

O ACORDO DE PARIS E A TRANSIÇÃO PARA O SETOR DE TRANSPORTES DE BAIXO CARBONO: O PAPEL DA PLATAFORMA PARA O BIOFUTURO

Artur Yabe Milanez

Rafael Vizeu Mancuso

Renato Domith Godinho

*Marcelo Khaled Poppe**

Palavras-chave: Bioeconomia. Biocombustíveis. Setor de transportes. Aquecimento global. Cooperação internacional.

* Respectivamente, gerente e engenheiro do Departamento de Biocombustíveis da Área de Indústria e Serviços do BNDES; chefe da Divisão de Recursos Energéticos Novos e Renováveis do Ministério das Relações Exteriores (MRE) – a contribuição do autor ao artigo se dá em caráter pessoal e não necessariamente representa a posição oficial do MRE –; e assessor da Diretoria do Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE).

THE PARIS AGREEMENT AND THE TRANSITION TO THE LOW-CARBON TRANSPORT SECTOR: THE ROLE OF THE BIOFUTURE PLATFORM

Artur Yabe Milanez

Rafael Vizeu Mancuso

Renato Domith Godinho

*Marcelo Khaled Poppe**

Keywords: Bioeconomy. Biofuels. Transport sector. Global warming. International cooperation.

* Respectively, manager and engineer of BNDES' Bio-fuel Department of the Industrial and Services Division; head of the Division for New and Renewable Energy Resources of the Ministry of Foreign Affairs (MRE) – the author's contribution is made in personal capacity and does not necessarily represent the official position of the government of Brazil –; and senior advisor at the Center for Strategic Studies and Management (CGEE).

Resumo

O Acordo de Paris é um marco no reconhecimento da urgência da transição para uma economia global de baixo carbono. Por outro lado, o setor de transportes (quase 25% das emissões globais de CO₂) carece do devido foco por governos e organismos internacionais. Este artigo argumenta que os biocombustíveis avançados – etanol de 1ª geração (E1G) de cana-de-açúcar e o etanol celulósico ou de 2ª geração (E2G) – são a solução mais rápida e compatível. Além disso, o E2G, produzido a partir de resíduos, desconstrói a equivocada dicotomia “alimentos versus biocombustíveis”. Contudo, para a superação dos desafios do escalonamento do E2G, é importante aumentar a cooperação internacional. Por essa razão, o Brasil, sob a liderança do Itamaraty, logrou a criação da Plataforma para o Biofuturo, aliança internacional de vinte países que busca promover o desenvolvimento dos biocombustíveis avançados.

Abstract

The Paris Agreement is a milestone in the recognition of the urgency of the transition to a low-carbon global economy. On the other hand, the transport sector (almost 25% of global emissions of CO₂) lacks the due focus by governments and international organizations. This article argues that advanced biofuels – first-generation sugarcane ethanol (E1G) and second-generation or cellulosic ethanol (E2G) – are the fastest and most compatible solution. In addition, the E2G, produced from waste, deconstructs the misplaced dichotomy "food versus biofuels." However, to overcome the challenges of scaling the E2G, it is important to increase international cooperation. For that reason, Brazil, under the leadership of Itamaraty, has succeeded in creating the Biofuturo platform, an international alliance of 20 countries that seeks to promote the development of advanced biofuels.

Introdução

Em novembro de 2015, quase duzentos países aprovaram o chamado Acordo de Paris, um marco internacional que busca reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera em quantidade suficiente para manter o aquecimento global abaixo de 2° C, além de redobrar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5° C. Em razão da magnitude desse desafio, será necessário desenvolver alternativas de energia renovável também para o setor de transportes que, embora muitas vezes negligenciado nas discussões internacionais sobre a mudança climática, representa quase um quarto das emissões globais de CO₂.

Diante desse contexto, este artigo argumenta que, entre as diversas alternativas em desenvolvimento para incentivar a transição para um setor de transportes de baixo carbono, os biocombustíveis avançados, tais que o etanol (E1G) de cana-de-açúcar e o etanol celulósico ou de segunda geração (E2G), representam uma solução de mais rápida implementação por sua elevada compatibilidade com o atual padrão veicular e a infraestrutura de distribuição e abastecimento energético, além da superação definitiva da equivocada polêmica “biocombustíveis x alimentos” por meio da utilização de resíduos agrícolas e urbanos como fonte de matéria-prima.

Contudo, o atual estágio dos biocombustíveis avançados, em especial o E2G, ainda exige a construção de soluções para os desafios de escalonamento produtivo, típico de tecnologias em evolução, apesar de já terem atingido escala industrial em instalações pioneiras. Para tanto, é fundamental o estabelecimento de ambiente institucional, em nível doméstico e internacional, que contribua para superação dessa etapa, razão pela qual o Brasil idealizou e liderou a criação da Plataforma para o Biofuturo, iniciativa de

vinte países voltada para acelerar o desenvolvimento dos biocombustíveis avançados e o progresso da bioeconomia.

Além desta introdução, este artigo está dividido em outras sete seções. A segunda seção resume os principais detalhes do Acordo de Paris e suas metas para redução de emissões. Em seguida, explica-se por que a descarbonização do setor de transportes não tem recebido a atenção condizente com sua importância para as emissões globais de CO₂. A quarta seção discute as principais alternativas em desenvolvimento para redução de emissões no setor de transportes. Não obstante a importância de incentivar a eletrificação veicular, alternativas cujos impactos possam ser viabilizados em prazos mais curtos precisam ser igualmente fomentadas, como é o caso dos biocombustíveis avançados, que são o assunto central da seção subsequente. Na sexta seção, é recuperado o histórico recente da cooperação internacional para energias renováveis. Na sequência, discutem-se as origens, motivações e objetivos da Plataforma para o Biofuturo. A última seção apresenta as considerações finais deste artigo.

A COP 21 e o Acordo de Paris

As conferências das Nações Unidas sobre a mudança do clima são realizadas anualmente com o intuito de negociar e implementar os acordos firmados sob a Convenção do Clima, pactuada no Rio de Janeiro em 1992. A 21ª Conferência das Partes (COP 21), organizada em Paris, em novembro de 2015, foi conduzida de forma excepcionalmente cooperativa, sobretudo em função do maior reconhecimento dos países sobre a gravidade da questão climática e sobre a urgência para adoção de medidas mitigadoras. Previamente à COP 21, esse consenso ganhou força ao longo de 2015, impulsionado por uma série de eventos e medidas, cabendo destacar:

- Em julho: realização em Paris da conferência científica Nosso Futuro Comum sob a Mudança do Clima, que contou com afluência significativa de países e reforçou o conhecimento do tema.
- Em setembro: adoção pelas Nações Unidas, em Nova York, dos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) e sua Agenda 2030, construídos de modo participativo desde a Conferência Rio+20, realizada em 2012.
- Em novembro: submissão para COP 21, pela quase totalidade dos países participantes, das respectivas contribuições para redução de emissões – Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas (Intended Nationally Determined Contributions – INDC) –, muitas vezes estabelecidas, como no Brasil, em processos abrangentes de consulta à sociedade.

Como resultado bastante positivo desse consenso, o Acordo de Paris reafirmou o objetivo indicado pelo Painel Científico Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) de limitar a 2° C o aumento da temperatura média do planeta em relação à era pré-industrial e empregar melhores esforços na tentativa de limitá-lo a 1,5° C, levando em conta os riscos e a magnitude dos esforços de adaptação futuros. Assim, embora as INDCs anunciadas pelos países não sejam suficientes para alcançar a redução de emissões necessária para o atingimento da meta de aumento de temperatura, pode-se dizer que foi aprovado um acordo ambicioso, tendo em vista a previsão de revisão quinquenal das contribuições dos países de forma a considerar seu aumento periódico.¹

Desse modo, pode-se afirmar que a COP 21 e a aprovação do Acordo de Paris por 195 países são um marco para a evolução do reconhecimento internacional de que é preciso acelerar a transição para uma economia global

¹ A íntegra do Acordo de Paris está disponível em: <http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf>.

de baixo carbono. Se Paris traçou o caminho, caberá agora a cada nação a tarefa de trilhá-lo, reformando seus padrões de emissão de carbono de forma a atingir suas metas. Para isso, certamente não haverá uma solução mágica, nem única: será necessário lançar mão de amplo escopo de medidas, políticas e tecnologias em energia renovável, eficiência energética, combate ao desmatamento, práticas agropecuárias sustentáveis, captura e armazenamento de carbono e muitas outras áreas, conforme as realidades, circunstâncias, prioridades e estratégias de desenvolvimento de cada país.

