Diferentemente do etanol, o biodiesel não é um produto de composição única, mas uma mistura de ésteres de ácidos graxos que variam conforme a matéria-prima e a rota de produção empregada. A ANP, na Resolução nº30/2006, define o biodiesel como um combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e/ou esterificação de materiais graxos, de origem vegetal ou animal, e que atenda a determinada especificação.

O biodiesel é predominantemente produzido a partir de óleos vegetais, gorduras animais ou,

ainda, óleos residuais¹³. Tais óleos e gorduras sofrem uma reação com um álcool (usualmente metanol ou etanol), chamada de reação de transesterificação, da qual resultam compostos conhecidos como ésteres de ácidos graxos (biodiesel) e a glicerina. A reação de transesterificação é necessária para permitir a obtenção de um combustível com propriedades similares ao diesel, para ser usado em um motor de ignição por compressão (ciclo Diesel). A reação promove a redução da viscosidade e da densidade do óleo vegetal, além de outras propriedades que afetam a combustão e, consequentemente, a eficiência do motor.

¹³. Em teoria, o biodiesel pode ser produzido a partir de qualquer fonte de ácidos graxos. Então, além dos óleos e gorduras animais ou vegetais, os resíduos graxos também aparecem como matérias-primas para a produção desse biocombustível. São exemplos destes os óleos de frituras, as borras de refinação, a matéria graxa dos esgotos, óleos ou gorduras vegetais ou animais fora de especificação, ácidos graxos, entre outros.

Apesar da disponibilidade de etanol no Brasil e da menor toxicidade deste álcool, quando comparado ao metanol, a rota metílica (que emprega o metanol) é a mais utilizada no país e no mundo. Do ponto de vista técnico, a rota metílica é mais simples quando comparada à rota etílica (que usa o etanol). Na rota metílica, o tempo de reação é menor, a separação da glicerina é mais fácil e a reação tem maior ren-

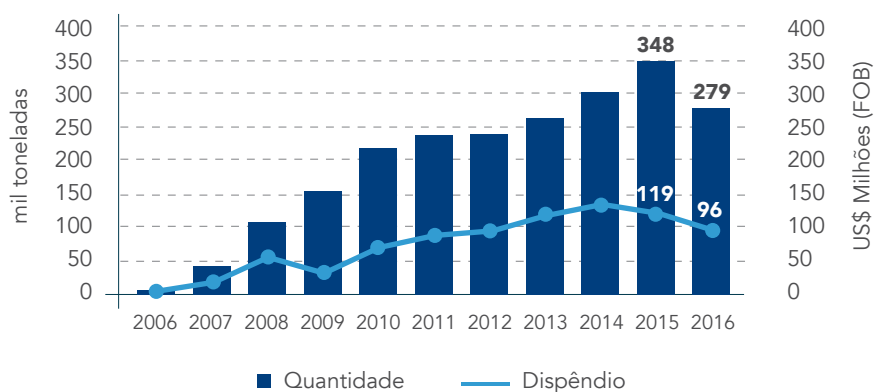
dimento. Já a reação com o etanol apresenta um rendimento menor, o que implica na necessidade de mais reagentes, maiores temperaturas (portanto, mais energia), além de reatores maiores, tornando o processo mais caro. Mesmo o Brasil sendo dependente da importação do metanol (não há produção desse álcool aqui), esse ainda tem a vantagem de ser mais barato que o etanol.

Metanol

O metanol, ou álcool metílico, tem diversas aplicações industriais, como solvente na indústria de plásticos, por exemplo, e é um insumo fundamental para a produção do biodiesel. A rota mais comum de produção do metanol é a que utiliza o gás de síntese, que pode ser obtido do gás natural. Os Estados Unidos concentram a produção mundial devido à sua alta produção de gás natural, a preços baixos.

O Brasil não produz esse álcool, portanto, todo o volume utilizado é importado, principalmente do Chile. As principais empresas fornecedoras para o Brasil são a Methanex, que possui duas plantas de produção no Chile (apenas uma está operando atualmente), e a *Southern Chemical Corporation - SCC*, com operação em Trinidad e Tobago. Em 2016, o Brasil importou 279 mil toneladas do álcool, o que envolveu o dispêndio de 96 milhões de dólares, ambos os valores 20% inferiores aos de 2015. A recessão econômica fez com que o consumo de diesel, em 2016, apresentasse queda, provocando a redução da demanda por biodiesel. Como consequência, a demanda por metanol também diminuiu.

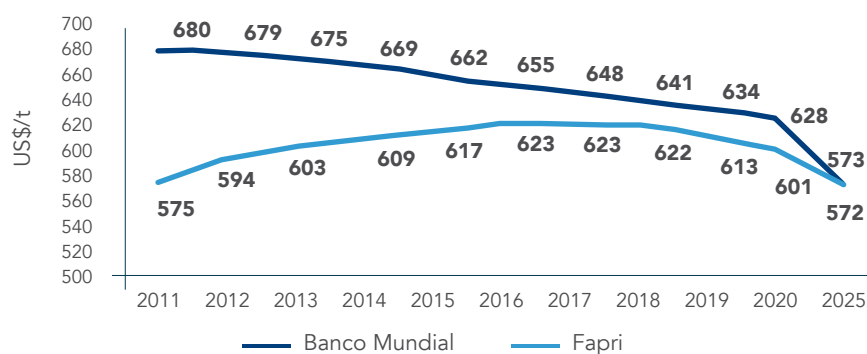
IMPORTAÇÃO DE METANOL EXCLUSIVO PARA O BIODIESEL



Fonte: EPE, 2016

De acordo com o Banco Mundial (2016) e a FAPRI (*Food and Agriculture Police Reserach Institute*, 2017), existe a expectativa de queda dos preços do metanol, uma vez que o gás natural, principal insumo da produção de metanol, tem apresentado uma forte tendência de baixa no Brasil e no mundo.

PROJEÇÃO DE PREÇOS DO METANOL



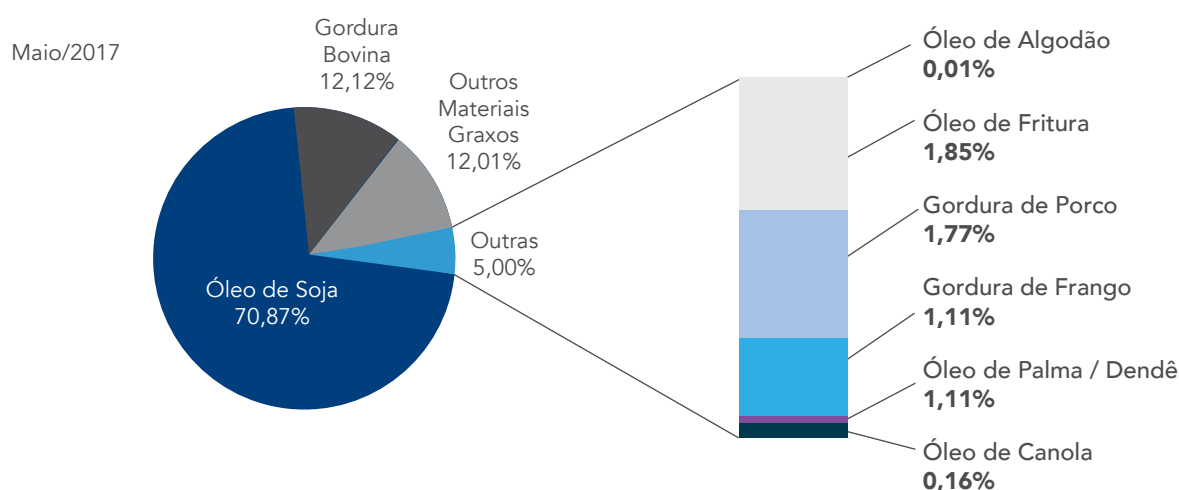
Fonte: Banco Mundial (2016) e a Food and Agriculture Police Reserach Institute (FAPRI, 2017)

As características do óleo/gordura utilizado como matéria-prima influenciam nas propriedades do biodiesel produzido. O biodiesel feito a partir de gordura bovina, por exemplo, devido à maior presença de gorduras saturadas, tende a solidificar mais facilmente em baixas temperaturas do que o biodiesel produzido a partir de óleos vegetais e isso pode causar o entupimento de bicos injetores, comprometendo a queima eficiente do combustível. Além das propriedades físico-químicas, que podem afetar a armazenagem, a distribuição e a própria combustão dentro do motor, a escolha da matéria-prima deve levar em consideração fatores como a produtividade agrícola, que depende ainda de condições edafoclimáticas, e os custos de produção, entre outros.

A Figura 19 apresenta o percentual de participação de cada matéria-prima utilizada no Brasil, em maio/2017, onde pode-se verificar que, aproxi-

madamente, 83% da produção se baseia em soja (71%) e gordura bovina (12%). Apesar da cultura da soja não ser a mais produtiva quando comparada a outras oleaginosas, a sua alta relevância na produção de biodiesel se deve a alguns motivos, como o alto nível de estruturação da cadeia produtiva e a sua inserção em um mercado global típico de uma *commodity* internacional, o acúmulo de anos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico (tanto no Brasil como no exterior), além de ser um produto barato, disponível e que pode atender facilmente à demanda, já que o Brasil é o segundo maior produtor mundial do grão, atrás dos Estados Unidos. A gordura bovina também é um material de baixo custo e disponível em grande quantidade, sendo ainda ambientalmente interessante, já que dá destino a um resíduo. Além disso, o uso do sebo para produzir biodiesel agrega valor à cadeia da carne bovina e não compete com a produção de alimentos.

FIGURA 19: MATÉRIAS-PRIMAS USADAS NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO BRASIL



A Tabela 4 apresenta algumas propriedades e especificações determinadas pela ANP para o diesel S10 e para o biodiesel puro (B100). Apesar de possuir um poder calorífico inferior ao diesel, o biodiesel apresenta valores maiores do Número de Cetano, parâmetro que mede a

qualidade de ignição do combustível e que está relacionado, portanto, com a eficiência do motor. A viscosidade do biocombustível é mais alta do que a do combustível fóssil, porém não há o comprometimento do motor, já que o biodiesel é adicionado ao diesel em percentuais baixos.

TABELA 4: PROPRIEDADES DO DIESEL E DO BIODIESEL

Propriedade	Diesel S10	Biodiesel (B100)
Poder Calorífico inferior (MJ/kg)	42,3	37,7
Massa específica a 20°C (kg/m³)	815-850	850-900
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm²/s)	2,0 a 4,5	3,0 a 6,0
Número de cetano	48-52	50-65
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín (horas)	-	8
Teor de água, máx. (mg/kg)	-	200
Ponto de Entupimento de Filtro a Frio (°C)	-	5 a 19

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP

A estabilidade à oxidação é uma propriedade que afeta diretamente a estabilidade do biodiesel durante o período de estocagem. Devido à presença de insaturações (ligações duplas) na molécula do biodiesel, este pode sofrer reações que causam a sua degradação, provocando alterações nas suas características físicas e químicas e, conseqüentemente, afetando a sua qualidade. Os combustíveis fósseis, ao contrário, são compostos estáveis, que mantêm as suas características inalteradas por longos períodos. Outra propriedade importante do

biodiesel é o Ponto de Entupimento de Filtro a Frio, que está relacionado com as características de escoamento do biocombustível, pois este tende a solidificar ou perder a fluidez em temperaturas baixas. Os valores especificados pela ANP, para esse parâmetro, variam entre os estados e entre os meses do ano.

A especificação brasileira é a mais exigente no que diz respeito ao teor de água. Os 200 mg/kg adotados no Brasil são cerca de metade do que se tolera no resto do mundo, exigência que se faz

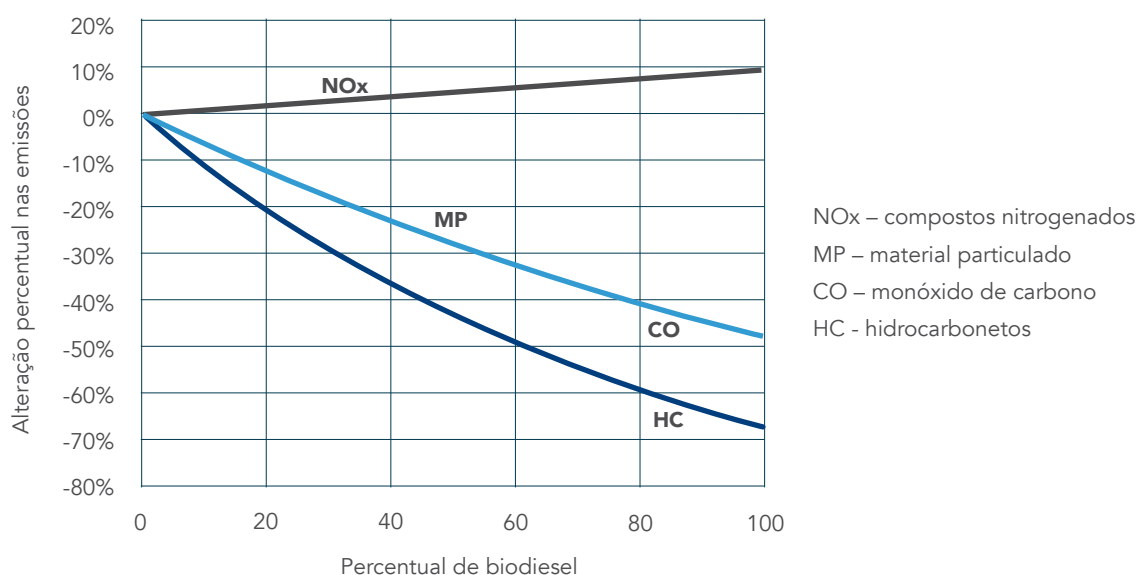
necessária, por exemplo, devido às particularidades logísticas do extenso território nacional. Vale salientar que a higroscopicidade (capacidade de absorver água) elevada do biodiesel exigiu investimentos nas fábricas brasileiras, não apenas para a obtenção de biodiesel abaixo desse teor, mas, também, para mantê-lo durante o transporte e armazenagem (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, 2015).

De acordo com o Departamento de Energia norte-americano (DOE, 2014), o biodiesel pode ser misturado ao diesel em diferentes proporções, sendo o B20 o mais comum nos Estados Unidos. Motores que utilizam B20 apresentam valores de consumo de combustível, potência e torque similares aos que operam com diesel fóssil. Além de ter maior Número de Cetano, o biodiesel possui

maior lubrificidade (capacidade de lubrificar bombas e bicos injetores de combustível) que o diesel mineral, logo, ele entra em combustão mais facilmente e lubrifica o sistema de combustível. A adição de biodiesel no diesel tornou-se ainda mais importante com a diminuição do teor de enxofre no diesel fóssil, uma vez que era este componente que propiciava a lubrificação dos motores.

A adição de biodiesel ao diesel contribui para a redução de emissões de poluentes, conforme mostra a Figura 20. A adição de 20% de biodiesel reduz as emissões de hidrocarbonetos em 20% e de monóxido de carbono e material particulado em 12%. Em contrapartida, há um aumento de emissões de compostos nitrogenados, porém pouco expressivos (2%) em misturas contendo até 20% de biodiesel.

FIGURA 20: IMPACTO DA ADIÇÃO DE BIODIESEL NA REDUÇÃO DE EMISSÕES



B. REGULAÇÃO

O PNPB é um programa interministerial do Governo Federal, criado em 2004, que objetiva a implementação de forma sustentável, tanto técnica, como econômica, da produção e uso do biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda. As principais diretrizes do programa são: implantar um programa sustentável, promovendo inclusão social; garantir preços competitivos, qualidade e suprimento; e produzir o biodiesel a partir de diferentes fontes oleaginosas, fortalecendo as potencialidades regionais para a produção de matéria-prima (Ministério do Desenvolvimento Agrário - MDA, 2017).

A Lei 11.097/2005, que materializou a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, define o biodiesel como um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. Esta lei definiu o percentual mínimo obrigatório de 5% de adição em volume (B5) de biodiesel ao diesel, com prazo de até 8 anos para sua implantação, definindo ainda a utilização de uma mistura intermediária de 2% (B2) para os três primeiros anos. Esta obrigatoriedade inicial entrou em vigor em janeiro de 2008 e o percentual de mistura foi sendo ampliado gradualmente, conforme mostra a Tabela 5.

A Lei 13.263/2016 determinou um cronograma de aumento do teor de biodiesel no diesel para os anos de 2017 (B8, que entrou em vigor em março), 2018 (B9) e 2019 (B10). No entanto, o setor vem reivindicando a antecipação dos mandatos de B9 e B10, ou até mesmo a passagem direta do B8 para B10, em março de 2018, o que está em discussão junto ao governo.

TABELA 5: HISTÓRICO DO TEOR DE MISTURA DE BIODIESEL NO DIESEL

% Biodiesel no Diesel	
antes de 2008	opcional
Jan/2008	2%
Jul/2008	3%
Jul/2009	4%
Jan/2010	5%
Aug/2014	6%
Nov/2014	7%
Mar/2017	8%
Mar/2018	9%
Mar/2019	10%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP

Vale notar que outros países já usam teores de mistura de biodiesel superiores ao B8, em vigor no Brasil, entre eles a Argentina (B10) e os Estados Unidos (até B20).

A mesma lei prevê, ainda, a possibilidade de adição de até 15% de biodiesel no diesel, sendo necessário, para isso, a realização de testes e ensaios que validem a utilização da mistura pela indústria automotiva. Os testes estão sendo realizados, com previsão de conclusão em até 18 meses a partir de julho de 2017, data em que foi assinado o Termo de Cooperação entre as partes envolvidas, sendo que os testes do B10 deverão estar concluídos até fevereiro de 2018 (EXTRA, 2017). Serão realizados 49 testes para o uso de B10, B15 e B20, envolvendo 23 empresas entre montadoras e fornecedoras de autopeças. Entidades do setor, como a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE), a Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil (APROBIO) e a União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene (UBRABIO) propõem que os mandatos cheguem a B15 em 2025 e B20 em 2030.

Vale notar que outros países já usam teores de mistura de biodiesel superiores ao B8, em vigor no Brasil, entre eles a Argentina (B10) e os Estados Unidos (até B20). A maior parte dos fabricantes de automóveis nos Estados Unidos dão garantia para o uso de teores até 20% de biodiesel e, sendo a indústria automotiva uma indústria global, pode-se argumentar que os veículos e motores usados no exterior são os mesmos usados no Brasil e que, portanto, não seria necessária a realização dos testes previstos em Lei. Contudo, a Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA) justifica a realização dos testes em função de vários fatores relacionados ao combustível e também aos veículos. O biodiesel brasileiro tem como matérias-primas, principalmente, a soja e o sebo bovino, ao passo que nos Estados Unidos e Argentina o biodiesel tem o óleo de soja de forma preponderante em sua composição, gerando um produto com algumas características

diferentes daquele produzido no Brasil. Por outro lado, como as especificações de emissões e de combustíveis são diferentes em cada país, existem diferenças entre alguns componentes dos motores usados em cada mercado. Desta forma, os testes avaliarão aspectos como as variações de performance dos motores (curva de torque, potência e consumo), eficiência de filtros, conversão de gases e acúmulo de impurezas nos catalisadores, além da compatibilidade com os materiais usados nos componentes dos sistemas de injeção (polímeros, elastômeros e metais).

Por outro lado, os distribuidores pedem previsibilidade no processo de aumento de percentuais de mistura, visto que tais alterações demandam planejamento por parte dos distribuidores, orçamento para realizar adequações de infraestrutura (plataformas de carga e descarga e tancagem) e controle de qualidade de produto.

LEILÕES

Conforme definido pela Resolução CNPE N° 5, de 03/10/2007, a comercialização do biodiesel é feita por meio de leilões públicos organizados pela ANP, com periodicidade bimestral, para entrega do biodiesel nos dois meses subsequentes ao mês do leilão. Os leilões de biodiesel visam à aquisição de biodiesel dos fornecedores (produtores de biodiesel) pelos adquirentes (produtores e importadores de óleo diesel) para aten-

dimento ao percentual de mistura obrigatória e, também para fins de uso voluntário. A ANP determina, nos editais dos certames, o volume que deverá ser comercializado, as características técnicas, as condições de entrega e o preço máximo de referência do biodiesel. O formato dos leilões já sofreu algumas alterações ao longo dos anos, chegando ao modelo atual, que ocorre de forma *online*, utilizando a plataforma de compras da Petrobras, a Petronect.

A Petrobras, detentora de participação superior a 99% da produção do óleo diesel no país, é considerada a única adquirente pela ANP e a ela cabe operacionalizar as etapas de comercialização dos leilões, fazendo a seleção das ofertas dos produtores de acordo com as necessidades dos seus clientes (as distribuidoras). Para isso, a empresa recebe um valor de 25,00 R\$/m³, definido como Margem da Petrobras.

De acordo com a Portaria MME n° 476/2012, para a promoção de cada Leilão Público, a ANP estabelece o Preço Máximo de Referência - PMR, para cada região, a ser observado pelos fornecedores na apresentação das ofertas de venda do biodiesel, cabendo-lhe considerar, entre outros critérios, o custo de oportunidade regional de uma ou mais matérias-primas preponderantes na produção de biodiesel e, quando for o caso, os custos para atendimento ao Selo Combustível Social (SCS). O preço unitário ofertado para cada oferta individual,

em R\$/m³, para entrega na unidade produtora do fornecedor, incluindo os tributos federais incidentes sobre o biodiesel, não poderá ser superior ao PMR, e o volume total ofertado, em metros cúbicos, não poderá exceder a efetiva disponibilidade de oferta de biodiesel da unidade produtora.

A primeira fase do leilão envolve a negociação de 80% do volume total a ser comercializado e é restrita aos produtores detentores do SCS. O selo é um certificado concedido aos produtores de biodiesel que adquirirem percentuais mínimos de matéria-prima da agricultura familiar (15% a 40%), mediante a celebração de contratos com os agricultores familiares, estabelecendo prazos e condições de entrega da matéria-prima, bem como o fornecimento de assistência técnica a estes agricultores. Além da preferência nos leilões, os detentores do selo também são beneficiados com o acesso a melhores condições de financiamento junto às instituições financeiras e a alíquotas de PIS/PASEP e COFINS com coeficientes de redução diferenciados, que variam de acordo com a matéria-prima adquirida e a região da aquisição. O processo de concessão do SCS é feito mediante auditorias realizadas pelo MDA, que atesta o cumprimento das obrigações de aquisição de matérias-primas e de prestação de assistência técnica, revisando a concessão do SCS anualmente para cada produtor de biodiesel.

No âmbito do PNPB, a obrigatoriedade do SCS tinha por objetivo original a inclusão social de

agricultores familiares, especialmente os produtores de mamona do Nordeste, que seriam beneficiados com a assistência técnica e a aquisição de sua produção. Contudo, diante da falta de estruturação destes produtores, que elevava o custo para o fornecimento de assistência técnica, os produtores concentraram a aquisição de matéria-prima da agricultura familiar junto aos produtores de soja do sul do país, onde já havia uma cultura de cooperativismo de várias décadas, proporcionando menores custos para a obtenção do SCS. Desta forma, das 72.485 famílias fornecedoras de matéria-prima nos arranjos do SCS em 2015, apenas 3.926 eram do Nordeste. Dada esta concentração de beneficiários na região Sul, agentes do setor esperam mudanças das regras do SCS, de forma a criar novos incentivos que promovam a inclusão de agricultores familiares de outras regiões do país, bem como a simplificação das regras de obtenção e revalidação anual do selo, que acarreta custos adicionais aos produtores.

Os Leilões de Biodiesel são considerados um mecanismo transparente de comercialização, por ser um certame público, onde são conhecidos todos os volumes transacionados e seus respectivos fornecedores, assim como as condições de preço. Além disso, os leilões oferecem igualdade de acesso entre fornecedores e não discriminam o porte do produtor de biodiesel (APROBIO, 2017). De uma forma geral, os agentes envolvidos na produção e comercialização do biodiesel parecem estar satisfeitos com o modelo vigente dos leilões, que garante trans-

parência e isonomia ao mercado, minimizando a possibilidade de fraudes fiscais. Há, no entanto, os que defendem o fim dos leilões, alegando que a melhor solução seria ter um mercado livre, em que os produtores e compradores de biodiesel fariam contratos bilaterais privados, nos quais determinariam preços, volume, prazos de entrega e outras condições, sem interferências externas.

Além dos leilões regulares, a ANP pode realizar leilões complementares ou específicos em situações nas quais houver necessidade de: i) suprir os volumes de biodiesel não entregues pelos produtores aos adquirentes; e ii) aquisição de quantidades de biodiesel superiores à demanda necessária ao atendimento do percentual mínimo obrigatório (ANP, 2016b).

Em 2013, o MME publicou a Portaria nº 116, que estabelece diretrizes específicas para a formação de estoques de biodiesel. O documento determina que a ANP estabelecerá os volumes mínimos de biodiesel para fins de estoques a serem mantidos por cada adquirente (produtores e importadores de óleo diesel derivado de petróleo), proporcionalmente à sua respectiva participação no mercado nacional de óleo diesel derivado de petróleo. A Portaria possibilitou, ainda, a transferência da responsabilidade sobre o estoque regulador e estratégico para as usinas de biodiesel. A modalidade de contratação é um mecanismo moderno de negociação, usado em outros setores, mas agora introduzido aos biocombustíveis. Os adquirentes

(Petrobras, basicamente) contratam o direito de retirar o biodiesel quando for preciso, a qualquer tempo. Os vendedores (usinas) ficam então obrigados a concluir a transação, ao preço acordado. O biodiesel continuará no estoque regular dos produtores, cuja movimentação é diária ou semanal. Com isso, evita-se a degradação do produto quando armazenado por longos períodos. Elimina, ainda, a necessidade de transporte físico da usina até a Petrobras. Na eventual necessidade de consumir os estoques de segurança, o biodiesel sairá diretamente do produtor para a distribuidora (MME, 2013).

A Resolução CNPE nº3, de 21/09/2015, autorizou e definiu as diretrizes para a comercialização e o uso voluntário de misturas com biodiesel, o chamado mercado autorizativo, em quantidade superior ao percentual de sua adição obrigatória ao óleo diesel, observados os seguintes limites máximos de adição de biodiesel ao óleo diesel, em volume: 20% em frotas cativas ou consumidores rodoviários atendidos por ponto de abastecimento; 30% no transporte ferroviário; 30% no uso agrícola e industrial; e 100% no uso experimental, específico ou em demais aplicações.

A ANP estabeleceu as regras para o biodiesel autorizativo, com o objetivo de aproveitar e estimular as condições que podem torná-lo competitivo frente ao óleo diesel, principalmente em regiões distantes de refinarias de petróleo e com abundância de capacidade produtiva. Para viabilizar a aquisição desta parcela de biodiesel, algumas regras vigentes foram alteradas a

partir do 48º leilão (abril/2016), sendo então suprimidas: a autorização dos órgãos ambientais estaduais, as declarações de concordância dos fabricantes de motores (ou declaração de usuário final assumindo qualquer risco), a identificação do responsável pela análise do combustível utilizado e a relação dos veículos que utilizariam a mistura autorizativa.

Apesar das medidas para facilitar o desenvolvimento do mercado autorizativo, praticamente não tem havido demanda neste sentido. Os principais usuários em potencial seriam as frotas de caminhões e máquinas agrícolas, que atuam próximo às usinas de produção de biodiesel e longe das refinarias de petróleo, situação em que pode haver maior competitividade do biodiesel em relação ao diesel fóssil. Para se ter uma ideia da dimensão deste mercado, apenas o consumo de diesel das máquinas agrícolas da produção de soja chega a 1,6 bilhões de litros por ano. A EPE (2017c), em seu PDE 2026 sinaliza que esse mercado, ainda incipiente, poderá crescer, visto que parte da venda do leilão 53 foi para abastecer 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.

REGIME TRIBUTÁRIO DO BIODIESEL

As regras tributárias do biodiesel referentes ao PIS/PASEP e à COFINS determinam que esses tributos sejam cobrados uma única vez e que o contribuinte é o produtor industrial de biodiesel. Ele poderá optar entre uma alíquota percentual que incide sobre o preço do produto, ou pelo pagamento de uma alíquota específica, que é um valor fixo por metro cúbico de biodiesel comercializado, conforme dispõe a Lei nº 11.116, de 18 de maio de 2005. Essa Lei dispõe, ainda, que o Poder Executivo poderá estabelecer coeficientes de redução para a alíquota específica, que poderão ser diferenciadas em função da matéria-prima utilizada na produção, da região de produção dessa matéria-prima e do tipo de seu fornecedor (agricultura familiar ou agronegócio).

As Tabelas 6 e 7 apresentam, respectivamente os valores dos coeficientes de redução e de redução diferenciada de PIS/COFINS para o biodiesel. No caso do óleo diesel, as alíquotas de PIS e COFINS somavam R\$ 248,00/m³ até julho de 2017, tendo passado para R\$ 461,50/m³ no mesmo mês.

TABELA 6: COEFICIENTES DE REDUÇÃO DE PIS/COFINS PARA O BIODIESEL

Lei nº 11.116/05		Decreto 5.297/04	Decreto 5.457/05	Decreto 6.606/08	Decreto 7.768/12
Coeficientes de redução (%)		67	67,63	73,57	78,02
PIS (R\$/m³)	120,14	39,65	38,89	31,75	26,41
COFINS (R\$/m³)	553,19	182,55	179,07	146,20	121,59

Fonte: EPE (2016b)

TABELA 7: COEFICIENTES DE REDUÇÃO DIFERENCIADOS DE PIS/COFINS PARA O BIODIESEL

Lei nº 11.116/05		Decreto 5.297/04		Decreto 6.458/08	Decreto 7.768/12	
Coeficientes de redução (%)		Mamona ou Palma (N, NE e seminário)	Agricultura familiar (PRONAF)	Agricultura familiar (PRONAF) das Regiões N, NE e seminário	Mamona ou Palma (N, NE e seminário)	Agricultura familiar (PRONAF)
Coeficientes de redução (%)		77,5	89,6	100	81,29	91,35
PIS (R\$/m³)	120,14	27,03	12,49	0,00	22,48	10,39
COFINS (R\$/m³)	553,19	124,47	57,53	0,00	103,51	47,85

Fonte: EPE (2016b)

A chamada Lei Kandir, de 1996, foi um marco na tributação da cadeia da soja, pois retirou a incidência de ICMS sobre a exportação de produtos primários e semielaborados, entre eles a soja *in natura*.

Outro imposto federal, a CIDE tem sua incidência de forma monofásica sobre o volume comercializado pelo Produtor/Importador/Formulador. Assim, o imposto incide separadamente sobre os volumes de diesel A (sem adição de biodiesel) e de biodiesel. No biodiesel, a alíquota de incidência é zero, enquanto no diesel A a alíquota é, atualmente, de R\$ 50,00/m³. Dessa forma, na prática, o preço pago pelo consumidor final (preço de revenda) incorpora apenas montantes relacionados à CIDE apurada sobre o volume de diesel A que entra na mistura (atualmente 92%). À medida que o percentual de biodiesel for aumentando na mistura, a incidência da CIDE será sob um volume cada vez menor (EPE, 2017). O ICMS, imposto estadual, incide com carga equivalente a 12% do valor das operações, nas saídas de biodiesel (B100), resultante da industrialização de: grãos, sebo de origem animal, sementes, palma, óleos de origem animal e vegetal e algas marinhas.

REGIME TRIBUTÁRIO DA CADEIA PRODUTIVA DA SOJA

A chamada Lei Kandir, de 1996, foi um marco na tributação da cadeia da soja, pois retirou a incidência de ICMS sobre a exportação de produtos primários e semielaborados, entre eles a soja *in natura*. Já o uso da soja como matéria-prima, para ser processada (ou esmagada) e produzir o farelo e o óleo, sofre incidência de ICMS interestadual (alíquota de 12%) e isso causa distorções dentro do país (Tabela 8). Quando a indústria processadora está localizada no mesmo estado produtor do grão, não há incidência de ICMS. No entanto, se a indústria está localizada em um estado diferente de onde a soja foi produzida, ela pagará o imposto sobre a matéria-prima que será processada. Nesse sentido, a solução encontrada foi a construção de usinas em estados produtores soja, ou a verticalização da produção. A desoneração da exportação de soja *in natura* foi fundamental para aumentar a produção e as exportações brasileiras da *commodity*, mas tornou a exportação do grão mais vantajosa do que a exportação de farelo e óleo, produtos com maior valor agregado.