No caso brasileiro, as metas de redução de emissões anunciadas pela INDC do país são de 37% abaixo dos níveis de 2005, já em 2025, e de 43%, em 2030, para o conjunto da economia. Para o cumprimento dessas metas, estão previstas, entre outras, medidas como:

aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030, expandindo o consumo de biocombustíveis, aumentando a oferta de etanol, inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração), e aumentando a parcela de biodiesel na mistura do diesel.²

Setor de transportes e o aquecimento global

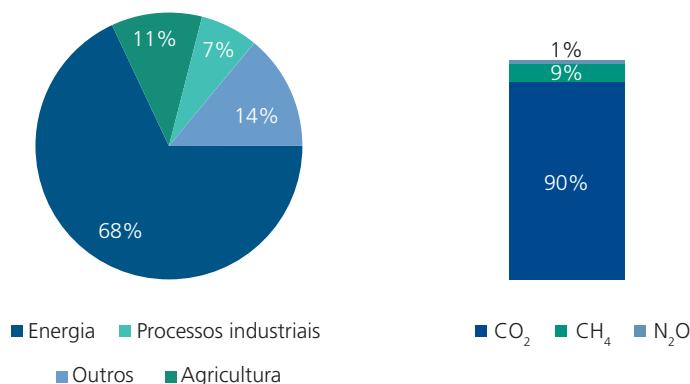
Esta seção apresenta indicadores que dimensionam as emissões de CO₂ do setor de transportes, evidenciando a relevância de sua contribuição para o aquecimento global e, assim, justificando a necessidade de se criarem iniciativas internacionais que promovam sua rápida descarbonização.

² O documento completo da INDC brasileira pode ser obtido em <http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-INDC-portugues.pdf>.

Nível atual de emissões de CO₂

Conforme a Agência Internacional de Energia (AIE), ou, em inglês, International Energy Agency (IEA), publicou em *CO₂ Emissions – From Fuel Combustion*, a emissão de GEE de origem antropogênica, ou seja, derivada da ação humana, é resultado principalmente de processos relacionados à produção e ao uso de energia (68%), nos quais o CO₂ apresenta contribuição majoritária (90%) (Gráfico 1).

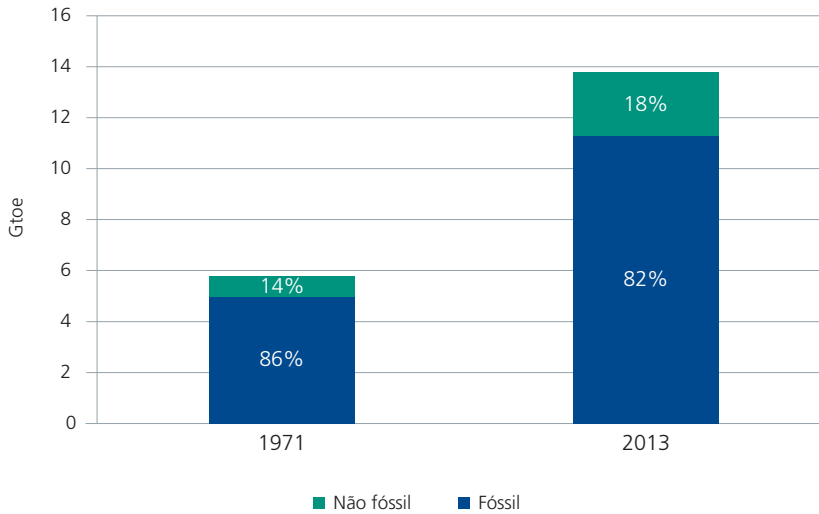
Gráfico 1 | Participação global antropogênica em GEE, 2010



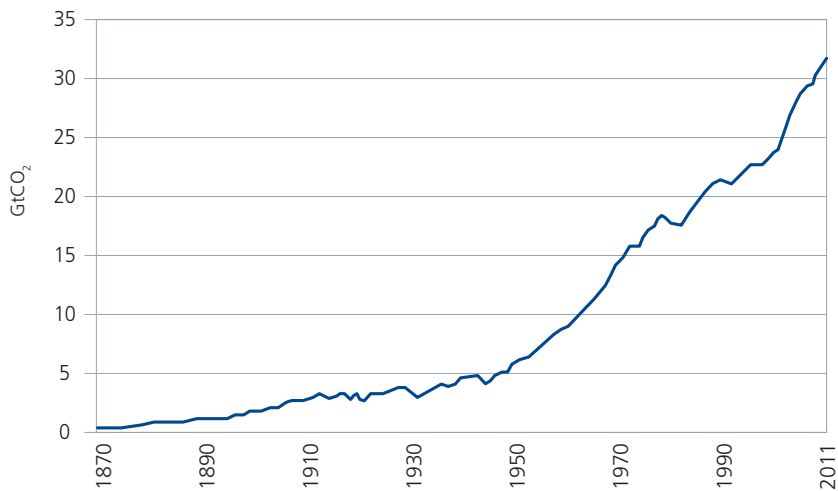
Fonte: IEA (2015a).

Esse perfil de emissões resulta do papel preponderante desempenhado pelo uso de combustíveis de origem fóssil no fornecimento primário de energia mundial. Apesar de uma tímida melhora depois de três décadas na participação de fontes de energia não fósseis (Gráfico 2), o expressivo crescimento absoluto da utilização dos combustíveis de origem fóssil tem aumentado os níveis de emissão total de CO₂ na atmosfera (Gráfico 3), ainda que com menor participação relativa.

Gráfico 2 | Fornecimento mundial de energia primária



Fonte: IEA (2015a).

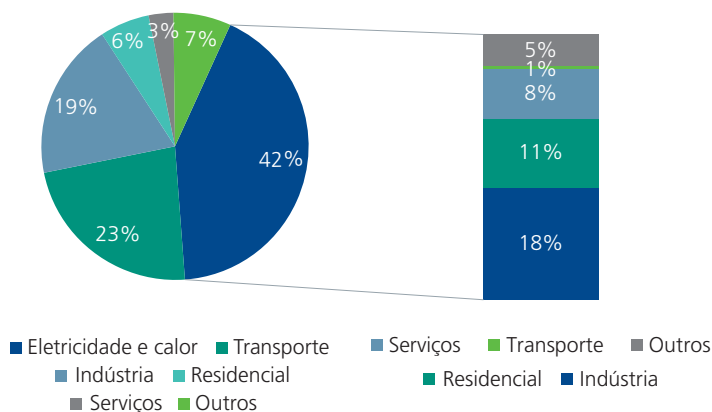
Gráfico 3 | Crescimento nas emissões de CO₂ derivadas de combustível de origem fóssil

Fonte: IEA (2015a).

Quando se analisam as emissões globais de CO₂ por setor, a geração de eletricidade e calor se destaca em primeiro lugar, com mais de 40% de participação (Gráfico 4), resultado do consumo ainda elevado de carvão e outros combustíveis fósseis em usinas termoeletricas. Não é por outra razão que, por meio de políticas públicas estabelecidas em diversos países, algumas alternativas de geração elétrica têm sido fomentadas e difundidas com razoável sucesso, sobretudo aquelas que utilizam fontes limpas, como energia eólica e solar.

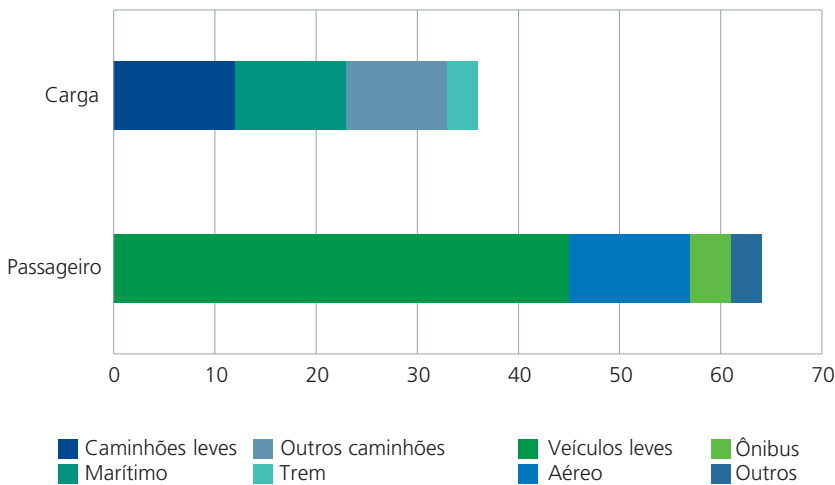
O setor de transportes ocupa o segundo lugar, sendo responsável por quase um quarto das emissões globais de CO₂, mostrando o potencial desse segmento na contribuição para emissões de GEE. Contudo, diferentemente do que tem ocorrido no setor elétrico, a descarbonização do setor de transportes mostra-se mais desafiadora, apesar de diversas opções tecnológicas estarem em desenvolvimento, conforme será visto mais adiante.

Gráfico 4 | Emissões de CO₂ no mundo por setor, 2013



A elevada emissão de CO₂ no setor de transportes se deve principalmente à utilização em larga escala de três combustíveis de origem fóssil: diesel, essencialmente para transporte de mercadorias; gasolina, para transporte de passageiros; além do querosene, utilizado no transporte aéreo. Porém, de acordo com a Agência de Informação Energética (Energy Information Agency – EIA) dos EUA, o transporte de passageiros, em especial por meio de veículos leves, majoritariamente movidos à gasolina, consome mais energia do que todos os meios de transporte de mercadorias em conjunto, incluindo caminhões, trens e navios (Gráfico 5).

Gráfico 5 | Consumo mundial de energia por modal de transporte (quadrilhões BTU)

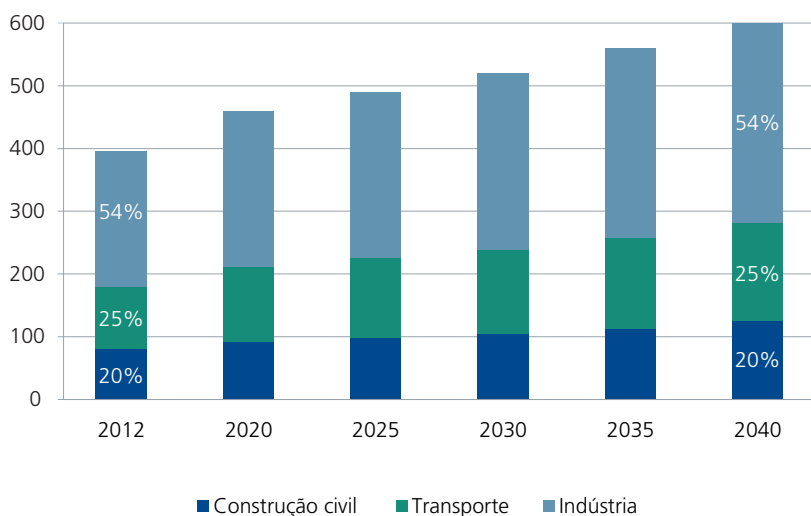


Fonte: EIA (2016).

Demanda energética em crescimento

Como será visto na seção seguinte, embora existam diversas alternativas sendo desenvolvidas para substituir ou reduzir o uso de derivados de petróleo no setor de transportes, o consumo de combustíveis fósseis continuará sendo protagonista no futuro previsível. De acordo com EIA (2016), o uso de petróleo e seus derivados deve crescer mais de 20% em termos absolutos até 2040, e essa tendência está correlacionada ao setor de transportes, cuja participação no consumo mundial de energia deve crescer mais de 50% em termos absolutos, ainda que a participação relativa se mantenha constante até 2040 (Gráfico 6).

Gráfico 6 | Consumo mundial de energia por setor (quadrilhões BTU)

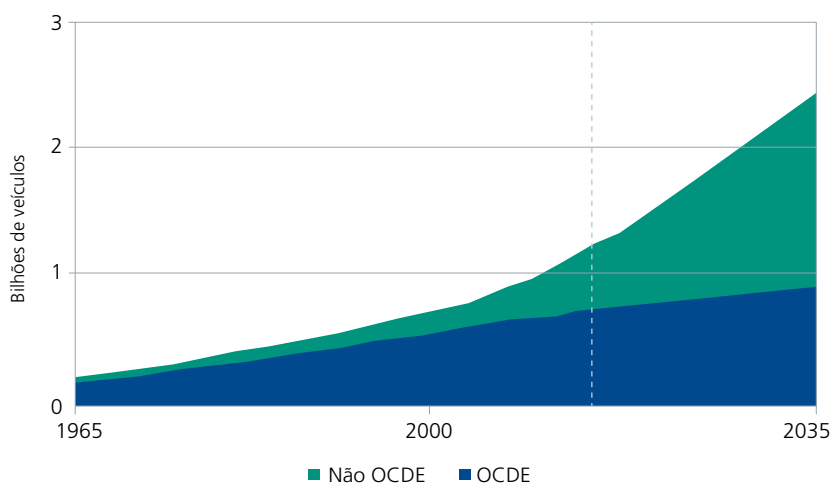


Fonte: EIA (2016).

Essa tendência também é corroborada por pesquisa realizada pela empresa British Petroleum (BP) que, em seu Energy Outlook 2016, projeta aumento de mais de 30% do consumo de combustíveis pelo setor

de transporte até 2035 (BP, 2016), cujo principal determinante está relacionado ao aumento da frota de veículos. Segundo a BP, o número de veículos em circulação no mundo deve mais do que duplicar até 2035, atingindo a marca de mais de dois bilhões de unidades, sobretudo em função do rápido crescimento das frotas nos países em desenvolvimento, fora da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), especialmente China e Índia (Gráfico 7).

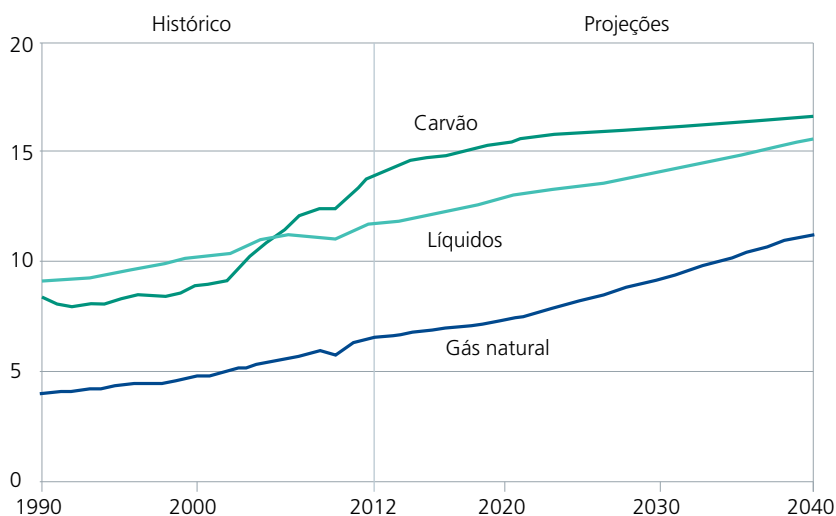
Gráfico 7 | Crescimento mundial da frota de veículos



Fonte: BP (2016).

Consequentemente, as emissões de CO₂ relacionadas ao setor de transportes deverão continuar em crescimento. De acordo com estimativas de EIA (2016), até 2040 as emissões de CO₂ derivadas de combustíveis líquidos aumentarão em mais de 30%, ultrapassando 15 bilhões de toneladas métricas por ano (Gráfico 8).

Gráfico 8 | Emissões de CO₂ por tipo de combustível no mundo (bilhões t)



Fonte: EIA (2016).

Alternativas para redução das emissões de CO₂ do setor de transportes

Existem iniciativas de diferentes naturezas ao redor do mundo para reduzir a emissão de CO₂ relacionada ao setor de transportes, como metas de eficiência energética, estímulos à ampliação do uso de biocombustíveis, além da mudança para novas tecnologias de transporte, como veículos elétricos e híbridos.

Eficiência energética

Um dos instrumentos que têm direcionado esforços e transmitido senso de urgência para a necessidade de redução de uso de combustíveis fósseis é a definição de metas de eficiência energética dos veículos. Segundo

Vaz, Barros e Castro (2016), a maioria dos países desenvolvidos conta com regulamentações específicas para aferição e controle dos níveis de emissão de poluentes e consumo de combustível. Na União Europeia, as metas de emissões de CO₂ estão continuamente sendo revistas, exigindo mais inovação tecnológica das montadoras. Para 2020, a meta de emissões para os veículos leves está fixada em 95 gCO₂/km, o que representa uma redução de 27% em relação ao valor previsto na legislação vigente no período de 2012 a 2015 (130 gCO₂/km).