TABELA 8: INCIDÊNCIA DE ICMS NA CADEIA DA SOJA

Atividade	Localização	Incidência de ICMS
Exportação de soja <i>in natura</i>	qualquer estado	Não
Processamento da soja	produção da soja e indústria processadora localizadas no mesmo estado	Não
Processamento da soja	produção da soja e indústria processadora localizadas em estados diferentes	ICMS interestadual sobre a matéria-prima (12%)
Exportação de farelo e óleo	qualquer estado	Não
Venda de óleo no mercado interno	consumidor e indústria processadora localizados no mesmo estado	redução da base de cálculo em 7%
Venda de farelo no mercado interno	consumidor e indústria processadora localizados no mesmo estado	Não

Fonte: Elaboração própria

C. MERCADO

PRODUÇÃO E CAPACIDADE INSTALADA

Segundo dados da ANP (2017), em 2016 foram produzidos 3,8 bilhões de litros de biodiesel no Brasil. O Brasil é o segundo maior produtor e consumidor de biodiesel, atrás dos Estados Unidos. Em seguida, no ranking, aparecem Alemanha, Indonésia e Argentina.

A Figura 21 mostra a evolução da produção e da capacidade instalada de biodiesel no Brasil, assim como o número de usinas autorizadas pela ANP. A produção seguiu trajetória

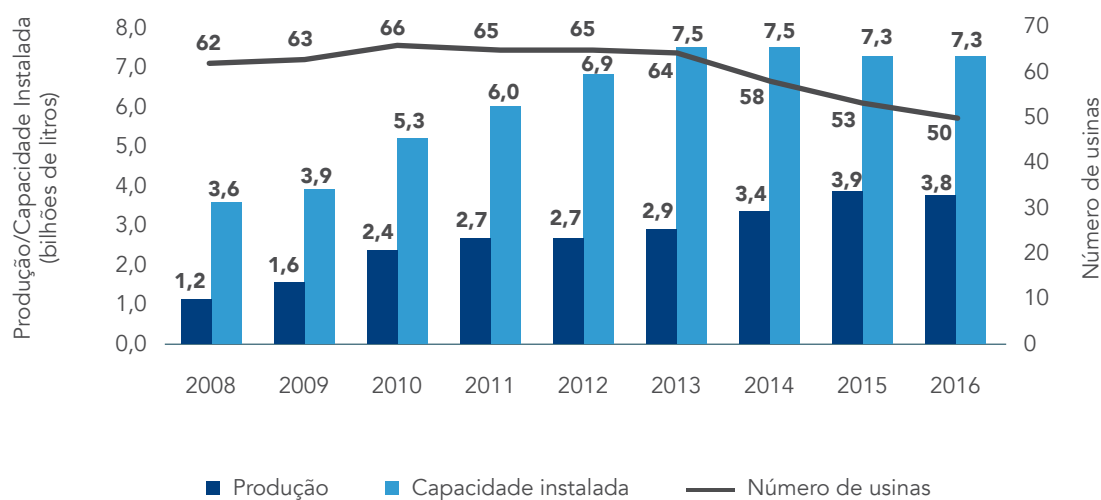
de crescimento desde o início, acompanhando o aumento dos mandatos de mistura. Em 2016, no entanto, o volume sofreu uma retração de 3,5% em relação a 2015, em decorrência da redução do consumo de combustíveis do ciclo Diesel provocada pela recessão econômica do país.

A indústria de biodiesel vem atuando com capacidade instalada bem acima do nível de produção, sendo que em 2016 a capacidade ociosa foi de 48%. O setor de biodiesel foi se preparando, desde o início do PNPB, para um aumento gradual do mandato de mistura do biodiesel no diesel mineral, mas esse aumento ocorreu de forma mais lenta do que o crescimento da

capacidade das usinas. Conforme mostrado na Tabela 5 (Histórico do teor de mistura de biodiesel no diesel), o tempo decorrido entre o mandato de 5% (em janeiro/2010) e o de 6% (em agosto/2014) foi de mais de quatro anos e o aumento do teor de 7% (em novembro/2014)

para 8% (em março/2017) demorou quase três anos para acontecer. A falta de previsibilidade em relação ao aumento dos percentuais obrigatórios deixou o setor inseguro e o reflexo foi o fechamento de usinas. O número de plantas caiu de 66, em 2010, para 50, em 2016.

FIGURA 21: EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO, CAPACIDADE INSTALADA E NÚMERO DE USINAS DE BIODIESEL



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP

De acordo com ABIOVE, APROBIO E UBRABIO (2016), em 2030 será necessária a produção de 18 de bilhões de litros de biodiesel, considerando o mandato de adição de 20% de bio-

diesel no diesel, o que significa mais do que quadruplicar a produção e mais do que dobrar a capacidade instalada atual (Tabela 9).

TABELA 9: PROJEÇÕES PARA O MERCADO NACIONAL DE BIODIESEL ATÉ 2030

Premissas/Projeções	2016	2020	2025	2030	Unidade (milhões)
Mistura Obrigatória	B7	B10	B15	B20	%
Composição de matérias-primas					
Óleo de soja	77	77	77	77	%
Sebo bovino	18	15	11	8	%
Óleo de palma	0	2	5	8	%
Outros	5	6	7	7	%
Volume de diesel B	55	64	76	90	m³
Volume de biodiesel	3,9	6,4	11,4	18,0	m³
Volume de biodiesel de soja	3,0	4,9	8,8	13,9	m³
Óleo de soja para biodiesel	2,6	4,3	7,7	12,2	t
Soja processada para biodiesel	14,1	23,4	41,8	65,9	t
Volume de biodiesel de sebo bovino	0,7	1,0	1,3	1,4	m³
Sebo para biodiesel	0,6	0,8	1,1	1,3	m³
Abates equivalentes	27	37	48	55	cabeças
Volume de biodiesel de óleo de palma	0,0	0,1	0,6	1,4	m³
Óleo de palma para biodiesel	0,0	0,1	0,5	1,3	t
Área plantada necessária	0,0	0,03	0,11	0,25	ha

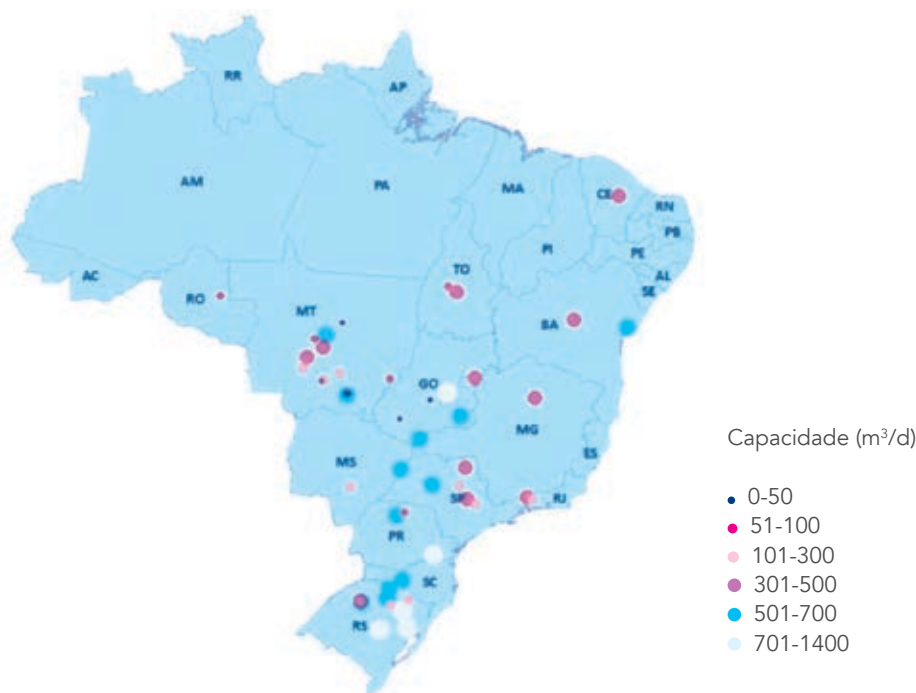
Fonte: ABIOVE, APROBIO E UBRABIO (2016)

USINAS

Em dezembro de 2016, haviam 50 usinas produtoras de biodiesel autorizadas pela ANP. De acordo com a ANP, em fevereiro de 2017, o número de plantas aumentou para 51, além de três novas plantas estarem autorizadas para construção e outras três para aumento da capacidade de produção. Dado que a produção do biocom-

bustível utiliza como principais matérias-primas a soja, a maior parte das plantas de biodiesel se encontra nas regiões de maior concentração de produção do grão (Figura 22). O número de usinas está assim distribuído: Centro Oeste, 45%; Sul, 27%; Sudeste, 16%; Norte, 6% e Nordeste, 6% (dados de fevereiro/2017 da ANP).

FIGURA 22: LOCALIZAÇÃO DAS USINAS DE BIODIESEL



Fonte: (ANP, 2017b)

De acordo com Mendes e Costa (2010), no setor de biodiesel, as empresas podem ser classificadas como integradas, parcialmente integradas e não integradas. As empresas integradas são aquelas que plantam ou comercializam a cultura vegetal (soja, girassol, algodão etc.), esmagam o grão dessa cultura para produzir o óleo vegetal e produzem o biodiesel com base nesse óleo. As empresas integradas têm a opção de vender o grão, o óleo vegetal ou o biodiesel. Normalmente, essas empresas optam por vender os produtos que tiverem as melhores margens num determinado período. Além disso, essas empresas são as mais competitivas e mais eficientes na comercialização de biodie-

sel, elas conseguem se apropriar de melhores margens do que as empresas não integradas. As empresas produtoras de biodiesel parcialmente integradas são aquelas que podem produzir o óleo vegetal, por disporem de planta de esmagamento, e biodiesel. Portanto, podem comercializar tanto o óleo vegetal quanto o biodiesel. Essas empresas não plantam e nem comercializam a cultura vegetal. As não integradas não têm a opção de fabricar produtos diversificados (biodiesel, óleo vegetal, ou grão), uma vez que produzem única e exclusivamente biodiesel. Elas adquirem o óleo vegetal a preço de mercado e não a custo de produção, como as empresas integradas. Elas estão focadas no

mercado de biodiesel e precisam trabalhar continuamente, evitando as paradas usuais de uma produção flexível, para compensar os maiores custos de matéria-prima.

A Tabela 10 apresenta as maiores empresas em termos de capacidade de produção e o grau de verticalização de cada uma. Verifica-se que há um maior número de empresas integradas.

TABELA 10: CAPACIDADE E GRAU DE VERTICALIZAÇÃO DAS MAIORES PRODUTORAS DE BIODIESEL

Empresa	Capacidade (m³/ano)	Grau de verticalização
Granol	887.879	integrada
ADM	670.320	integrada
Oleoplan	507.600	parcialmente integrada
PBio	478.030	não integrada
Caramuru	450.000	integrada
BSBios	424.800	integrada
Potencial	382.680	não integrada
Olfar	378.000	integrada
Bianchini	324.000	parcialmente integrada

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP e informações disponíveis nos sites das empresas

COMPLEXO DA SOJA

Uma vez que a soja responde por mais de 70% das matérias-primas utilizadas na produção brasileira de biodiesel, é relevante abordar um pouco algumas características do mercado dessa *commodity*. O Brasil é o segundo maior produtor do grão e disputa a liderança das exportações com o maior produtor, os Estados Unidos. A Tabela 11 mostra alguns dados do

complexo da soja. Em 2016, o Brasil produziu 96,2 milhões de toneladas de soja e, desse total, exportou 51,6%. No mesmo ano, foram processadas 39,5 milhões de toneladas do grão, uma redução de 3% em relação ao ano anterior. Para 2017, a ABIOVE prevê a produção de 113,2 milhões de toneladas de soja, 18% a mais do que em 2016, das quais 63 milhões de toneladas serão exportadas e 41 milhões de toneladas serão processadas.

TABELA 11: DADOS ANUAIS DO COMPLEXO DA SOJA (MILHÕES DE TONELADAS)

	Quantidade (MMton)			Variação (%)	
	2015	2016	2017 (P)	2016/2015	2017/2016
Soja					
Produção	97,0	96,2	113,2	-1%	18%
Exportação	54,3	51,6	63,0	-5%	22%
Processamento	40,6	39,5	41,0	-3%	4%
Processamento (%)	42%	41%	36%	-1%	-5%
Capacidade de processamento	61,8	65,0	65,0a	5%	0%
Capacidade de processamento utilizada (%)	66%	61%	63%	-5%	2%
Farelo					
Produção	30,8	30,2	31,1	-2%	3%
Consumo Doméstico	16,0	15,8	15,8	-1%	0%
Exportação	14,8	14,2	15,5	-4%	9%
Óleo					
Produção	8,1	7,9	8,1	-2%	3%
Consumo Doméstico	6,5	6,6	6,9	1%	5%
Exportação	1,7	1,3	1,3	-24%	3%

(P) - Previsão

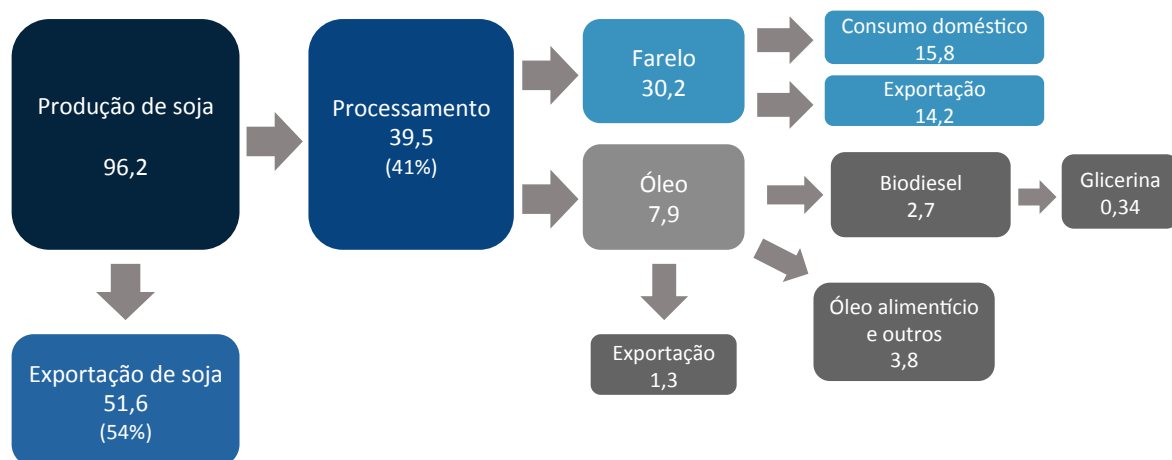
a - O valor de 2016 foi repetido em 2017

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABIOVE e EPE (2017)

Por ser isenta de tributação, a exportação do grão *in natura* acaba sendo privilegiada, em detrimento do seu processamento, que dá origem ao óleo e ao farelo, produtos de maior valor agregado. Em 2016, o Brasil tinha capacidade para processar 65 milhões de toneladas de soja, mas processou apenas 39,5 milhões de toneladas do grão, o que representa 61% da sua capacidade. A Figura 23 ilustra a logística do complexo da soja, com os valores do ano de 2016.

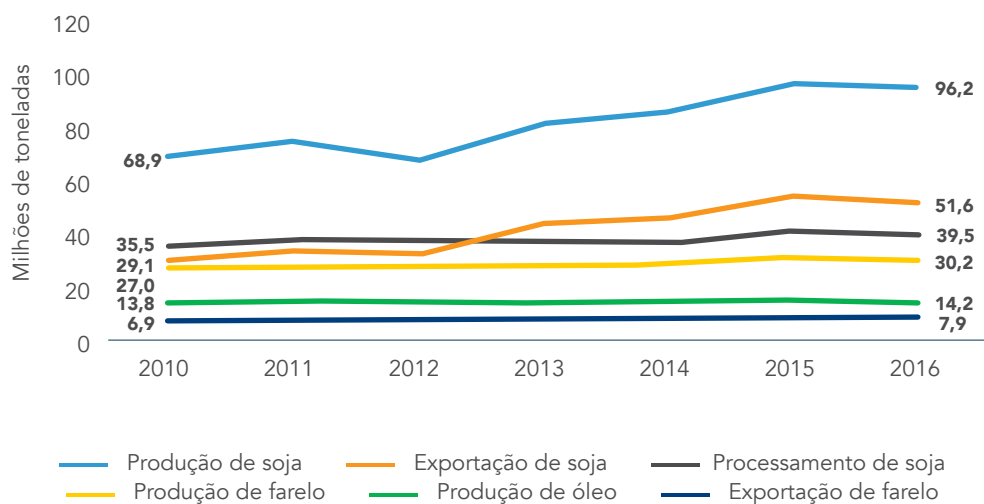
A Figura 24 mostra que entre 2010 e 2016, as exportações de soja em grão aumentaram 77% (de 29,1 para 51,6 milhões de toneladas), enquanto o processamento cresceu 11% (de 35,5 para 39,5 milhões de toneladas). As exportações de farelo aumentaram apenas 3% em relação a 2010, mas a ABIOVE projeta que o volume exportado em 2017 será 9% superior ao de 2016. O aumento das exportações de farelo demanda algumas ações governamentais, como a diversificação dos mercados de destino, a resolução de questões tributárias e, também, investimentos em logística.

FIGURA 23: COMPLEXO DA SOJA – VALORES DE 2016 (MILHÕES DE TONELADAS)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABIOVE e EPE (2017)

FIGURA 24: EVOLUÇÃO DO COMPLEXO DA SOJA



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABIOVE

Mercado brasileiro de farelo de soja

O farelo de soja é resultado do processo de esmagamento da soja, que gera como principal subproduto o óleo de soja degomado. Esse é utilizado como principal matéria-prima para a produção de óleo de soja refinado e biodiesel. O farelo é utilizado como ingrediente na fabricação de ração para diversos animais.

As associações de produtores de soja e biodiesel ABIOVE, APROBIO e UBRABIO (2016) projetam que 77% do biodiesel, em 2030, será proveniente da soja e, para isso, será necessário aumentar o processamento do grão de 40% para 65%. Com esse percentual de esmagamento, a produção brasileira de farelo de soja alcançará 84,7 milhões de toneladas (mais do que o dobro da produção atual, de 31 milhões de toneladas). Essa quantidade representará quase 20% da produção mundial. Atualmente, a participação brasileira é de 11%, de acordo com estimativas da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO).

Segundo os dados da ABIOVE (2017), do total de farelo a ser produzido, 41,5 milhões de toneladas deverão ser direcionadas para o mercado interno e atender à produção de ração para cadeias alimentares, em especial as de aves, suínos, e pecuária de corte e de leite, enquanto 43,2 milhões de toneladas deverão ser exportadas. Indústrias e *tradings* do setor que atuam no Brasil estão preocupados com a crescente produção doméstica de farelo de soja e têm como prioridade conseguir o acesso ao mercado chinês, que atualmente é o maior consumidor global de farelo de soja (66,6 milhões de toneladas por ano), mas toda a demanda é abastecida por indústrias locais.

O governo brasileiro está negociando com as autoridades chinesas a liberação de uma cota de 5 milhões de toneladas de farelo de soja por ano em vendas para o país. Além da China, o Brasil enxerga a necessidade de negociação e abertura de mercado em outros países asiáticos como Coreia do Sul, Vietnã, Tailândia e Mianmar, que já adquirem de 3 a 5 milhões de toneladas de soja em grão do Brasil, mas são abastecidos por farelo argentino (ABIOVE, 2016).

O escoamento da produção nacional de farelo de soja tem sido visto como um desafio para as indústrias do setor, uma vez que o país está elevando sua produção, porém os volumes consumidos têm apresentado crescimentos marginais. O aumento da produção de farelo está relacionado com as mudanças recentes na mistura de biodiesel ao diesel, que foi elevada de 7% para 8% neste ano e espera-se que chegue a 10% ainda em 2018. Portanto, o Brasil enfrentará um excedente cada vez maior de farelo gerado em função do aumento da produção do biocombustível. Segundo Carlo Lovatelli, presidente da ABIOVE, cada ponto percentual de combustível vegetal adicionado ao fóssil resultará em um incremento de 400 mil toneladas na produção anual de óleo de soja, que tem como subproduto cerca de 2 milhões de toneladas de farelo. O presidente da associação reconhece que o grande desafio das empresas é encontrar compradores para esse enorme volume adicional, que dificilmente será absorvido pelo mercado interno.

Entretanto, o país ainda precisa superar alguns entraves que afetam a cadeia produtiva da soja e sua agregação de valor. Dentre eles estão os problemas tributários, que reduzem a competitividade internacional do setor frente aos principais concorrentes, como China, Estados Unidos, Argentina e União Europeia. Distorções ligadas a tributos federais e ICMS tornam mais dispendiosa a exportação de farelo e óleo em comparação à soja em grão. A ABIOVE reivindica que é urgente implementar uma nova política tributária para a indústria de óleos vegetais que garanta isonomia com o produto exportado *in natura* via desoneração do Funrural¹⁴, ressarcimento acelerado de créditos de PIS e COFINS e eliminação da incidência de ICMS nas operações interestaduais de soja destinada à produção para exportação. Essas soluções determinarão a capacidade da indústria brasileira de recuperar sua rentabilidade, voltar a investir, exportar produtos de maior valor agregado e de contribuir com a missão do país de fornecer alimentos de alta qualidade para o mundo a preços competitivos.

14. O Fundo de Assistência ao Trabalhador Rural (Funrural) é uma contribuição social que deve ser paga pelo produtor rural.

GLICERINA

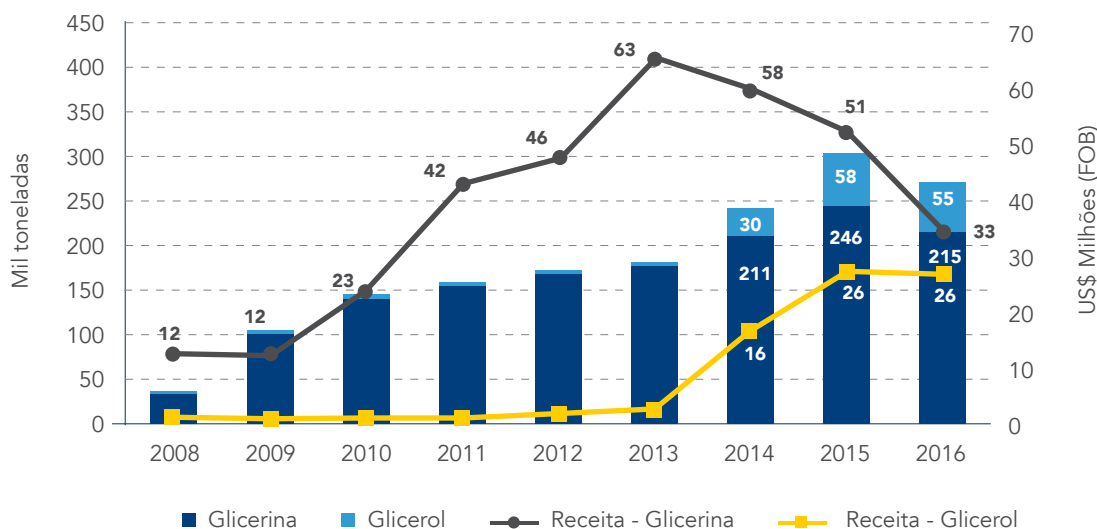
A glicerina bruta é um coproduto da cadeia do biodiesel, que corresponde a 10% em massa do biocombustível produzido. O mercado de global de glicerina anda em franco crescimento. Segundo projeções divulgadas pela consultoria global *Persistence Market Research*, a demanda deverá crescer cerca de 4% ao ano entre 2016 e 2024 (BiodieselBR, 2017). O glicerol é uma classificação para a glicerina refinada, que tem melhores preços no mercado internacional que a glicerina bruta, e várias usinas estão instalando equipamentos para sua purificação, visando melhores receitas (EPE, 2017b).

Em 2016, o Brasil exportou 215 mil toneladas de glicerina bruta e 55 mil toneladas de glicerol (Figura 25). A receita obtida com a exportação

de glicerina bruta foi 35% inferior à de 2015, enquanto as exportações caíram 13%. No caso do glicerol, apesar da redução do volume exportado, não houve impactos na receita obtida. A China é o principal destino das exportações, com cerca de 80% do total.

Algumas alternativas para novas utilizações da glicerina também estão sendo desenvolvidas para absorver o excedente deste composto no mercado. Uma alternativa com destaque é a adição da glicerina à ração de frangos, suínos ou bovinos. Essa adição já foi autorizada pelo MAPA. Para tal finalidade, a glicerina pode constituir até 10% da ração e a concentração mínima de glicerol deve ser de 80%. Descobrir e viabilizar novos mercados para a glicerina é um desafio, mas que fortalecerá a cadeia produtiva do biodiesel (Biomercado, 2015).

FIGURA 25: EXPORTAÇÕES DE GLICERINA BRUTA E GLICEROL



PREÇOS

Os preços de biodiesel dependem fortemente do preço do óleo vegetal, uma vez que as matérias-primas representam 80% a 85% do seu custo de produção. Outro fator que determina o preço é o grau de competitividade, que está relacionado diretamente com o número de produtores e da capacidade de utilização ou ociosidade das plantas. Nos leilões da ANP, a agência só determina o preço máximo, e os preços médios leiloados são determinados em função do grau de competição entre os produtores (Mendes e Costa, 2010).

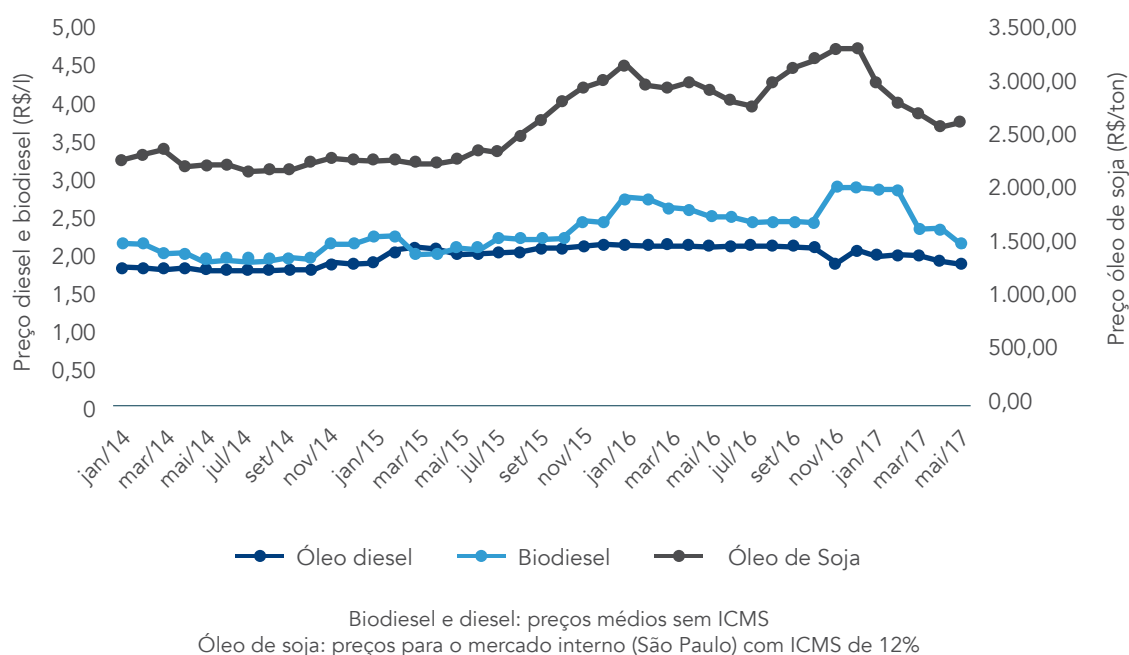
De acordo com o levantamento de informações a respeito da evolução dos custos de produção de soja no Brasil, no período entre os anos-safra de 2007/08 e 2015/16, realizado pela Conab (2016),

os itens que apresentaram maior participação nos custos de produção foram os fertilizantes, os agrotóxicos, as operações com máquinas, as sementes e a depreciação de máquinas e implementos, que juntos representam, em média, 68,8% do custo operacional. O maior índice de participação nos custos operacionais são os fertilizantes, com média de 27,8%.

A Figura 26 apresenta a evolução dos preços de biodiesel negociados nos leilões, além dos preços do óleo diesel e do óleo de soja. Apesar do biodiesel apresentar um preço mais alto do que o diesel, a sua adição em percentuais pequenos no combustível fóssil afeta pouco o preço final ao consumidor. No entanto, o diferencial de preços torna desvantajoso o uso do biocombustível em percentuais maiores, o que explica o fato do mercado autorizativo ainda não ter deslanchado.



FIGURA 26: PREÇOS MÉDIOS - BIODIESEL, DIESEL E ÓLEO DE SOJA



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP e ABIOVE

FINANCIAMENTOS

O apoio financeiro à implantação do biodiesel na matriz energética nacional partiu, principalmente, de duas fontes: o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) e o Programa de Apoio Financeiro a Investimentos do Biodiesel, implantado pelo BNDES. Segundo o Decreto nº 3.991, de 30 de outubro de 2001, o PRONAF tem por finalidade promover o desenvolvimento sustentável do meio rural, por intermédio de ações destinadas a implementar o aumento da capacidade produtiva, a geração de empregos e a elevação da

renda, visando a melhoria da qualidade de vida e o exercício da cidadania dos agricultores familiares. Ainda segundo o Decreto, o PRONAF, tem por finalidade apoiar as atividades agrícolas e não-agrícolas desenvolvidas por agricultores familiares, disponibilizando linhas de crédito adequadas às suas necessidades.

Por meio da Resolução 1.135, de 03 de dezembro de 2004, o BNDES preparou um programa de financiamento à cadeia produtiva do biodiesel. O Programa de Apoio a Investimentos em Biodiesel do BNDES promove investimentos na fase agrícola, na produção de óleo bruto, na pro-

O Brasil é importador de óleo diesel, pois as refinarias brasileiras não produzem o suficiente para atender à demanda. Sem a expansão do parque de refino, a necessidade de importações é crescente, implicando no aumento da dependência externa por este derivado.

dução de biodiesel, armazenamento, logística e equipamentos para a produção de biodiesel.

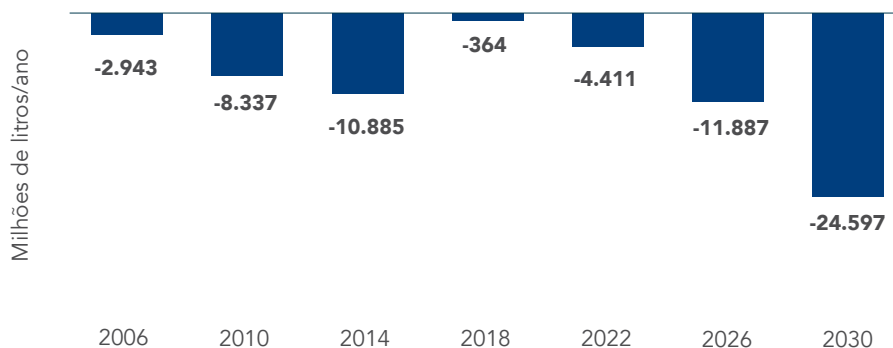
Não é apenas na cadeia produtiva que o BNDES também disponibiliza linhas de crédito. O banco apoia e incentiva o consumo do biodiesel em frotas cativas, em implementos agrícolas e em geradores elétricos, e concede empréstimos aos investimentos em beneficiamento de coprodutos e subprodutos do biodiesel, como a glicerina e os resíduos de esmagamento, além de garantir condições diferenciadas aos projetos que promovam a inclusão social, de acordo com os critérios do SCS.

CENÁRIO DO ABASTECIMENTO – CICLO DIESEL

O Brasil é importador de óleo diesel, pois as refinarias brasileiras não produzem o suficiente para atender à demanda. Sem a expansão

do parque de refino, a necessidade de importações é crescente, implicando no aumento da dependência externa por este derivado. A EPE (2017c), em seu PDE 2026, prevê que o Brasil se manterá como importador líquido de óleo diesel durante todo o período decenal. O documento sinaliza que a produção de diesel aumentará, principalmente, com a ampliação da carga processada no 1º trem da Refinaria Abreu e Lima (RNEST), em 2018, e com a entrada em operação do 2º trem na mesma refinaria em 2023, porém ainda será necessário importar, aproximadamente, 10 bilhões de litros em 2026. Segundo estimativas da ANP (2016), em 2030 haverá um déficit de produção interna do combustível fóssil de aproximadamente 24,6 bilhões de litros (Figura 27). Nesse cenário, há espaço para que o biodiesel preencha parte dessa demanda, o que deve ser avaliado de forma estratégica no âmbito da iniciativa Combustível Brasil, conforme discutido anteriormente.