Nos EUA, as metas também são fixadas no longo prazo, sendo posteriormente desdobradas em metas anuais, facilitando a programação dos fabricantes e a definição das agendas de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Para automóveis leves, há dois ciclos de teste – FTP-75 (urbano) e HWFET (estrada). Estima-se que as metas possam reduzir a dependência de petróleo em dois milhões de barris/dia em 2025, além de promover uma economia acumulada de US\$ 1,7 bilhão em combustível pelas famílias.

No Brasil, a partir do Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (Inovar-Auto),³ metas de eficiência energética passaram a ser exigidas pelo Inovar-Auto como critério de habilitação da empresa no Novo Regime Automotivo. A meta, expressa em consumo energético (MJ/km) e que segue a norma ABNT NBR 7024:2010 (em conformidade com a norma dos EUA), deverá ser cumprida.

Como resultado, os novos veículos leves são mais eficientes no uso de combustíveis. De acordo com levantamento feito no âmbito da Global Fuel Economy Initiative (GFEI), que analisou informações de 26 países que representam cerca de 80% do mercado de veículos leves, a eficiência

³ O Inovar-Auto é o regime automotivo do Governo brasileiro que tem como objetivo a criação de condições para aumentar a competitividade no setor automotivo, produzir veículos mais econômicos e seguros, investir na cadeia de fornecedores, em engenharia, tecnologia industrial básica, pesquisa e desenvolvimento e capacitação de fornecedores.

dos novos modelos vendidos em 2013 supera em 11% aqueles comercializados em 2005 (GFEI, 2013), conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 | Taxa de aprimoramento da eficiência energética de veículos

		2005	2008	2011	2013	2030
OECD	Economia média de combustível (Lge*/100 km)	8,9	8,4	7,8	7,5	
	Taxa de melhoria anual (% a.a.)		(2,1)	(2,5)	(1,9)	
	Taxa de melhoria anual média (%)			(2,2)		
Não OECD	Economia média de combustível (Lge/100 km)	8,5	8,5	8,4	8,2	
	Taxa de melhoria anual (% a.a.)		(0,1)	(0,4)	(1,2)	
	Taxa de melhoria anual média (%)			(0,5)		
Global	Economia média de combustível (Lge/100 km)	8,8	8,4	8	7,8	
	Taxa de melhoria anual (% a.a.)		(1,7)	(1,6)	(1,4)	
	Taxa de melhoria anual média (%)			(1,6)		
Meta GFEI	Economia média de combustível (Lge/100 km)	8,8				4,4
	Taxa de melhoria anual (% a.a.) – ano-base 2005			(2,7)		
	Taxa de melhoria anual (% a.a.) – ano-base 2014			(3,3)		

Fonte: GFEI (2013).

* Litro equivalente de gasolina.

Essa melhora, contudo, mostra-se desequilibrada internacionalmente. Enquanto nos países da OCDE houve diminuição de mais de 15%, nos demais países analisados pela pesquisa a redução de consumo de combustíveis ficou próxima a 5%. Segundo os autores da pesquisa, os países de maior renda têm conseguido estabelecer e sustentar políticas públicas mais eficazes, como regulação rigorosa do uso de combustíveis, incentivos tributários para aquisição de veículos mais eficientes ou impostos mais elevados no consumo de combustíveis.

Contudo, conforme mostram as projeções de consumo de combustíveis da seção anterior, o aumento da eficiência dos novos veículos, ainda que seja um redutor de consumo energético, não será capaz de evitar que o aumento esperado da frota mundial implique um consumo crescente de combustíveis, o que exige mudanças mais radicais no setor de transportes, tanto no padrão de motorização quanto na substituição de combustíveis fósseis.

Eletrificação veicular

Como alternativa aos veículos à combustão interna, há que se destacar a evolução da eletrificação veicular. Nos veículos puramente elétricos, um motor elétrico é acionado com a energia oriunda da bateria, e a recarga é feita pela conexão à rede elétrica. Embora estejam em contínua evolução, os ainda excessivos custo e peso das baterias, o elevado tempo de recarga, a carente infraestrutura de recarga e a limitada autonomia são alguns dos principais inibidores à adoção em massa desses veículos, especialmente no curto-médio prazo. Essas dificuldades se potencializam para o mercado de veículos pesados, sobretudo caminhões, pois as distâncias a serem percorridas são (em média) bem superiores. Em países com baixa malha ferroviária (em desenvolvimento), a alta participação do transporte rodoviário abre

uma oportunidade interessante para os biocombustíveis. Além da dificuldade para substituir diesel, outra dificuldade, talvez ainda maior, é a substituição do uso do querosene de aviação por eletricidade, uma vez que a utilização de motores elétricos em aeronaves ainda está em estágio inicial de desenvolvimento tecnológico.

Já os veículos híbridos, por sua vez, são modelos intermediários combinando um motor a combustão interna com um ou mais motores elétricos para propulsão. Por combinar os dois tipos, os motores têm menor porte que nas configurações plenas. Em linhas gerais, quanto maior o nível de hibridização, maiores o motor elétrico, o alternador e a bateria e menor o motor a combustão. Por terem a opção de serem reabastecidos por meio de combustíveis líquidos, os veículos híbridos apresentam maior compatibilidade e flexibilidade de abastecimento do que os veículos puramente elétricos, além de também poderem utilizar biocombustíveis.

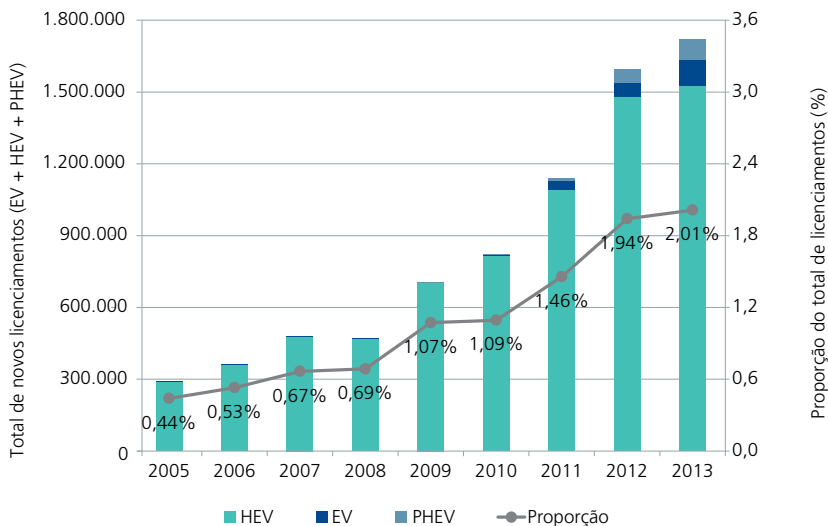
No que tange a seu impacto na redução de emissões de CO₂, a eletrificação veicular será mais ambientalmente sustentável à medida que os veículos sejam recarregados por meio de fontes renováveis de eletricidade, o que está ainda longe de ser o caso das regiões onde se concentra a maior parte da frota de veículos elétricos, como EUA, China e Europa. No caso dos veículos híbridos, esse problema pode ser minorado por meio da combinação com a utilização de biocombustíveis.

Contudo, as vantagens de eficiência energética e a redução da dependência do petróleo, sempre envolvido em complexas questões geopolíticas, sobrepõem-se às limitações e têm levado alguns países a adotar políticas públicas de incentivo à oferta e à demanda de híbridos e elétricos.

Em alguns desses países, os resultados já aparecem. Nos EUA, maior mercado automotivo mundial, foram licenciados cerca de 63 mil

veículos puramente elétricos e 544 mil híbridos em 2014, somando o equivalente a 3,5% das vendas totais. A Noruega é o país com a maior participação relativa de elétricos puros nos novos licenciamentos, com 4% de todos os novos veículos. No mundo todo, em 2013, foram licenciados 1,6 milhão de veículos híbridos e 105 mil puramente elétricos. Isso equivale a aproximadamente 2% de todos os licenciamentos globais (Gráfico 9).

Gráfico 9 | Evolução global dos licenciamentos de veículos híbridos e elétricos



Fonte: Vaz, Barros e Castro (2015).