FIGURA 27: DÉFICIT DE PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEIS DO CICLO DIESEL



Fonte: Adaptado de Chambriard (2016)

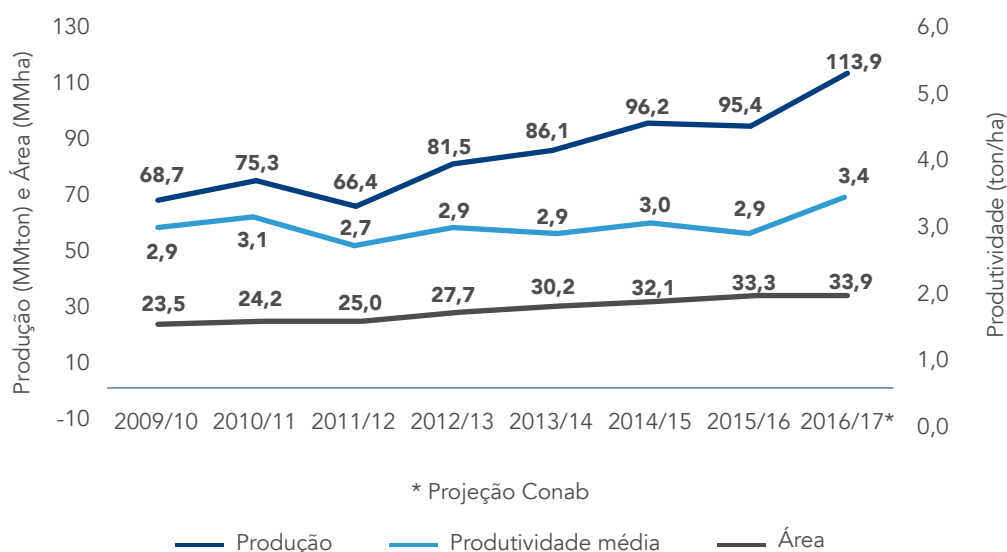
D. PRODUTIVIDADE

Uma vez que a soja é a principal matéria-prima empregada na produção brasileira de biodiesel, a análise da produtividade do biocombustível passa pela análise da produtividade desta oleaginosa. Conforme mostra a Figura 28, a Conab estima que a safra 2016/17 será recorde, chegando a quase 114 milhões de toneladas produzidas de soja, e considera que o excelente desenvolvimento da oleaginosa foi respaldado pelo comportamento do clima em praticamente todas as regiões do país. Entre as safras 2009/10 e 2015/16, houve um crescimento de 39% na produção do grão, enquanto a área ocupada aumentou 42%. Considerando a projeção para

2016/17, a produção será 19% superior ao ciclo anterior, enquanto a área aumentará 2%.

A produtividade média no ciclo 2015/16 foi igual à da safra 2009/10 e se manteve entre 2,7 e 3,1 ton/ha durante o período, mas a projeção para o ciclo 2016/17 é de alcançar 3,4 ton/ha, o que representaria um aumento de 17% em relação ao ciclo anterior. O crescimento da produção justifica-se por diversos fatores, entre eles o avanço tecnológico, as pesquisas e experimentos agrícolas, disponibilidade de crédito rural e aumento das exportações. Esses itens permitiram melhora no manejo da lavoura, maior eficiência do cultivo e, consequentemente, maior produtividade.

FIGURA 28: EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO E DA PRODUTIVIDADE DA SOJA



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Conab

Apesar dos pequenos ganhos de produtividade, a soja é a cultura que apresenta maior volume de produção no Brasil, respondendo por aproximadamente 48% da safra de grãos. Nesse cenário de safras recordes e perspectivas de aumentos de produção da *commodity*, o complexo da soja é considerado como o único capaz de garantir o crescimento do setor de biodiesel com a evolução prevista do aumento dos mandatos de mistura de biodiesel no diesel. As projeções de crescimento da produção de soja realizadas pelas associações dos produtores (ABIOVE, APROBIO e UBRABIO, 2016) apontam para a produção de quase 165 milhões de toneladas em 2030, ocupando 44,6 milhões de hectares, com produtividade média de 3,7 ton/ha. Contudo, será preciso aumentar o per-

centual de processamento interno da soja dos atuais 41% para 65%, de forma a disponibilizar o óleo necessário à produção do biodiesel. Considerando não haver entraves para o crescimento da produção de soja em si, será preciso um grande esforço de governo e do setor produtivo para viabilizar este aumento da industrialização da soja. Dentre as medidas preconizadas pelo setor estão a alteração da política tributária (Lei Kandir), de forma a melhorar a competitividade de produtos com maior valor agregado (óleo e farelo), incentivos ao crescimento dos rebanhos e à produção de proteína animal, dando vazão ao crescimento da produção de farelo, a ampliação do mercado externo de farelo, e, ainda, investimentos na ampliação da infraestrutura para exportação de farelo.

A diversificação do *mix* de matérias-primas para a produção de biodiesel dependerá do sucesso de programas governamentais, tais como o Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil (Propalma).

O sebo bovino, que ocupa o segundo lugar entre as matérias-primas para produção de biodiesel no Brasil, com cerca de 12% do mercado, está em seu patamar máximo de disponibilidade para o biodiesel. O setor produz 2 milhões de toneladas de gorduras por ano, sendo que 38% vão para a produção de biodiesel. O potencial de crescimento da oferta é limitado e irá depender do aumento dos rebanhos (espera-se um de crescimento de 10% em 10 anos) e da implantação do projeto de recolhimento de carcaças de animais (animais que morrem antes de serem aproveitados pela indústria alimentícia), com potencial de 15% de aumento (300 mil toneladas).

Apesar da palma (ou dendê) possuir rendimento em óleo cerca de 10 vezes superior à da soja, a produção de biodiesel a partir desta oleaginosa ainda é pouco representativa no Brasil. Em seu PDE 2026, a EPE (2017c), avalia que a diversificação do *mix* de matérias-primas para a produção de biodiesel dependerá do sucesso de programas governamentais, tais como o Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil (Propalma). Este tem por objetivo ordenar a expansão da cultura da palma, garantir a competi-

vidade do setor com investimentos em pesquisa e aumentar a renda de agricultores familiares.

As associações de produtores (UBRABIO, ABIOVE e APROBIO, 2016) sugeriram em sua contribuição ao RenovaBio, a criação do zoneamento agroecológico para as palmáceas brasileiras, como a macaúba e o babaçu, e a criação de linhas de crédito para o extrativismo sustentável e o fomento de plantações comerciais e da indústria de processamento dessas palmáceas, como forma de diversificação das matérias primas para o biodiesel, aproveitando todo o potencial dessas palmáceas.

Outra fonte de material graxo que deve ter o seu uso incentivado para a produção de biodiesel são os chamados óleos e gorduras residuais (OGR). Trata-se de uma fonte ambientalmente interessante, por dar destino a grandes volumes de resíduos, que hoje são descartados incorretamente, provocando a poluição de águas e o entupimento de redes de esgoto. Esse material possui baixo custo, porém depende do seu recolhimento, o que envolve custos logísticos. O aproveitamento dos OGR hoje ocorre por meio de algumas iniciativas espalhadas no Brasil,

como o Programa Óleo Sustentável, em que as empresas associadas da ABIOVE mantêm 1.291 pontos de entrega em 117 municípios, onde são recolhidos 1,162 milhão de litros de óleo de cozinha residual (ABIOVE, 2017). Espera-se que o aumento da demanda por biodiesel e a criação de programas de coleta, seja por iniciativa pública ou privada, estimulem o uso deste material na produção do biocombustível nos próximos

anos. Estima-se em 8 milhões de toneladas a produção de óleo residual de cozinha no Brasil.

E. PERSPECTIVAS

Considerando o panorama apresentado, vislumbra-se que o aumento da produção de biodiesel terá como direcionadores os seguintes motivos:

1

Cenário de oportunidades criado pelas metas assumidas na COP 21 (redução das emissões de GEE e percentuais definidos para a bioenergia na matriz)

2

Nova proposta regulatória voltada para a promoção dos biocombustíveis, o RenovaBio

3

Aumento dos mandatos de mistura, já estabelecidos em Lei e autorizados mediante a realização de testes

4

Desenvolvimento de programas voltados à produção de novas oleaginosas, como a palma

5

Utilização da capacidade ociosa de esmagamento de soja, com a ampliação do mercado de farelo e óleo

6

Necessidade de garantia de abastecimento de combustíveis do ciclo Diesel no médio prazo

7

Ampliação da utilização de biodiesel em frotas cativas e usos em caráter voluntário



Novos biocombustíveis

A proposta regulatória do programa RenovaBio inclui, entre os objetivos, dar impulso ao desenvolvimento tecnológico e à inovação e acelerar o desenvolvimento e a inserção comercial de biocombustíveis avançados e de novos biocombustíveis. Nesse capítulo serão apresentados novos biocombustíveis, com potencial para aumentar a participação da bioenergia na matriz energética brasileira, tornando-a mais limpa e sustentável.

A. BIOQUEROSENE DE AVIAÇÃO

O setor de aviação é extremamente dinâmico no que se refere ao uso de tecnologias e seus progressos em termos de eficiência energética são enormes. As aeronaves produzidas hoje são 80% mais eficientes em relação ao consumo de combustível do que aquelas dos anos 1960, segundo a Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO, na sigla em inglês), agência especializada da ONU.

De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês), a aviação (doméstica e internacional) é responsável por, aproximadamente, 2% das

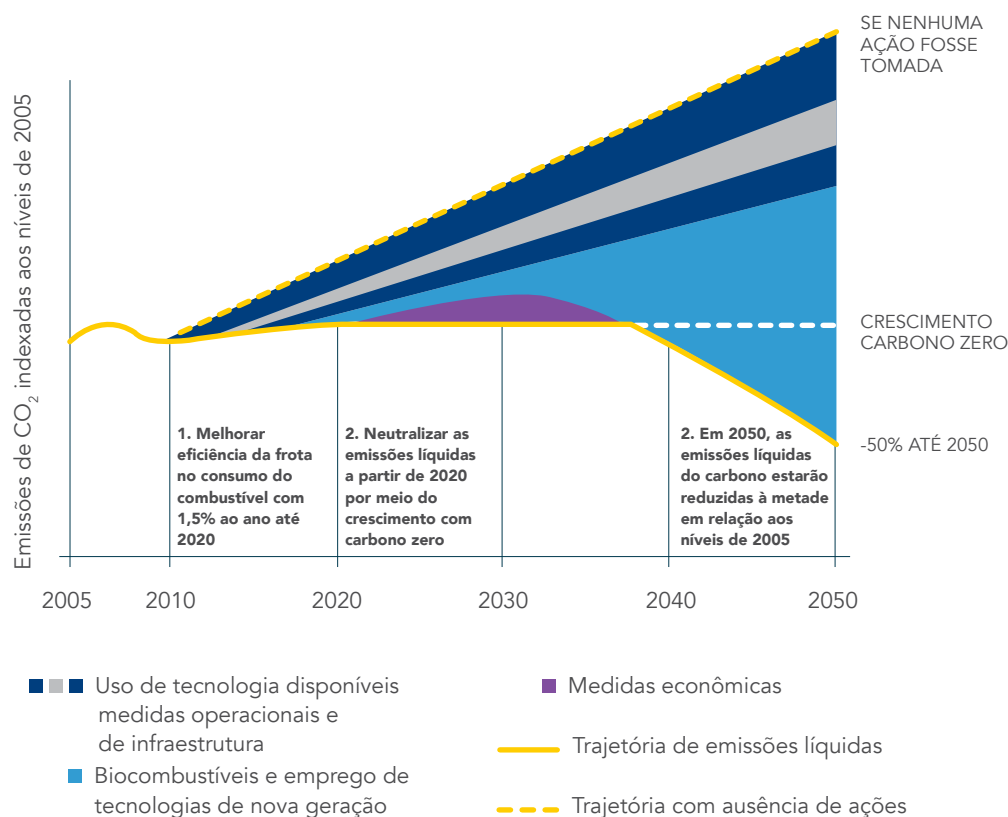
emissões globais de CO₂ e projeta-se que essa participação do setor aumentará, já que a demanda por transporte aéreo tende a crescer. Nesse sentido, a indústria de aviação tem se mobilizado para criar mecanismos capazes de reduzir a sua contribuição aos efeitos das mudanças climáticas.

Os membros da Associação Internacional de Tráfego Aéreo (IATA, na sigla em inglês), que engloba 275 linhas aéreas e responde por 83% do tráfego aéreo mundial, se comprometeram com as seguintes metas de redução de emissões: aperfeiçoar a eficiência de combustíveis

em 1,5% ao ano, de 2009 a 2020; ter crescimento neutro em carbono a partir de 2020; e reduzir as emissões líquidas de CO₂ em 50% até 2050, relativamente aos níveis de 2005. Para alcançar tais metas, a associação estabeleceu estratégias que compreendem o investimento em novas tecnologias, a maior eficiência das ope-

rações, melhorias na infraestrutura e o uso de biocombustíveis, entre outras. Cada estratégia contribuirá com uma parcela da redução das emissões, porém os biocombustíveis possuem um papel fundamental nesse sentido, visto que, sem o seu uso, não será possível atingir aos objetivos propostos, conforme mostra a Figura 29.

FIGURA 29: MODELO ESQUEMÁTICO DAS MEDIDAS PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES



Em 2010, a ICAO e seus membros adotaram a mesma meta proposta pela IATA, de alcançar o chamado crescimento neutro em carbono a partir de 2020. Com esse intuito, a organização aprovou, em 2016, a iniciativa denominada *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* (CORSIA), que determina que a indústria de aviação civil internacional, por meio dos países signatários (de forma voluntária), deverá neutralizar ou compensar suas emissões de GEE acima da linha de crescimento neutro de carbono. Até junho de 2017, 71 países, representando mais de 87% das emissões da aviação internacional, já declararam a intenção em participar desse mecanismo de compensação de emissões, que terá como linha de base as emissões de 2019-2020.

O requisito mais importante dos biocombustíveis de aviação é que estes sejam “drop-in”, ou seja, devem ser totalmente compatíveis e miscíveis com o combustível convencional, não podem exigir adaptações da aeronave, do motor ou da infraestrutura de suprimento de combustível e o seu uso não deve implicar em restrições no que se refere à utilização da aeronave. Dependendo do processo produtivo, o biocombustível pode ser considerado *drop-in* apenas até um determinado percentual de mistura, pois, em teores maiores, deixaria de cumprir os requisitos mencionados.

Atualmente, há cinco rotas de produção de bioquerosene de aviação aprovadas pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e mais

dezesseis novas rotas estão em análise. As matérias-primas para esse biocombustível podem ser classificadas em três grandes grupos: óleos e gorduras, açúcares e amidos, e materiais celulósicos. A possibilidade de produzir o bioquerosene a partir de diferentes matérias-primas é uma vantagem, pois permite que cada região desenvolva o processo a partir do material que tiver disponível.

A Resolução ANP nº63/2014, que estabelece as especificações dos Querosenes de Aviação Alternativos e do Querosene de Aviação B-X (QAV B-X), abrange três tipos de biocombustível:

- 1. Querosene parafínico sintetizado por Fischer-Tropsch (SPK-FT):** pode utilizar como matéria-prima tanto biomassas renováveis (material celulósico e resíduos, por exemplo) quanto carvão ou gás natural.
- 2. Querosene parafínico sintetizado por ácidos graxos e ésteres hidroprocessados (SPK-HEFA):** utiliza óleos vegetais e gorduras animais.
- 3. Iso-parafinas sintetizadas (SIP):** processo avançado de fermentação de açúcares, utilizando microorganismos geneticamente modificados.

Os dois primeiros podem ser adicionados em até 50% ao combustível convencional, enquanto o último tem limite de 10% de adição. O uso desses é voluntário, mas deve obedecer à regulamentação da ANP.

Já existe produção comercial de bioquerosene no país. A empresa de biotecnologia americana Amyris, em parceria com a petroleira francesa Total, produz biocombustíveis de aviação, desde 2012, em São Paulo, a partir da cana-de-açúcar, empregando a rota de fermentação avançada de açúcares. A fábrica tem capacidade de produção de 50 milhões de litros por ano e seu processo se baseia na transformação do açúcar em farneseno, molécula que funciona como ponto de partida para a produção de diversos compostos, entre eles o bioquerosene. De acordo com o Secretário de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis do MME, Márcio Felix (2017), a demanda doméstica pelo biocombustível pode representar algo entre 1 e 1,6 bilhão de litros até 2030, considerando a mistura de 10% de bioquerosene no combustível fóssil.

BARREIRAS

Atualmente, o principal desafio a ser superado é o econômico, visto que as barreiras tecnológicas já foram superadas. Os gastos com combustíveis representam um terço do custo operacional das linhas aéreas (*Air transport Action Group* - ATAG, 2016) e os biocombustíveis de aviação podem custar de duas a três vezes mais do que o combustível fóssil (IATA, 2017). De forma a reduzir os custos de capital, algumas empresas produtoras de bioquerosene utilizaram-se de instalações pré-existentes, como usinas de biocombustíveis, ou até mesmo refinarias de petróleo abandonadas ou inutilizadas. Outra estratégia de redução de custos, proposta pela Embrapa (2015), é o desenvolvimento de pro-

cessos de produção de bioquerosene que possam gerar concomitantemente outros produtos, se apoiando no conceito de biorrefinaria, o que permitiria viabilizar a produção do bioquerosene de aviação a preços mais competitivos.

Outro desafio da produção dos biocombustíveis de aviação é a competição direta por matérias-primas já utilizadas para a produção de biocombustíveis de transporte rodoviário, como o etanol e o biodiesel, que possuem uma demanda bem mais significativa, além de todo um mercado e cadeias de suprimento bem estabelecidos. Também é possível haver concorrência dentro do próprio processo produtivo. Segundo a *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2017), praticamente todo o volume de bioquerosene disponível comercialmente, hoje, é produzido pela rota HEFA, empregando como matérias-primas óleos vegetais, gorduras animais e óleos de cozinha residuais. No entanto, apesar de existirem algumas empresas capazes de produzi-lo, o mesmo processo também dá origem ao chamado diesel renovável, combustível para o qual há um mercado maior e preços de venda mais altos, o que faz com que este seja o principal produto dessas plantas.

Em relação aos desafios logísticos, deve-se atentar para o fato de que a produção de bioquerosene deve estar localizada próxima ao seu mercado consumidor, que está nos aeroportos, de forma a reduzir custos com transporte. Para isso, é necessário realizar uma avaliação prévia das possíveis matérias-primas existentes ou passíveis de serem produzidas nas regiões próximas aos grandes aeroportos.

PLATAFORMAS DE DESENVOLVIMENTO

Em 2012, durante a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20, a UBRABIO, em parceria com entidades do setor privado, lançou a Plataforma Brasileira de Bioquerosene, com o objetivo de desenvolver uma cadeia de valor integrada, nos moldes do programa desenvolvido para o biodiesel, o PNPB, para a introdução desse biocombustível na matriz energética brasileira. Em 2014, foi lançada a Plataforma Mineira de Bioquerosene, com foco no desenvolvimento de uma cadeia de valor integrada para a produção de bioquerosene para aviação, utilizando como insumo principal a macaúba, palmeira com grande concentração no estado. Outra iniciativa seguindo a mesma linha foi a criação da Plataforma Pernambucana de Bioquerosene, em 2015. Além destas, a Rede Brasileira de Bioquerosene e Hidrocarbonetos Renováveis para Aviação (RBQAV) foi lançada em 2017 com foco na realização de pesquisa, desenvolvimento e inovação, por meio de parcerias entre academia, indústria e governo, e no suporte à criação de políticas públicas e ações viabilizadoras para a produção de bioquerosene e hidrocarbonetos renováveis.

B. BIOGÁS E BIOMETANO

O biogás é uma mistura de gases, principalmente metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2), obtido da decomposição da matéria orgânica (resíduos orgânicos) por ação de bactérias, em um processo denominado biodigestão anaeró-

bica. Além do biogás, o processo de biodigestão também dá origem ao biofertilizante, um insumo de alta relevância na produção agrícola. O biogás pode ser utilizado para a produção de calor, energia elétrica ou biometano.

O biometano é um biocombustível gasoso com elevado teor de metano em sua composição, que é obtido da purificação do biogás. O biometano, portanto, possui as mesmas características do gás natural e pode ser misturado a este e ser comercializado por meio de conexão à rede de distribuição de gás canalizado, ou então, na forma de gás comprimido. O biocombustível teve o seu uso regulamentado por meio da Resolução ANP nº 8/2015, que se aplica ao biometano oriundo de resíduos orgânicos provenientes de atividades agropecuárias e silviculturais e de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, destinado ao uso veicular (Gás Natural Veicular - GNV) e às instalações residenciais e comerciais. Em junho de 2017, a agência aprovou, também, o uso de biometano proveniente de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto.

O Brasil possui um potencial de produzir cerca de 78 milhões de metros cúbicos diários de biogás e biometano. Esse dado leva em consideração números de 2017 e consta de um levantamento apresentado pela Associação Brasileira de Biogás e de Biometano (ABiogás). Desse volume, a maior parte, ou 56 milhões de m^3 , viriam do setor sucroenergético, 15 milhões de m^3 da produção de alimentos e outros 7 milhões de m^3 do saneamento básico (Canal Energia, 2017).

Além da possibilidade de gerar energia térmica e elétrica e ser usado em veículos na forma de GNV, o biometano possui outra aplicação importante como substituto parcial do diesel em caminhões, tratores e maquinário agrícola.

A indústria sucroenergética gera diversos resíduos, os quais poderiam ser aproveitados para a produção de biogás, entre eles a palha, o bagaço, a torta de filtro e a vinhaça. A palha e o bagaço já são destinados à produção de bioeletricidade ou etanol de segunda geração, sendo a torta e a vinhaça fontes com alto potencial para a produção de biogás e biometano. Atualmente, quase a totalidade da vinhaça é utilizada como fertilizante na própria plantação de cana-de-açúcar, mas esse uso de forma excessiva não só pode ser prejudicial à lavoura, como pode causar danos ambientais, pela contaminação do lençol freático. Além disso, o alto custo de aplicação da vinhaça como fertilizante, seja pelo seu transporte via caminhão, seja com a aplicação por adutoras e canais, limita o seu uso às áreas mais próximas da usina.

Segundo a UNICA, cada litro de etanol produzido pode gerar até 12 litros de vinhaça, o que é um volume expressivo, considerando que na safra 2015/16 foram produzidos quase 30 bilhões de litros de etanol. A Raízen, empresa

do setor sucroenergético, venceu um leilão de geração de energia elétrica (Leilão de Energia Nova A-5), em 2016, com um projeto de biogás, que será produzido a partir de torta de filtro e vinhaça. Esse foi o primeiro projeto de biogás que venceu um leilão de geração de energia elétrica, sendo contratado para entrar em operação em 2021. A capacidade de produção da unidade será 65 milhões de m³ de biogás e a planta possuirá capacidade instalada de 21 MW. Apesar da energia proveniente do biogás também poder ser inserida na rede elétrica, como nesse caso da Raízen, a sua principal forma de utilização é na geração do tipo distribuída, o que é ainda mais vantajoso para o país, pois reduz a necessidade de investimentos em transmissão de energia, já que ela é gerada no mesmo lugar em que é consumida.

Além da possibilidade de gerar energia térmica e elétrica e ser usado em veículos na forma de GNV, o biometano possui outra aplicação importante como substituto parcial do diesel em caminhões, tratores e maquinário agrícola. Um

trator movido a biometano, produzido pela empresa New Holland, foi testado e aprovado por produtores de uma granja do Paraná. O veículo tem autonomia de seis horas e o abastecimento a biometano, além de promover uma economia de 40% em comparação ao diesel, reduz as emissões de gases poluentes em aproximadamente 80%. Segundo o conselheiro da ABiogás, Marcelo Cupolo, o biometano é um excelente substituto do diesel, podendo suprir 44% do produto consumido no país (PetroNotícias, 2017).

EXPERIÊNCIAS NO BRASIL

A usina de tratamento de biogás do Aterro Dois Arcos, inaugurada em 2014 em São Pedro da Aldeia (RJ), é pioneira na produção de biometano em escala comercial no Brasil. Em um primeiro momento, o biometano será fornecido em cilindros, como gás natural comprimido (GNC), para clientes industriais. Contudo, o projeto contempla, no futuro, a ligação da usina à rede de distribuição de CEG e CEG Rio, concessionárias de gás canalizado do Rio de Janeiro. Assim, o biogás purificado poderá chegar aos consumidores residenciais e comerciais, além de atender ao uso veicular, beneficiando uma população de 400 mil pessoas.

A maior termelétrica da América Latina movida a biometano, a Termoverde Caieiras, com potência instalada de 29,5 MW, foi inaugurada em 2016, em São Paulo. Em 2017, a Secretaria de Energia e Mineração do mesmo estado instalou o Comitê Gestor do Programa Paulista de Biogás, que tem como objetivo discutir as po-

líticas públicas voltadas para a ampliação do biogás e do biometano na matriz energética do Estado de São Paulo, propondo, entre outras medidas, o percentual de biometano que deve ser injetado na rede de gás natural canalizado. Por ser o maior processador de cana-de-açúcar do país, o estado de São Paulo apresenta um enorme potencial de aproveitamento da vinhaça para gerar biogás e biometano.

O Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás) conta com 11 unidades de produção de biogás, em pequenas e médias propriedades rurais e em cooperativas do Oeste do Paraná e uma unidade em construção no Uruguai. O biometano, produzido a partir de dejetos de animais e resíduos da agricultura na Granja Haacke, é comprimido em cilindros e transportado até o posto de abastecimento na Itaipu Binacional, onde é abastecida parte da frota de veículos da hidrelétrica, que encerrou 2016 com 59 veículos movidos a biometano (Parque Tecnológico Itaipu, 2017). Em junho de 2017, a Itaipu Binacional e o CIBiogás inauguraram uma Unidade de Demonstração de Biogás e Biometano, localizada dentro da Central Hidrelétrica, com produção de 4 mil m³ de biometano por mês, podendo abastecer 80 veículos da frota da usina, considerando um uso médio de 800 km por veículo ao mês. Só esta parte da frota vai economizar 5.650 litros de etanol por mês. Ao custo de R\$ 0,26 o m³ do biometano, contra R\$ 0,36 do etanol, a economia financeira chega a R\$ 15 mil todo mês. Como subproduto, são produzidos 300 mil litros de biofertilizante, que serão utilizados como adubo para canteiros e gramados da em-

presa. Adicionalmente, a cada mês é evitada a emissão de 4 toneladas de gases causadores do efeito estufa (CIBiogás, 2017).

Dados o grande potencial de produção e a viabilidade econômica dos primeiros projetos implantados ou em implantação, espera-se um grande crescimento do aproveitamento desta forma de bioenergia.

C. ÓLEO VEGETAL HIDROTRATADO

O óleo vegetal hidrotratado, ou HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*, em inglês), também chamado de diesel renovável, diesel verde ou, ainda, HEFA (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids*), é um combustível renovável para uso em motores do ciclo Diesel. As matérias-primas utilizadas na sua produção são basicamente as mesmas do biodiesel tradicional (produzido pelos processos de esterificação ou transesterificação) - óleos vegetais e gorduras animais, além de óleos e gorduras residuais.

O hidrotratamento (ou hidrogenação) é um processo já dominado e utilizado em refinarias de petróleo mundialmente, que pode empregar óleos vegetais como matéria-prima para dar origem a um combustível de composição muito semelhante ao diesel. A Petrobras chegou a patentear a tecnologia denominada de H-Bio, na qual adicionava, diretamente no processo de refino do diesel, até 10% de óleo vegetal (soja, milho ou mamona).

O HVO é considerado um biocombustível *dropin* (totalmente compatível e miscível com o com-

bustível convencional) e pode ser usado em altas proporções de mistura no diesel fóssil, ou até puro, em motores do ciclo Diesel, sem demandar ajustes no motor. Além de não haver limite para a sua mistura no diesel, o HVO apresenta outras vantagens frente ao biodiesel, como menores emissões de compostos nitrogenados, maior estabilidade à oxidação e melhor capacidade de escoamento em baixas temperaturas. Outra vantagem é que o processo utilizado para a sua produção leva à coprodução de bioquerosene de aviação, bio-nafta e bio-propano.

Em 2016, foram produzidos 5,9 bilhões de litros desse biocombustível, 22% a mais do que no ano anterior, sendo os principais produtores: Estados Unidos, Reino Unido, Singapura, Holanda e Finlândia (*Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* - REN21, 2017).

Segundo a EPE (2017d), em relação ao HVO, não há barreiras técnicas à sua produção, no entanto, também não existe regulação específica para o seu uso. A conversão do óleo vegetal em produto hidrogenado exige uma etapa de hidrotratamento que onera o processo, gerando uma falta de competitividade com seus similares de origem fóssil (diesel mineral) ou vegetal (biodiesel). Além disso, o óleo utilizado como matéria-prima apresenta alto valor no mercado que, somado ao custo operacional da etapa de hidrotratamento, faz com que o HVO tenha ainda mais dificuldade de penetração no mercado brasileiro. Contudo, dada a sua natureza e a classificação internacional do HVO como biocombustível avançado, é importante que haja um incentivo ao seu desenvolvimento.

Energia Renovável e Emprego

O setor global de energia renovável empregou 9,8 milhões de pessoas em 2016, com 1,1% de aumento em relação à 2015. Os empregos em energias renováveis, excluindo a energia hidrelétrica, aumentaram 2,8%, chegando a 8,3 milhões em 2016. China, Brasil, Estados Unidos, Índia, Japão e Alemanha representaram a maioria dos trabalhos gerados em energia renovável no mundo.

Com a notável exceção da União Europeia, a produção de bioetanol aumentou entre todos os países líderes produtores. A produção de biodiesel também aumentou, embora tenha permanecido abaixo dos registros estabelecidos anteriormente em alguns países, incluindo Argentina, Brasil e Indonésia. O emprego mundial em biocombustíveis é estimado em mais de 1,7 milhão. A maioria desses empregos são gerados na agricultura ao longo da cadeia - na plantação e colheita de vários tipos de matéria-prima. Menos empregos, embora com frequência melhores pagos, são encontrados na construção de instalações de processamento de combustível e em O&M (operação e manutenção) de plantas existentes.

A mecanização contínua reduziu os requisitos de mão-de-obra em países como os Estados Unidos e Brasil. Com aproximadamente 783 mil empregos, o Brasil continua a ter a maior força de trabalho em biocombustíveis líquidos. A geração de emprego também declinou nos Estados Unidos, apesar do aumento da produção de etanol e biodiesel. A produção de biocombustíveis permaneceu no mesmo nível na União Europeia, enquanto os empregos decresceram em 8,6% em 2015¹⁵.

Após uma queda dramática em 2015 devido ao colapso das exportações, a produção de biodiesel na Indonésia voltou a crescer novamente em 2016, impulsionada pela

15. As estimativas de emprego revisadas para 2014 (Euroobserver, 2017) indicam que os empregos da UE em biocombustíveis diminuiram 2%, passando de 97 400 em 2014 para 95 900 em 2015

crescente demanda doméstica e subsídios governamentais. A IRENA (*International Renewable Energy Agency*, 2017) estima que o emprego na Indonésia no setor de biocombustíveis, em 2016, era de cerca de 154.300 empregos, aproximadamente o dobro do nível do ano anterior.

A produção de biocombustíveis também está crescendo nos países do sudeste asiático, como Tailândia e Malásia, com uma estimativa de 97.000 e 52.500 empregos, respectivamente. Os empregos no setor de biocombustíveis nas Filipinas são estimados em cerca de 42.400, divididos quase uniformemente entre etanol e biodiesel¹⁶.

A Colômbia é outro importante produtor latino-americano de biocombustíveis e intensivo em mão de obra. Segundo estimativa da IRENA (2017), especialistas do país indicam 85.000 empregos. No entanto, uma estimativa mais alta da Federação Nacional de Biocombustíveis de Colômbia (FNBC, 2017) contou mais de 191.200 empregos de biocombustíveis.