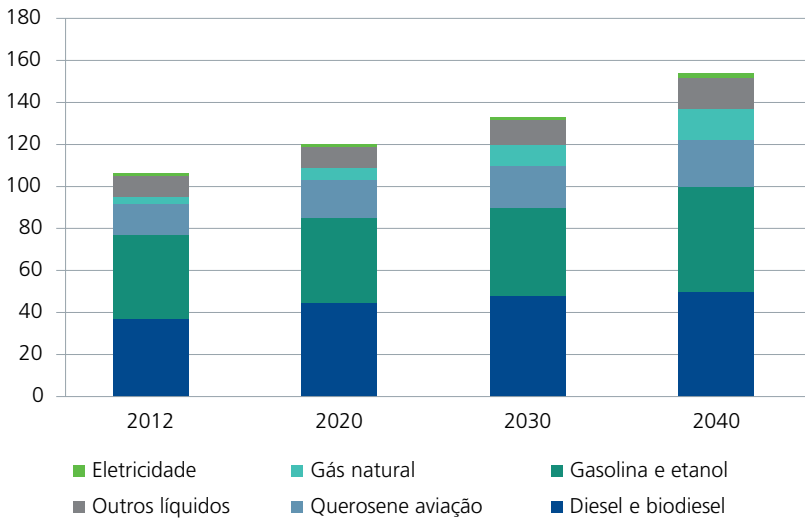
Quando se compara com o volume total de veículos em circulação – cerca de 1,2 bilhão de veículos em 2014,⁴ segundo a Associação Internacional das Montadoras (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles – Oica) –, a participação desses veículos é inferior a 1% da frota mundial. No Brasil, em 2014, foram

⁴ Informação disponível em: <<http://www.oica.net/category/vehicles-in-use/>>.

licenciados apenas 855 veículos híbridos ou elétricos, em um total de cerca de 3,3 milhões.⁵

Como resultado, o impacto da eletrificação veicular é apenas marginal na demanda energética do setor de transportes, tal como expõe a projeção feita pela EIA para 2040 (Gráfico 10). Portanto, embora se deva manter o esforço para acelerar o desenvolvimento e a inserção da eletrificação veicular, perante os objetivos de contenção do aumento de temperatura do planeta derivados do Acordo de Paris, serão necessárias medidas que gerem redução de CO₂ em um espaço mais curto de tempo.

Gráfico 10 | Consumo de energia no setor mundial de transportes por fonte de energia, 2012-2040 (quadrilhões BTU)



Fonte: EIA (2016).

⁵ Informação disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/estatisticas-2014.html>>.

Biocombustíveis

Alternativa de rápida implementação

Os biocombustíveis já são utilizados de forma eficiente em motores de combustão interna que equipam os mais diversos veículos automotores. Tais motores são basicamente de dois tipos, dependendo da maneira pela qual se inicia a combustão. Nos motores do ciclo Otto, com ignição por centelha, o biocombustível mais recomendado é o etanol, em substituição à gasolina. Já nos motores do ciclo Diesel, no qual a ignição é conseguida por compressão, o biodiesel pode ser utilizado no lugar do diesel. Em ambas as situações, os biocombustíveis podem ser usados puros ou misturados com combustíveis convencionais derivados de petróleo.

Ademais, por serem produtos líquidos, assim como o diesel e a gasolina, os biocombustíveis podem ser introduzidos de forma simples e imediata na atual estrutura de distribuição e comercialização de combustíveis, o que facilita seu acesso pelo consumidor e permite uma rápida redução de emissões de CO₂.

O etanol é o biocombustível que conseguiu maior penetração no mercado mundial, com destaque para os EUA e o Brasil – com respectivamente 56 bilhões e trinta bilhões de litros em 2015 –, que, em conjunto, respondem por quase 90% da produção e do consumo mundial. Ele pode ser obtido a partir de diferentes matérias-primas, como caldo da cana-de-açúcar e amido do milho, no caso do E1G – que também é produzido a partir de beterraba e de cereais –, e, no caso do E2G, em estágio inicial de produção comercial, ainda por meio do processamento de resíduos agrícolas ou florestais. Em menor escala, existe o biodiesel, produzido majoritariamente a partir de óleos vegetais (mas também de sebo bovino), cujos maiores produtores e consumidores também são EUA e Brasil, com respectivamente 4,8 e 4,0 bilhões de litros em 2015.

É importante notar que mesmo os veículos movidos a biocombustíveis emitem GEE. Contudo, de acordo com o tipo de matéria-prima cultivada e o balanço energético do processo de produção, o biocombustível pode gerar absorção de CO₂ quase equivalente ao CO₂ emitido em sua combustão, proporcionando redução de emissões de CO₂ que pode chegar a 90% em comparação com os combustíveis fósseis. No que se refere à mudança do clima, portanto, o uso de biocombustíveis provoca uma redução substancial das emissões de GEE, contribuindo para mitigar o efeito estufa.

Geralmente, o processo de produção do etanol baseia-se na sacarificação do amido (hidrólise enzimática) ou extração dos açúcares (moagem ou difusão) seguidos de fermentação. O Quadro 1 sintetiza as rotas tecnológicas para produção de etanol, considerando as diferentes matérias-primas de interesse. A título de comparação com outro biocombustível, o quadro aponta como os mesmos atributos se comportam para o biodiesel.

Quadro 1 | Quadro geral dos biocombustíveis de primeira geração

Biocombustível	Matéria-prima	Redução na emissão de GEE	Custo de produção	Produção de biocombustível por hectare	Terras utilizadas
Etanol	Cana-de-açúcar	Alto	Baixo	Alto	Terras férteis
Etanol	Grãos (trigo, milho etc.)	Moderado a baixo	Moderado	Moderado	Terras férteis
Biodiesel	Óleos de sementes (canola, soja etc.)	Moderado	Moderado	Baixo	Terras férteis
Biodiesel	Óleo de palma	Moderado	Moderado a baixo	Moderado	Terras litorâneas e úmidas

Fonte: BNDES; CGEE (2008).

No caso da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, cultura plurianual, com ciclo de renovação do canavial em torno de cinco anos, sua maior capacidade de redução de CO₂ está ligada à utilização de resíduos abundantes do processamento da cana, por exemplo, bagaço e palha, como energia primária para sua transformação industrial. Desse modo, o balanço energético do processo agroindustrial é superior ao de outras matérias-primas, implicando maior sustentabilidade ambiental (Tabela 2).

Tabela 2 | Comparação das diferentes matérias-primas para produção de etanol de primeira geração

Matéria-prima	Balanço energético	Emissões evitadas (%)
Cana-de-açúcar	9,3	89
Milho	0,6-2,0	(30)-38
Trigo	0,97-1,11	19-47
Beterraba	1,2-1,8	35-56
Mandioca	1,6-1,7	63
Resíduos lignocelulósicos*	8,3-8,4	66-71

Fonte: BNDES; CGEE (2008).

* Estimativa teórica, processo em desenvolvimento.

Esse diferencial em redução de emissão de CO₂ conduziu a Agência de Proteção Ambiental (Environmental Protection Agency – EPA) dos EUA a qualificar o etanol de cana brasileiro como “biocombustível

avanzado”. Com essa decisão, a EPA reconhece o etanol de cana como o único biocombustível de primeira geração capaz de reduzir em mais de 60% as emissões de GEE.

Ademais, destaca-se ainda que a cana, por sua elevada produtividade agrícola, ocupa áreas proporcionalmente muito inferiores a culturas como milho e soja, minimizando a competição pelo uso da terra e eventuais impactos sobre a mudança do uso do solo e redução da cobertura florestal, tanto nacionalmente, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (Tabela 3), quanto mundialmente, como mostram os dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO).

Tabela 3 | Área plantada ou destinada à colheita, quantidade produzida e rendimento médio das lavouras temporárias e permanentes, Brasil, 2015

Principais produtos das lavouras temporárias e permanentes	Área plantada ou destinada à colheita (ha)	Quantidade produzida (t)	Rendimento médio (kg/ha)
Soja	32.206.387	97.464.936	3.029
Cana-de-açúcar	10.161.622	748.636.167	74.173
Milho	15.846.517	85.284.656	5.536
Outros	18.583.450		
Total	76.797.976		

Pode-se ver que, apesar de ocupar uma área de cerca de dez milhões de hectares, significativamente inferior às lavouras de soja e milho, a produção de cana-de-açúcar é bem superior, graças a seu maior rendimento por hectare. Ademais, a área cultivada de cana-de-açúcar para produção de etanol ocupa menos de cinco milhões de hectares, apenas 2% da área total dedicada ao setor agropecuário, atualmente em quase 230 milhões, dos quais quase 170 milhões destinados à pecuária.

O diferencial de produtividade da cana-de-açúcar também se verifica em nível global. Em 2014, das cinco principais culturas no mundo, a produção da cana-de-açúcar foi muito superior a qualquer outra cultura, sendo quase o dobro da segunda colocada (milho) apesar de ocupar um sétimo da área plantada (Tabela 4).