Em 2015, no Brasil, a maioria dos empregos em energia renovável estava no setor de biocombustíveis líquidos. O total de empregos caiu 5%, um declínio relacionado ao etanol e um ganho menor em empregos de biodiesel. Apesar de a produção de etanol ter aumentado cerca de 8% no mesmo ano, o emprego diminuiu 10%, chegando a 613.000¹⁷. Cerca de 30 mil postos de trabalho foram perdidos na colheita cana-de-açúcar e 15 mil empregos em processamento de etanol devido à mecanização. A mecanização da colheita de cana-de-açúcar prossegue especialmente em São Paulo, o maior produtor de etanol do Brasil. Entretanto, a produção brasileira de biodiesel caiu para 3,8 bilhões de litros em 2016 (ABIOVE, 2017). Houve um ligeiro aumento no emprego global estimado, no entanto, para 169.700 empregos

16. O Conselho Nacional de Bioetanol das Filipinas coloca empregos de cana-de-açúcar relacionados à produção de etanol em cerca de 20 mil (*Biofuels International*, 2015).

17. Em 2015, o Brasil tinha cerca de 238 mil trabalhadores em cultivo de cana-de-açúcar e 175 mil trabalhadores em processamento de etanol (MTE/RAIS, 2017). Uma estimativa aproximada sugere que pode haver mais 200 mil empregos indiretos na fabricação de equipamentos.

em 2015¹⁸. Isso foi por causa de alterações na mistura de matérias-primas para matérias-primas que exigem insumos adicionais de mão-de-obra.

De acordo com o Banco Mundial (2016) e a FAPRI (*Food and Agriculture Policy Research Institute*, 2017), existe a expectativa de queda dos preços do metanol, uma vez que o gás natural, principal insumo da produção de metanol, tem apresentado uma forte tendência de baixa no Brasil e no mundo.

FIGURA 30: ESTIMATIVA DE EMPREGOS DIRETOS E INDIRETOS EM ENERGIA RENOVÁVEL NO MUNDO POR TECNOLOGIA E PAÍS

	Mundo	China	Brasil	EUA	Índia	Japão	Bangladesh	União Europeia		
								Alemanha	França	Demais Países
Solar fotovoltaica	3,095	1,962	4	241,9	120,9	302	140	31,6	16	67
Biocombustíveis Líquidos	1,724	51	783	283,7	35	3	-	22,8	22	48
Eólica	1,155	509	32,4	102,5	60,5	5	0,33	142,9	22	165
Solar aquecimento / resfriamento	828	690	43,4	13	13,8	0,7	-	9,9	5,5	20
Biomassa	723	180	-	79,7	58	-	-	45,4	50	238
Biogás	333	145	-	7	85	-	15	45	4,4	15
Energia hidrelétrica	211	95	11,5	9,3	12	-	5	6,7	4	35
Energia Geotérmica	182	-	-	35	-	2	-	17,3	37,5	62
CSP	23	11	-	5,2	-	-	-	0,7	-	3
TOTAL (excluindo Energia hidrelétrica ampla)	8,305	3,643	876	777	385	313	162	334	162	667
Energia hidrelétrica (ampla)	1,519	312	183	28	236	18	-	6	9	46
TOTAL (incluindo Energia hidrelétrica ampla)	9,823	3,955	1,058	806	621	330	162	340	171	714

Fonte: IRENA, 2017

18. Cálculo baseado em fatores de emprego (Da Cunha et al., 2014) e nas ações de diferentes matérias-primas (USDA-FAS, 2016b). A proporção de sebo de carne bovina, para a qual a produção requer insumos de mão-de-obra relativamente limitados, diminuiu de 19% da matéria-prima em 2015 para 17% em 2016. A febre de soja e outros óleos vegetais representam a maior parte da matéria-prima.

Considerações Finais

Os compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris criam condições sem precedentes para a ampliação da participação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira. Para tanto, será necessário grande esforço do setor produtivo, com novos investimentos, que dependerão diretamente da existência de políticas públicas, capazes de garantir maior previsibilidade e competitividade ao setor.

O RenovaBio tem sido desenvolvido neste sentido, e nele residem as principais expectativas do setor. O modelo regulatório proposto pelo programa representa uma grande evolução, uma vez que se baseia no reconhecimento da capacidade de cada combustível contribuir para promover a descarbonização do setor de transportes. A definição de metas plurianuais de redução de emissões confere previsibilidade, principal demanda da indústria, e tem potencial para ser um importante indutor de mercado, fazendo com que o setor volte a investir na ampliação da produção. Igualmente importante é o estímulo que o programa pretende dar aos ganhos de eficiência energética, ao premiar processos produtivos mais eficientes. Dado seu conteúdo inovador, será necessário um período de transição e adaptação para que os novos mecanismos sejam compreendidos e assimilados pelo mercado.

É importante realçar a necessidade de uma coordenação efetiva entre os programas RenovaBio e Combustível Brasil, uma vez que convergem para o mesmo objetivo, o de garantir o abastecimento de combustíveis, considerando o crescimento da demanda no médio prazo. Da mesma forma, é preciso buscar o alinhamento entre os programas RenovaBio e Rota 2030, inserindo a priorização dos combustíveis de baixo carbono nas metas de eficiência da indústria automotiva.

O setor sucroenergético vem passando por uma forte crise, decorrente do seu elevado endividamento, da queda de produtividade, do aumento de custos e da perda de competitividade do etanol perante a gasolina, agravada ainda pelo contexto global de restrição ao crédito e de preços baixos do petróleo. A retomada dos investimentos precisa passar, num

É importante realçar a necessidade de uma coordenação efetiva entre os programas RenovaBio e Combustível Brasil, uma vez que convergem para o mesmo objetivo, o de garantir o abastecimento de combustíveis, considerando o crescimento da demanda no médio prazo.

primeiro momento, pelo saneamento das finanças, de modo que se espera que o setor passe por um novo processo de fusões e aquisições, com a injeção de capital pelas empresas mais bem posicionadas ou por novos *players*, o que poderá antecipar novos investimentos, ganhos de produtividade e aumentos de produção. O potencial de crescimento dessa indústria é alto, quer seja pela disseminação e incorporação de melhores práticas, quer seja pela introdução de inovações, que levarão a aumentos significativos de produtividade, tais como o E2G, a cana-energia e as sementes de cana, dentre outras abordadas neste Caderno.

O setor do biodiesel, que também vem enfrentando o fechamento de usinas, tem boas perspectivas com os aumentos de mistura já definidos em lei e a possibilidade de antecipação do mandato do B10, além das expectativas de se chegar a B15 em 2025 e B20 em

2030. A produção de biodiesel deve permanecer extremamente dependente da soja, pois esta é a única oleaginosa capaz de garantir a ampliação dos mandatos. Considerando não haver entraves para o crescimento da produção do grão, será preciso um grande esforço para viabilizar o aumento da sua industrialização no país. Dentre as medidas preconizadas pelo setor produtivo, estão a alteração da política tributária, que hoje favorece a exportação da soja *in natura*, a definição de incentivos ao crescimento dos rebanhos e à produção de proteína animal, dando vazão ao crescimento da produção de farelo de soja, e, ainda, a ampliação do mercado externo e da infraestrutura para a exportação do farelo. O setor ainda precisa encontrar soluções para reduzir os preços do biodiesel, diminuindo o impacto do aumento da mistura no preço final do diesel comercializado. Espera-se que o desenvolvimento de novas matérias primas, de maior

produtividade do que a soja, como a palma, o babaçu e a macaúba, estimule novos arranjos regionais de produção, favorecendo a implantação do mercado autorizativo em frotas cativas, especialmente nas regiões onde o diesel é menos competitivo devido a maiores custos de frete.

No campo dos Novos Biocombustíveis, que também serão incentivados pelo RenovaBio, o biogás e o biometano apresentam a maior aptidão para crescimento no curto prazo, considerando-se a relevância dos novos projetos que estão em implantação e que deverão servir de exemplos indutores, especialmente no setor sucroenergético, onde está o seu maior potencial. Já o bioquerosene, cujas rotas de produção já se apresentam tecnicamente viáveis, terá um caminho mais difícil a percorrer no sentido de obter reduções de custos de produção, para que se torne competitivo com o seu equivalente fóssil. Apesar disso, a indústria de aviação se mobiliza de forma intensa para reduzir as suas emissões e propõe, dentre outras medidas, a maior participação de biocombustíveis.

Finalmente, ressalta-se que, além de possuir larga experiência na produção de biocombustíveis e apresentar condições climáticas favoráveis para tal, o Brasil possui área agrícola suficiente para que o plantio de culturas com fins energéticos não afete a produção de alimentos, o que representa uma vantagem que deve ser aproveitada. As externalidades positivas da maior penetração de biocombustíveis são muitas, entre elas a geração de empregos, o aumento da renda e o desenvolvimento tecnológico, bem como a redução dos impactos no clima e na saúde humana. A condição de destaque do Brasil é reconhecida internacionalmente, visto pelo seu papel de liderança em grandes fóruns mundiais. O país já estabeleceu compromissos importantes na COP 21, mas estes precisam ser desmembrados em metas claras e com prazos definidos, envolvendo um arcabouço regulatório que traga segurança e confiabilidade e mecanismos de mercado que promovam a competitividade dos biocombustíveis, de forma que se consiga retomar os investimentos e que o país responda à altura do que se espera dele e, principalmente, que aproveite todo o seu potencial.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Boletim do Etanol nº 09, fevereiro de 2017a.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Boletim Mensal do Biodiesel, fevereiro de 2017b.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Histórico da liberação dos preços de combustíveis no mercado brasileiro, 20 de outubro de 2016a. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/levantamento-de-precos/historico-da-liberacao-dos-precos-de-combustiveis-no-mercado-brasileiro>. Acesso em: 20 de junho de 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Leilões de Biodiesel, 19 de setembro de 2016b. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/movimentacao-estocagem-e-comercializacao-de-gas-natural/transporte-de-gas-natural/acesso-a-gasodutos/676-leiloes-de-biodiesel-2>. Acesso em: 28 de julho de 2017.

AIR TRANSPORT ACTION GROUP (ATAG). Facts & Figures, maio de 2016. Disponível em: <http://www.atag.org/facts-and-figures.html>. Acesso em: 8 de agosto de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE), ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIODIESEL DO BRASIL (APROBIO) e UNIÃO BRASILEIRA DO BODIE-

SEL E BIOQUEROSENE (UBRABIO). Biodiesel: oportunidades e desafios no longo prazo. Contribuições dos produtores de biodiesel ao RenovaBio, Distrito Federal, Brasília, 08 de dezembro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). Associadas à Abiove implantaram 141 novos pontos de entrega de óleo de cozinha residual, 14 de março de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). Desafio da indústria de soja com aumento da mistura é elevar venda de farelo, 16 de novembro de 2016. Disponível em: http://www.abiove.org.br/site/_FILES/Portugues/16112016-225835-16_11_2016_estadiao_conteudo.pdf. Acesso em: 24 de julho de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS AÉREAS (ABEAR). Oportunidades para biocombustíveis na aviação, 27 de junho de 2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/https://www.novacana.com/n/eventos/apresentacoes-ethanol-summit-2017-100717/>. Acesso em: 2 de agosto de 2017.

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIODIESEL DO BRASIL (APROBIO). Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel – PNPB. Disponível em: <http://aprobio.com.br/legislacao-mercado/programa-nacional-de-producao-e-uso-do-biodiesel-pnpb/>. Acesso em: 28 de julho de 2017.

AUTOMOTIVE BUSINESS. Anfavea e Unica assinam acordo estratégico – Entidades querem medidas para unir programas RenovaBio e Rota 2030, 29 de junho de 2017. Disponível em: http://www.automotivebusiness.com.br/noticia_det.aspx?id_noticia=26040. Acesso em: 27 de julho de 2017.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). O BNDES e o setor sucroenergético em 2014: a vez da inovação agrícola. Informe Setorial nº 32. Junho de 2015.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). O BNDES e o setor sucroenergético em 2012: a inovação como prioridade. Informe Setorial nº 25. Junho de 2013.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). Bioetanol de Cana-de-Açúcar: Energia para o Desenvolvimento Sustentável. 1ª Edição. Rio de Janeiro, RJ, novembro de 2008.

BIOMERCADO. Oferta de glicerina e produção de Biodiesel, 09 de março de 2015. Disponível em: http://biomercado.com.br/not_detalhe.php?noticia=1248#. Acesso em: 25 de julho de 2017.

CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD (CARB). Laws and Regulations, 2017. Disponível em https://www.arb.ca.gov/ch/educational/understanding_air_pollution.htm. Acesso em: 18 jul. 2017.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). Preços. Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/precos?_afzLoop=68493339149907#%40%3F_afzLoop%3D68493339149907%26_adf.ctrl-state%3D-f2klbjhlj_17. Acesso em: 10 de agosto de 2017.

CANA ONLINE. Para Raízen, cana-energia é a melhor fonte para produção de etanol 2G, 22 de setembro de 2016. Disponível em: <http://www.canaonline.com.br/conteudo/para-raizen-cana-energia-e-a-melhor-fonte-para-producao-de-etanol2-g.html#.WYn5s1WGOM9>. Acesso em: 04 de agosto de 2017.

CANAL ENERGIA. Biogás tem potencial equivalente a 25% da energia do país, aponta ABio-gás, abril de 2017. Disponível em: <https://www.abiogas.org.br/potencial-biogas-canal-energia>. Acesso em: 04 de agosto de 2017.

CIBIOGÁS. CIBiogás e Itaipu inauguram planta de biogás para a geração de biometano, 02 de junho de 2017. Disponível em: <https://www.cibiogas.org/inauguracaoud>. Acesso em: 11 de agosto de 2017.

CHAMBRIARD, Magda. Cenário Atual do Abastecimento de Combustíveis Automotivos no Brasil. 12º Fórum de Debates sobre Qualidade e Uso de Combustíveis. Rio de Janeiro, 13 de abril de 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). Séries históricas. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>. Acesso em: 3 de julho de 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). Evolução dos custos de produção de soja no Brasil. Compêndio de Estudos da Conab, v.1. Brasília, 2016.

DELTACO2. Pegada de Carbono na Produção de Biodiesel de Soja. Pegada de Carbono na Produção de Biodiesel de Soja - Período de referência 2008/09. São Paulo, janeiro de 2013.

EMBRAPA. Artigo: Matérias-primas oleaginosas para a produção de bioquerosene – oportunidades e desafios, junho de 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3344909/artigo-materias-primas-oleaginosas-para-a-producao-de-bioquerosene-oportunidades-e-desafios>. Acesso em 08 de agosto de 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis, Ano 2016. 01 de junho de 2017b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2017. Rio de Janeiro, RJ, junho de 2017a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Plano Decenal de Expansão de Energia 2026. Versão para Consulta Pública. 2017c.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). RenovaBio: Biocombustíveis 2030, Nota Técnica Novos Biocombustíveis. 24 de fevereiro de 2017d.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis, Ano 2015. 10 de maio de 2016b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). O compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia. Junho de 2016a.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Laws and Regulations, 2017. Disponível em: <https://www.epa.gov/>. Acesso em: 21 jul. 2017.

ESTADÃO. Desembolso ao setor de cana cai 60% em 2015, diz BNDES, 03 de fevereiro de 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2016/02/desembolso-ao-setor-de-cana-cai-60-em-2015-diz-bndes.html>. Acesso em: 04 de agosto de 2017.

ESTADÃO. Projeto adia em 20 anos meta de ônibus limpos em São Paulo, 18 de maio de 2017. Disponível em: <http://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,projeto-adia-em-20-anos-meta-de-onibus-limpos-em-sp,70001790554>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

EURACTIV. Lawmakers agree to limit food-based biofuels, 2017. Disponível em <http://www.euractiv.com/section/sustainable-dev/news/lawmakers-agree-to-limit-food-based-biofuels/>. Acesso em: 23 jul. 2017.

EUROPEAN BIOMASS ASSOCIATION (AE-BIOM). Bioenergy – The Swedish Experience, 18 de junho de 2012. Disponível em <http://www.aebiom.org/bioenergy-the-swedish-experience/>. Acesso em 17 de julho 2017.

EUROPEAN COMMISSION (EC). Energy Strategy and Energy Union. Secure, competitive, and sustainable energy. Disponível em: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union>. Acesso em: 24 jul. 2017.

EXTRA. Produtores de biodiesel assinam acordo para testes de aumento na mistura com diesel, 05 de julho de 2017. Disponível em: <https://extra.globo.com/noticias/economia/produtores-de-biodiesel-assinam-acordo-para-testes-de-aumento-na-mistura-com-diesel-21556755.html>. Acesso em: 22 de julho de 2017.

FEDERAÇÃO NACIONAL DO COMÉRCIO DE COMBUSTÍVEIS E LUBRIFICANTES (Fecomustíveis). Tributação, julho de 2017. Disponível em: <http://www.fecomustiveis.org.br/revendedor/tributacao/>. Acesso em: 26 de julho de 2017.