Tabela 4 | Principais culturas agrícolas mundiais, 2014

Cultura	Produção total (milhões t)	Área cultivada (milhões ha)	Rendimento (t/ha)
Cana-de-açúcar	1.884	27	69,5
Milho	1.038	185	5,6
Arroz	741	163	4,6
Trigo	729	220	3,3
Soja	307	118	2,6

Fonte: Faostat. Informações disponíveis em <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>.

Dificuldades para criação e expansão de mercado internacional

No plano internacional, alguns obstáculos têm dificultado a constituição de um mercado internacional de biocombustíveis e, em particular, de etanol na velocidade que seria desejável para o atendimento das metas de redução de emissões de CO₂. Uma equivocada dicotomia entre “biocombustíveis x alimentos” tem sido veiculada de forma indiscriminada, especialmente depois da crise da alta dos preços dos alimentos em 2008. A atuação externa do Brasil, respaldada em sólidos argumentos técnicos além de dados de mercado e produção, ajudou a demonstrar a inaplicabilidade desse equívoco ao caso do etanol de cana-de-açúcar. Mais do que isso, deixou também claro o fato de que não é possível até hoje comprovar que os biocombustíveis causem impacto significativo sobre o mercado de alimentos em escala global. Fatores como a especulação em mercados futuros, a alta dos preços dos insumos agrícolas e dos transportes vinculados ao preço do petróleo, o crônico desinvestimento em agricultura em boa parte do mundo (embora não no Brasil) e o aumento da demanda por alimentos provocada pelo crescimento acelerado da China e outras economias emergentes tiveram maior impacto sobre os preços dos alimentos. De toda forma, nos últimos anos, os preços já retomaram uma trajetória de estabilização, e até de queda, sem que houvesse redução da produção de biocombustíveis.

Além disso, a ampliação do uso de terras para fins energéticos também tem despertado críticas, sob o argumento que a produção de biomassa agrícola para a conversão em biocombustíveis, além de concorrer diretamente com a produção de alimentos, também gera efeitos indiretos negativos, como o deslocamento de outras culturas agrícolas para regiões de alto valor ambiental. Esse último caso, que ficou conhecido

internacionalmente como o efeito Iluc,⁶ é de tal forma controverso, que sequer existem metodologias aceitas capazes de calcular com precisão o Iluc e, mesmo que existissem, ainda restariam desafios importantes na obtenção de dados em diversas regiões do mundo, já que o conceito de efeito “indireto” tem necessariamente de abarcar impactos em nível global.

Se esse debate tem lugar mesmo na situação presente, em que a produção de biocombustíveis equivale a apenas cerca de 2% da demanda mundial de petróleo, pode-se esperar a persistência de questionamentos ao redor do globo diante de um aumento significativo dessa produção, em particular considerando que a matéria-prima para os biocombustíveis de primeira geração é produzida predominantemente em terras férteis. No entanto, avaliações independentes têm demonstrado, com base em sólidos métodos científicos, que existem boas condições para expandir a produção moderna e sustentável de bioenergia (SOUZA *et al.*, 2015). Com apoio em trabalhos do Comitê Científico sobre Problemas do Meio Ambiente (Scientific Committee on Problems of the Environment – Scope) e da FAO, estudo do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2016) afirma que

Today there is a sound base of data assessing the current and future requirements of arable land to sustainably produce food, feed and biomass for energy and materials, to assure that, from a global perspective, land is not a real concern (p. 18).

De fato

when properly implemented and managed, the production and use of liquid biofuels is not a threat to food security, biodiversity and ecosystem services. Indeed, the evolution of this agroindustry has been done mostly achieving environmental, economic and social

⁶ Sigla em inglês para impacto indireto da mudança do uso da terra.

benefits, such as improving soils, integrating production chains, delivering co-products, generating income and jobs (p. 20).

No plano doméstico, desenvolvimentos científicos e tecnológicos constantes aumentaram a produtividade de 3.500 litros de etanol por hectare para mais de seis mil litros por hectare (CORTEZ, 2016), assim como proporcionaram a geração de crescentes e relevantes excedentes de bioeletricidade para a rede elétrica, em uma trajetória de melhora permanente dos indicadores de sustentabilidade ambiental, social e econômica (CGEE, 2012). Apesar de, desde 2008, o setor sucroenergético estar encontrando dificuldades para expandir sua produtividade, que chegou a cair nos últimos cinco anos, assiste-se à progressiva melhoria das técnicas de plantio e ao amadurecimento dos sistemas de colheita mecanizada, entre outros requisitos para constituir uma oferta exportável suficiente para dar respaldo à implementação de metas ambiciosas de biocombustíveis em outros países; além disso, um mercado internacional “comoditizado” de etanol poderá demandar o desenvolvimento de novas tecnologias que elevem ainda mais a produtividade.

Com efeito, mesmo no Brasil, maior e mais avançado produtor mundial de etanol de cana-de-açúcar, com uma combinação extremamente favorável de recursos naturais para esse cultivo, a expansão consistente da produção e da produtividade precisa de inovações que proporcionem mudança de patamar, permitindo a transição de um modelo dominante sucroalcooleiro para uma agroindústria energética de grande porte, capaz de contribuir para a transição fóssil-baixo carbono. Essas inovações vêm sendo empreendidas pelas instâncias científicas, tecnológicas, empresariais e de apoio, como: Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), Instituto Agronômico (IAC), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), GranBio, Raízen, Vignis, fabricantes de máquinas e

equipamentos, BNDES, Finep e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp).

Em outros países – com menos recursos para a agricultura energética, mas que poderiam ajudar a conformar um mercado internacional de etanol –, o desafio é ainda maior para uma produção sustentável em grande escala, a menos que se produza uma revolução tecnológica e produtiva. A introdução de matérias-primas e processos inovadores, como a cana-energia, materiais lignocelulósicos e o etanol 2G, pode reforçar o desempenho positivo dos biocombustíveis, permitindo a mitigação climática de forma muito mais efetiva e melhorando, ao mesmo tempo, o desempenho econômico para atender a necessidades sociais mais amplas.

Nesse contexto, alguns países têm direcionado incentivos para bicom-
bustíveis avançados ou de segunda geração, como é o caso do E2G, cujo desenvolvimento vem recebendo vultosos investimentos desde o início da década passada, sobretudo nos EUA e na Europa e, mais recentemente, no Brasil, na China e na Índia.

Com efeito, depois de longo período de P&D, o E2G finalmente atingiu o estágio de plantas industriais, com seis unidades pioneiras em operação no mundo, das quais duas localizadas no Brasil. Os biocombustíveis avançados, em especial o E2G, em razão de utilizar resíduos agrícolas ou culturas energéticas de alta produtividade como fonte de matéria-prima, representam excelente oportunidade para alcançar uma participação mais relevante do uso de biocombustíveis em nível mundial, haja vista sua melhor aceitação por diversos países, sobretudo por sua propriedade de evitar emissões de CO₂ sem suscitar controvérsias sobre eventual competição com a produção de alimentos.

Biocombustíveis avançados: o caso do etanol 2G

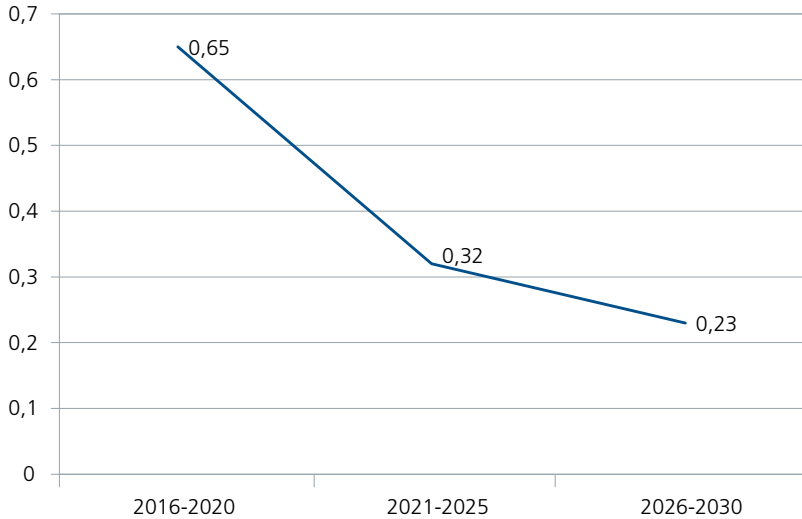
Potencial econômico e ambiental

Com a introdução da tecnologia do E2G, espera-se que as restrições ao aumento do consumo internacional de biocombustíveis sejam gradativamente reduzidas. Por ser obtido a partir de resíduos agrícolas ou florestais e de culturas energéticas altamente produtivas, como a cana-energia, que pode atingir mais de duzentas toneladas por hectare e pode ser plantada em terras degradadas, o E2G, quando tiver sua viabilidade econômica demonstrada, deverá ampliar o consumo global de biocombustíveis, afastando infundadas preocupações decorrentes da suposta competição pelo uso da terra.