FEDERAÇÃO NACIONAL DO COMÉRCIO DE COMBUSTÍVEIS E LUBRIFICANTES (Fecomustíveis). Carga Tributária dos Combustíveis por Estado. Julho de 2017.

FÉLIX, Márcio. Bioquerosene e Oportunidades. *Ethanol Summit*. São Paulo, 26 de junho de 2017.

FREITAS, Silene & LUCON, Oswaldo. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel: a transição para um estilo de desenvolvimento sustentável. Textos para Discussão TD-IEA nº27/2011. Maio de 2011.

G1. Desembolso ao setor de cana cai 60% em 2015, diz BNDES, 03 de fevereiro de 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2016/02/desembolso-ao-setor-de-cana-cai-60-em-2015-diz-bndes.html>. Acesso em 04 de agosto de 2017.

G1. Ônibus que poluem 90% menos começam a circular em Curitiba, 28 de setembro de 2012. Disponível em: <http://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2012/09/onibus-que-poluem-90-menos-comecam-circular-em-curitiba.html>. Acesso em: 21 de março de 2017.

GERMAN AEROSPACE CENTER (DLR) & GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. IATA Technology Roadmap 2030. 4ª Edição. Junho de 2013.

GOMES, José. BNDES projeta desembolso de R\$ 2 bi para o setor de cana em 2016. Rede AgroServices, 29 de novembro de 2016. Disponível em: <https://www.redeagroservices.com.br/Noticias/2016/11/BNDES-projeta-desembolso-de-R-2-bi-para-o-setor-de-cana-em-2016.aspx>. Acesso em: 04 de agosto de 2017.

GOTA, Sudhir, et al. Proposed Avenues for NDCs: Increasing the Potential or Nationally

Determined Contributions (NDCs) for Ambitious Action on Transport and Climate Change. Novembro de 2016.

GOVERNMENT OFFICES OF SWEDEN (GOS). The climate policy framework, 2017. Disponível em <http://www.government.se/articles/2017/06/the-climate-policy-framework/>. Acesso em: 14 de julho de 2017.

GRANBIO. BioVertis: Cana-energia. Apresentação CTBE. 30 de março de 2017.

HOLLANDA, Jayme & NOGUEIRA, Luiz. Reven- do a paridade entre etanol hidratado e gasolina em veículos flexíveis. 08 de maio de 2015.

IHS MARKIT. Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle Market Buoyed as OEMs Will Launch 17 Vehicle Models by 2027, IHS Says, 4 de maio de 2016. Disponível em: <http://news.ihsmarket.com/press-release/automotive/global-hydrogen-fuel-cell-electric-vehicle-market-buoyed-oems-will-launch-1>. Acesso em: 20 de março de 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Levantamento sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Maio de 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (INEE). Eficiências dos carros flex quando usam etanol, 30 de abril de 2015. Disponível em: http://inee.org.br/informacoes_imprensa_artigo_etanol.asp?id=12&Cat=info. Acesso em: 27 de julho de 2017.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION (IATA). The cost of going green. Disponível em: <http://airlines.iata.org/analysis/the-cost-of-going-green>. Acesso em 08 de agosto de 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). CO2 emissions from fuel combustion – Highlights. 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Global EV Outlook. 2017.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Biofuels for aviation: Technology brief. Abu Dhabi, janeiro de 2017.

LUX RESEARCH. Raizen Has Lowest Price as Cellulosic Ethanol Hinges on Feedstock Cost, 24 de fevereiro de 2016. Disponível em: <http://www.luxresearchinc.com/news-and-events/press-releases/read/raizen-has-lowest-price-cellulosic-ethanol-hinges-feedstock-cost>. Acesso em: 28 de julho de 2017.

MELLO, Daniel. Rota 2030 dará vantagem a veículos de maior eficiência energética, diz ministro. EBC Agência Brasil, 05 de maio de 2017. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-05/rota-2030-dara-vantagem-veiculos-de-maior-eficiencia-energetica-diz-ministro>. Acesso em: 27 de julho de 2017.

MENDES, André & COSTA, Ricardo. Mercado brasileiro de biodiesel e perspectivas futuras. BNDES Setorial. Volume 31, pp. 253-280, março de 2010.

MILANEZ, Artur, et al. De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar – uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. BNDES Setorial. Volume 41, pp. 237-294, março de 2015.

MILANEZ, Artur, et al. O déficit de produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões de política. BNDES Setorial. Volume 35, pp. 27-302, março de 2012.

MILANEZ, Artur. Conjuntura e Perspectivas do Setor Sucroenergético. IV Workshop Infosucro. Rio de Janeiro, 28 de novembro de 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Usos do Biodiesel no Brasil e no Mundo. 1ª edição. Brasília, 2015.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES (MCTIC). Projeto do CTBE quer ampliar a geração de energia a partir da palha da cana-de-açúcar, 26 de julho de 2017. Disponível em: http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/salalmprensa/noticias/arquivos/migracao/2017/02/Projeto_do_CTBE_quer_ampliar_a_geracao_de_energia_a_partir_da_palha_da_cana-de-acucar.html. Acesso em: 10 de agosto de 2017.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS (MDIC). Inovar-Auto. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/principais-acoes-de-desenvolvimento-industrial/brasil-produtivo/acordos-internacionais-3>. Acesso em: 27 de julho de 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Proposta de Aprimoramento do Marco Legal de Biocombustíveis – Versão Revisada. Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/consultas-publicas?p_auth=NC0snq-2j&p_p_id=consultapublicaexterna_WAR_consultapublicaportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=-column-1&p_p_col_count=1&consultapublicaexterna_WAR_consultapublicaportlet_arquivoid=215&consultapublicaexterna_WAR_consultapublicaportlet_javax.portlet.action=downloadArquivoAnexo. Acesso em: 7 de agosto de 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Resenha Energética Brasileira - Exercício de 2015*. Maio de 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Eixos Estratégicos*. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/eixos-estrategicos>. Acesso em: 26 de junho de 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). MME institui novo modelo para estoques de biodiesel, 8 de abril de 2013. Disponível em: http://www.mme.gov.br/en/web/guest/pagina-inicial/primeiro-destaque/-/asset_publisher/iS28XoclOLAJ/content/mme-institui-novo-modelo-para-estoques-de-biodiesel;jsessionid=C639C595C4A08843247EF73BBAA0969F.srv154?redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fen%2Fweb%2Fguest%2Fpagina-inicial%2Fprimeiro-destaque%3Bjsessionid%3DC639C595C4A08843247EF73BBAA0969F.srv154%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_iS28XoclOLAJ%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_101_INSTANCE_iS28XoclOLAJ_advancedSearch%3Dfalse%26_101_INSTANCE_iS28XoclOLAJ_keywords%3D%26_101_INSTANCE_iS28XoclOLAJ_delta%3D10%26p_r_p_564233524_resetCur%3Dfalse%26_101_INSTANCE_iS28XoclOLAJ_cur%3D163%26_101_INSTANCE_iS28XoclOLAJ_andOperator%3Dtrue. Acesso em: 26 de julho de 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). *Discussões para implementação da NDC do Brasil*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/ndc-do-brasil>. Acesso em: 26 de junho de 2017.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA). *O que é o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)?*. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-biodiesel/o-que-%C3%A9-o-programa-nacional-de-produ%C3%A7%C3%A3o-e-uso-do-biodiesel-pnpb>. Acesso em 21 de julho de 2017.

NIGRO, Francisco & SZWARC, Alfred. *Etanol como combustível veicular: perspectivas tecnológicas e propostas de políticas públicas*. UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar, São Paulo, 2009.

NYKO, Diego, et al. *A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural?* BNDES Setorial. Volume 37, pp. 399-442, março de 2013

PARQUE TECNOLÓGICO ITAIPU. *Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás*. Disponível em: <https://www.pti.org.br/pt-br/cibio-gas>. Acesso em: 11 de agosto de 2017.

PEREIRA, Gonçalo Amarante Guimarães. *A energia da cana*. Revista Opiniões, número 52, Abril e junho de 2017.

PETRONOTÍCIAS. *EPE estuda aumentar participação do biogás na matriz energética*, 20 de junho de 2017. Disponível em: <https://www.petronoticias.com.br/archives/99554>. Acesso em: 04 de Agosto de 2017.

REDE AGROSERVICES (2016) - *BNDES projeta desembolso de R\$ 2 bi para o setor de cana em 2016*, 29 de novembro de 2016. Disponível em: <https://www.redeagroservices.com.br/Noticias/2016/11/BNDES-projeta-desembolso-de-R-2-bi-para-o-setor-de-cana-em-2016.aspx>. Acesso em 04/08/17.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21st CENTURY (REN 21). Renewables 2017 Global Status Report. 2017.

SMITH, Cristina Bastin. Análise da Difusão de Novas Tecnologias Automotivas em Prol da Eficiência Energética na Frota de Novos Veículos Leves no Brasil. Tese de Doutorado, Programa de Planejamento Energético – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

SVENSK KOLLEKTIVTRAFIK (SK). Trafikanalys, 2015. Disponível em: <http://www.trafa.se/en/public-transport-and-publicly-financed-travel/local-and-regional-public-transport/>. Acesso em: 31 jul. 2017.

UNIÃO EUROPEIA (UE). EP seals climate change package. Parlamento Europeu, 17 de dezembro de 2008. Disponível em <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20081208BKG44004+0+DOC+XML+V0//EN>. Acesso em: 23 jul. 2017.

UNIÃO EUROPEIA (UE). Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. Jornal Oficial da União Europeia, 24 de março de 2009. Disponível em: <https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:pt:PDF>. Acesso em: 23 jul. 2017.

UNICA. BOLETIM: A Bioeletricidade da Cana em Números – Junho de 2017. Disponível em: <http://www.unica.com.br/documentos/documentos/pag=1>. Acesso em: 10 de agosto de 2017.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). Biodiesel Basics. Fact Sheet. Julho de 2014.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). Alternative Fuels Data Center. Biodiesel. Disponível em: <https://www.afdc.energy.gov/fuels/biodiesel.html>. Acesso em: 23 jul. 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions. Outubro de 2002.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Laws and Regulations, 2017. Disponível em: <https://www.epa.gov/>. Acesso em: 21 jul. 2017.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). Paris Agreement – Status of Ratification. Disponível em: http://unfccc.int/paris_agreement/items/9444.php. Acesso em: 26 de julho de 2017.

WANG et al. Life-cycle energy and greenhouse gas emission impacts of different corn ethanol plant types. IOP Publishing. Reino Unido, 2007.

Mantenedores

Empresas que acreditam e investem em pesquisa para
o desenvolvimento do Setor Energético Brasileiro.






A **FGV Energia** agradece a seus **Mantenedores** o apoio
dedicado às suas pesquisas e publicações.


Enel Green Power, por um mundo mais verde.

Presente em 
16 países

Gerando 
38,1 TWh
de energia anualmente

Mais de 
740 plantas

-  energia eólica
-  energia solar
-  energia hidroelétrica
-  energia geotérmica
-  energia de biomassa

Evitando a emissão de 
22 milhões
de toneladas de CO₂

enel


Green Power

NA NATUREZA, NADA SE PERDE. TUDO SE TRANSFORMA.

ITAIPU GERA MAIS DO QUE A ENERGIA LIMPA QUE VEM DAS ÁGUAS DO RIO PARANÁ. Desenvolve também várias iniciativas na área de energias renováveis, como a utilização do biometano obtido a partir dos dejetos de animais e de resíduos orgânicos das propriedades rurais da região. Com isso, combate as emissões de gases do efeito estufa, protege a natureza ao evitar que dejetos cheguem aos rios e proporciona uma alternativa de renda aos produtores locais, além de desenvolver a tecnologia dos veículos movidos com esse biocombustível. Hoje, Itaipu já conta com 36 deles e, em breve, ampliará ainda mais a sua frota a biometano. Resultado da economia já comprovada e fator de geração de renda e desenvolvimento sustentável, para todo o seu território de atuação.



Para saber mais, acesse www.cibiogas.org




Usina Hidrelétrica de Funil
Resende - RJ

Transparência & sustentabilidade

***Furnas representa um complexo de 19 Usinas Hidrelétricas,
68 subestações e 43 parques eólicos.***

- 40% da Energia do Brasil passa por Furnas.
- Energia para mais 60% dos domicílios brasileiros.
- 24.000 km de linhas de transmissão que interligam o Brasil.
- 100% na geração de energia limpa para o Brasil.



O NOVO NÃO ESTÁ A CAMINHO. ELE É APLICADO AGORA.

Veja como usamos hoje a inovação
e o profundo conhecimento de indústria
nos reais desafios empresariais.
Acesse accenture.com.br

NEW APPLIED NOW

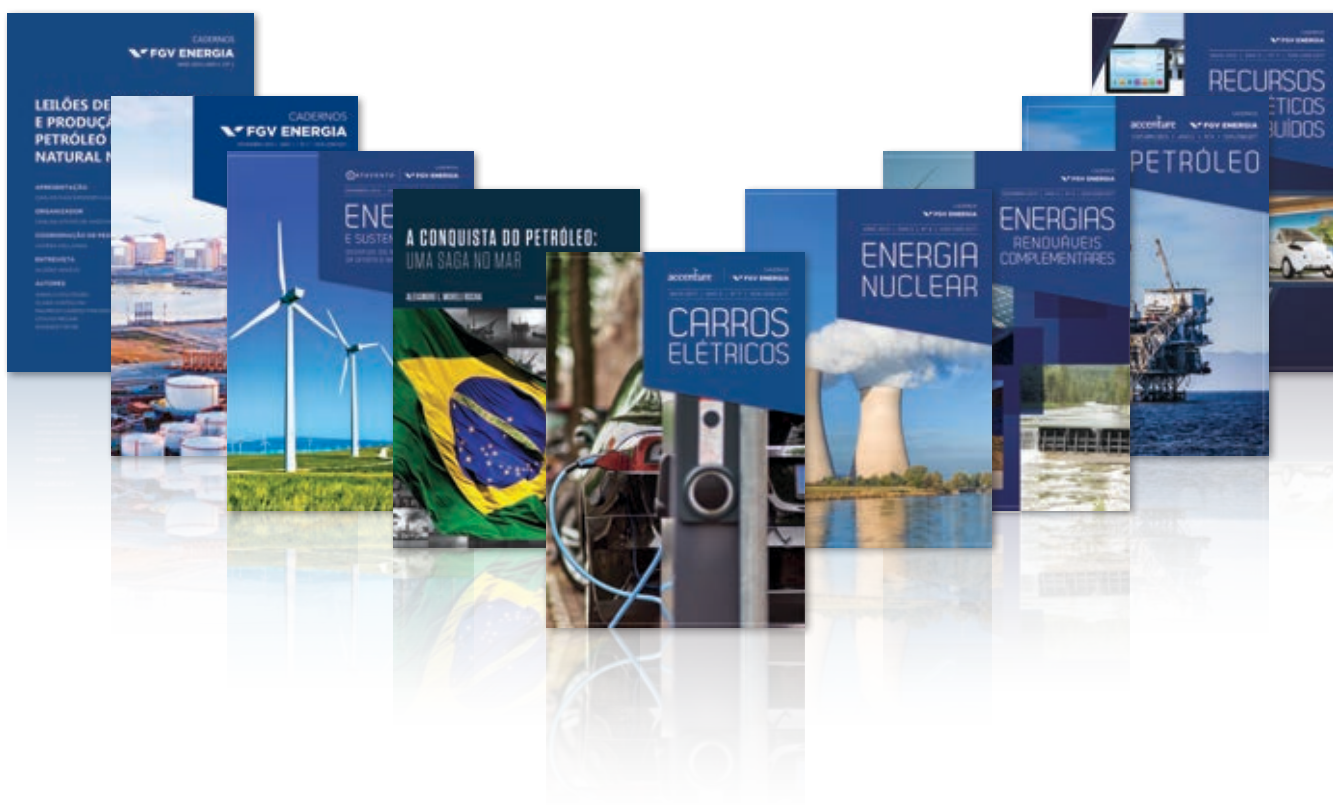
ANOTAÇÕES

[illegible]

ANOTAÇÕES

[illegible]

Conheça as
publicações
FGV Energia



PUBLICAÇÕES DISPONÍVEIS NO SITE:

www.fgv.br/energia

Mantenedores Premium (Elite) da FGV Energia:



Mantenedores Master da FGV Energia:





www.fgv.br/energia