Pelo lado da oferta, mesmo aqueles países com limitações de terras adequadas para produção de etanol de primeira geração poderão usar os resíduos da produção agrícola ou da silvicultura ou até resíduos urbanos para produção do E2G. Com mais países produtores e exportadores, haverá maior segurança de fornecimento, o que contribui para expansão do consumo e gera condições para criação de um mercado mundial de etanol.

Ademais, com a evolução das tecnologias do E2G, sobretudo em função da curva de aprendizagem e dos ganhos de escala, há horizonte para que ele se torne competitivo mesmo em relação à gasolina com preço do barril de petróleo relativamente baixo. Em 2015, o CTBE, em parceria com o BNDES, elaborou estudo sobre a evolução do custo de produção do E2G, obtido a partir do bagaço e da palha da cana, que demonstra que ele será competitivo mesmo se o preço internacional do barril de petróleo permanecer em patamar próximo a US\$ 40/barril (Gráfico 11).

Gráfico 11 | Custo médio de produção do E2G (US\$/litro)



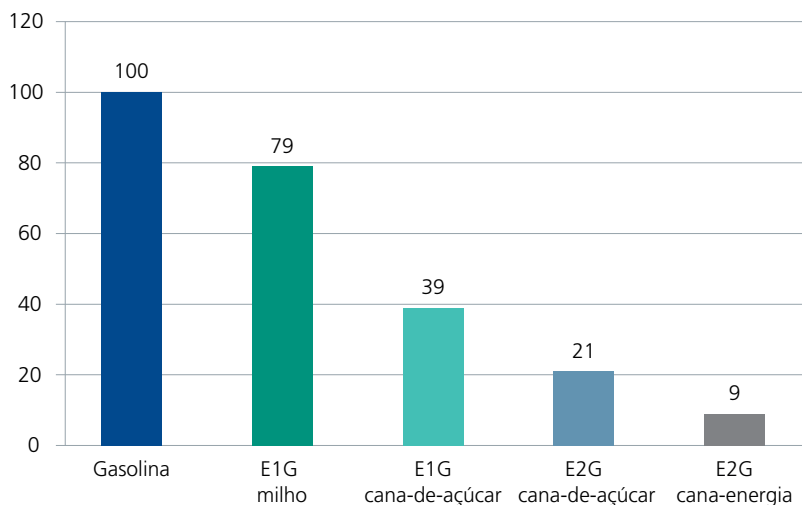
Fonte: Elaboração própria, com base em Milanez (2015).

A competitividade do E2G também evoluirá à medida que as oportunidades de sinergias e redução de custos por meio da integração da produção com o E1G forem sendo gradativamente exploradas e otimizadas. Tais oportunidades vão desde o compartilhamento de equipamentos e utilidades até o de despesas fixas, o que contribuirá para redução dos custos de investimento e operacionais do E2G. Nas palavras de Alfano *et al.* (2016),

2G production economics can compete on cost with 1G bioethanol and certain more expensive oil sources, particularly at locations where 2G operations can piggyback on existing 1G infrastructure, such as sugarcane bagasse feedstock or corn stover at 1G plants that already process sugarcane and corn, respectively. On a marginal-cost basis, 2G is already structurally more attractive than 1G because its running costs are lower.

Em estudo complementar,⁷ conduzido em parceria pela Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial (ABBI), CGEE e CTBE, foram realizadas análises de ciclo de vida do E2G, com o objetivo de determinar sua capacidade de redução de GEE. A partir das mesmas premissas utilizadas no estudo de avaliação econômica, conclui-se que o E2G, nas condições tecnológicas atuais, é capaz de reduzir as emissões da gasolina em até 80%. Com a entrada da cana-energia, cuja produtividade agrícola pode superar a da cana-de-açúcar em até três vezes, a capacidade de redução de emissões de CO₂ do E2G chegará a 90% (Gráfico 12).

Gráfico 12 | Potencial redução de CO₂ emitido pela gasolina (base 100)



Fonte: ABBI, CGEE e CTBE (2015).

⁷ Autores receberam estudo diretamente das instituições.

Capacidade de substituir gasolina em grande escala e impulsionar a bioeconomia

A fim de ilustrar o significativo potencial de redução de emissão de CO₂ derivada do consumo de gasolina por meio de sua substituição pelo E2G, foi realizada uma simulação do potencial de crescimento da utilização desse biocombustível até 2030, prazo definido para o cumprimento das metas de redução de emissões estabelecidas no âmbito do Acordo de Paris.

De forma a estabelecer um cenário mais factível no curto prazo, conservadoramente se optou pela utilização apenas do potencial de disponibilidade de biomassa das lavouras mundiais de milho (Tabela 5) e cana-de-açúcar (Tabela 6), sem assumir ganhos de produtividade dessas culturas em um horizonte de cerca de 15 anos. Quanto à cana, vale frisar que somente foi considerado o potencial exploratório da palha, desconsiderando a utilização do bagaço e da cana-energia.

Considerando a previsão de consumo mundial de gasolina de quase 1,5 trilhão de litros em 2030, estimada pela AIE, se for possível recuperar pelo menos 53% do potencial teórico do E2G de milho e cana, poder-se-ia mais do que dobrar a produção global do etanol e substituir 10% do consumo mundial de gasolina em 2030, sem a necessidade de aumento da área plantada, conforme exhibe a Tabela 7.

Ressalta-se que o aproveitamento desse potencial não será trivial, em função da complexidade de recolhimento da biomassa disponível, sobretudo pelos custos logísticos excessivos, e até mesmo em razão da possibilidade de usos alternativos mais valiosos para a biomassa. Contudo, frisa-se que, quanto mais consistentes e resilientes forem as políticas públicas e outros mecanismos de incentivo, maior tende a ser a

valorização dos biocombustíveis avançados e, conseqüentemente, maior o percentual do potencial de biomassa que se tornará aproveitável.

Portanto, pode-se afirmar que há um enorme potencial a ser explorado pelo E2G, tendo em vista a biomassa disponível mundialmente. A título de exemplo, Kim e Dale (2004) defendem um potencial bem superior de produção de E2G tomando como base um patamar de produção mundial de alimentos do início da década passada, portanto razoavelmente inferior ao atual. Segundo os autores, haveria aproximadamente 1,5 bilhão de toneladas de biomassa celulósica seca disponível para conversão em E2G, sendo possível produzir até 442 bilhões de litros por ano.

Tabela 5 | Potencial teórico de produção de E2G a partir de resíduos de milho

Produção de grãos em 2014 (milhões t)	Resíduos de biomassa seca (milhões t)	Resíduos de biomassa seca aproveitáveis (%)	Resíduos de biomassa seca aproveitáveis (milhões t)	Litros de E2G por tonelada de biomassa seca	Potencial teórico de produção de E2G (milhões l)
1.038	1.038	55	571	300	171.270

Fonte: Elaboração própria, com base em dados da FAO disponíveis em <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>, Kim e Dale (2004) e consulta a especialistas.

Tabela 6 | Potencial teórico de produção de E2G a partir de resíduos da cana-de-açúcar

Produção em 2014 (milhões t)	Toneladas de palha por tonelada de cana	Disponibilidade total de palha no campo (t)	Percentual de palha passível de recolhimento (%)	Palha recolhida (t)	Litros de E2G por tonelada de palha	Potencial teórico de produção de E2G (milhões l)
1.884	0,14	264	50	132	300	39.564

Fonte: Elaboração própria, com base em dados da FAO disponíveis em <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>, Kim e Dale (2004) e consulta a especialistas.

Tabela 7 | Potencial de substituição de gasolina por etanol

Estimativa da demanda de gasolina em 2030	
(A) Demanda mundial de gasolina	1.469 bilhões de litros de gasolina
Produção de E1G em 2015	
(B) Produção E1G	98 bilhões de litros de etanol
Estimativa do potencial teórico de produção de E2G em 2030	
(C) E2G milho	171 bilhões de litros de etanol
(D) E2G cana-de-açúcar (só palha)	40 bilhões de litros de etanol
<i>(E) Potencial teórico de produção de E2G (C + D)</i>	<i>211 bilhões de litros de etanol</i>
(F) Produção total de etanol (B+E)	309 bilhões de litros de etanol
(G) Potencial teórico de substituição na gasolina (F * 0,7 / A)	14,7%
Estimativa de aproveitamento do potencial teórico de produção de E2G para substituição de 10% da demanda de gasolina em 2030	
(H) Produção de etanol necessária (10% * A / 0,7)	210 bilhões de litros de etanol
(I) Necessidade de produção E2G adicional a E1G (H – B)	112 bilhões de litros de etanol
(J) Aproveitamento do potencial teórico de produção do E2G (I / E)	53,1%

Fonte: Elaboração própria, com base em EIA (2016).

De acordo com US DOE (2016), somente nos EUA, haveria potencial futuro de produzir anualmente pelo menos um bilhão de toneladas de biomassa seca até 2030, sem prejudicar o meio ambiente ou afetar negativamente a produção de alimentos ou outros produtos agrícolas.⁸

Com a evolução do E2G e a redução dos custos de produção, recolhimento e processamento da biomassa celulósica, abrem-se possibilidades que podem ir muito além da substituição de percentuais crescentes do consumo de gasolina, sobretudo pela viabilização econômica de outros biocombustíveis avançados, como biobutanol, biodiesel, bioquerosene e biometano. Desse modo, seria possível aumentar o consumo de biocombustíveis também nos veículos de ciclo diesel e na aviação, o que reduziria ainda mais as emissões de CO₂ do setor de transportes, incluindo o segmento de cargas e passageiros.

Ademais, a oferta de biomassa em custos competitivos permitirá a transição de outros segmentos que atualmente se baseiam em insumos fósseis, como a petroquímica, o que representa uma grande oportunidade para a produção, em uma mesma planta, de químicos verdes e E2G. O conjunto de produtos químicos, sobretudo aqueles com diversas aplicações – mais conhecidos como *building blocks* –, compreende uma grande diversidade de opções, como o ácido succínico, butadieno, farneseno, óleos especiais, entre outros (BAIN & COMPANY; GAS ENERGY, 2014).

Esse conjunto de atividades econômicas baseadas na utilização de modernas tecnologias de conversão de biomassa, que tem sido comumente denominado de bioeconomia, tem potencial de movimentar cerca

⁸ Embora o potencial de expansão da produção de E2G para outras biomassas além de resíduos de cana e milho seja muito grande, ele deve ser visto com cautela. Um dos motivos é os índices teóricos de disponibilidade e de qualidade de biomassa poderem se mostrar superiores aos de fato encontrados, uma vez instaladas as primeiras plantas comerciais locais. Outra razão é que as tecnologias que estão hoje sendo desenvolvidas para resíduos de cana e milho apresentam flexibilidade limitada com relação ao tipo de biomassa que pode ser utilizada.

de US\$ 4 trilhões até 2030, segundo estudo realizado pela Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial em 2016.⁹

Portanto, é preciso reconhecer o potencial disruptivo do E2G e sua capacidade de promover uma revolução em utilização de biocombustíveis, aumento de renda nas atividades agrícolas e criação de novos mercados industriais e de distribuição de combustíveis, além de proporcionar relevantes benefícios ambientais à humanidade. Contudo, o atual estágio dos biocombustíveis avançados, em especial o E2G, ainda exige a construção de soluções para os desafios de escalonamento produtivo, típico de tecnologias em evolução, conforme será discutido na próxima seção.

Estágio atual e desafios de escalonamento

As dificuldades encontradas para produção contínua do E2G têm um padrão aparentemente comum em todas as unidades comerciais pioneiras em operação pelo mundo. Ao contrário do que muitos apostavam, os maiores desafios não se concentram na etapa biotecnológica (hidrólise com uso de enzimas e fermentação de pentoses), mas sim na fase de pré-tratamento e movimentação da biomassa, em função da dificuldade de conseguir operar os equipamentos de forma estável e contínua.

Basicamente as soluções de engenharia que se aplicam sem grandes problemas a outras indústrias de processamento de fibras, como celulose e papel, ainda não obtiveram sucesso em processar grandes quantidades de palha de cana ou milho, que apresentam níveis excessivos de umidade, impurezas, abrasividade, heterogeneidade e baixa densidade, condições, de certa forma, inéditas e que têm exigido soluções pioneiras.

⁹ Os dados desse estudo foram obtidos por e-mail, em 9 de fevereiro de 2017.

Ultrapassada a barreira de estabilização da etapa mecânica, deverão ser enfrentados os desafios de aprimoramento dos processos biológicos de hidrólise e fermentação, que, apesar de estarem alcançando resultados satisfatórios, ainda precisam atingir melhores rendimentos, necessários para uma redução substancial de custos.

Portanto, as atuais plantas comerciais de E2G, apesar de terem escala industrial, podem ser consideradas unidades com caráter experimental, em função das incertezas tecnológicas relevantes ainda existentes. Ao mesmo tempo, a escala industrial exige elevados investimentos, não apenas na construção e operação, mas também, principalmente, nas eventuais mudanças de desenho de processo e alterações de equipamentos, o que é natural e esperado na dinâmica de aprendizado tecnológico.

Segundo Bomtempo e Soares (2016), as unidades comerciais pioneiras de E2G hoje em início de operação podem ser vistas como plantas *first-of-a-kind* que têm dificuldades de encontrar competências e apoio no mercado para solução dos problemas de *startup* não antecipados. Isso quer dizer que cabe aos produtores estruturar e coordenar esse processo e eventualmente realizar esforços de pesquisa e desenvolvimento para vencer os desafios colocados.

Assim, em função de ainda persistirem desafios de escalonamento cuja superação depende de soluções inéditas de engenharia, não tem havido incentivo de mercado para atrair novos investidores em número e volume suficientes para adensar a cadeia produtiva do E2G, em especial o fornecimento de enzimas e equipamentos, o que contribuiria para sua evolução tecnológica, o aumento de escala e a redução de custos.

De acordo com Alfano *et al.* (2016, p. 3),

At the moment, 2G does not fit the usual risk profile for investors. Those that are willing to take risks, such as venture-capital funds, tend to see 2G as too capital intensive.

Investors with abundant capital but less appetite for risk, such as pension funds, view it as too uncertain. Mainstream investors, believing that they have more attractive and less risky alternatives, have resisted 2G investments.

Nesse contexto, pode-se dizer que, como o E2G encontra-se no estágio mais crítico de seu desenvolvimento e, dado o caráter estratégico e singular do desenvolvimento dos biocombustíveis avançados como alternativa para redução de emissões do setor de transportes e para o avanço da bioeconomia, é crucial que países e empresas interessadas promovam seu desenvolvimento de forma cooperativa, gerando um ambiente de políticas públicas e privadas de longo prazo, estáveis, resilientes e coordenadas. Essa situação não é peculiar ao Brasil, pelo contrário: a combinação de potencial, escala de investimentos necessários e perfil de risco afeta toda essa indústria nascente ao redor do mundo, razão pela qual a intensificação do debate e da cooperação internacionais poderia contribuir para chamar a atenção dos tomadores de decisão, públicos e privados, aos desafios que se interpõem à conformação de uma bioeconomia sustentável em escala global.

Cooperação internacional para energias renováveis: a lacuna dos transportes e o histórico da diplomacia brasileira na promoção dos biocombustíveis

Mesmo antes da assinatura do Acordo de Paris, o mundo tem assistido a uma intensa movimentação internacional para promover a cooperação, o diálogo e a publicidade (*advocacy*) em torno de soluções para uma

economia de mais baixo carbono e um padrão de desenvolvimento mais sustentável. Essa movimentação tem sido fragmentada e desorganizada, seguindo as características peculiares da governança global do setor de energia, com a criação de múltiplas iniciativas e organizações, em âmbito regional e multilateral, dedicadas a diferentes partes do problema, e muitas vezes com atuações superpostas.

O século XX, especialmente em sua segunda metade, viu a consolidação progressiva de uma governança internacional, centrada no sistema das Nações Unidas e suas múltiplas agências, com o objetivo de promover a cooperação internacional e o estabelecimento de regras, limites e ações concertadas entre os Estados Nacionais. Com todas suas limitações e lacunas, entidades como a Organização Internacional do Trabalho (OIT), a Organização Mundial da Saúde (OMS), a FAO e o Conselho de Segurança das Nações Unidas (CSNU) e instrumentos multilaterais formais como a Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Flora e da Fauna Selvagens em Perigo de Extinção (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora – Cites), a própria Convenção-Quadro das Nações Unidas para a Mudança do Clima (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC), entre outros, lograram estabelecer ao mesmo tempo um regime regulatório internacional e um lócus privilegiado para o debate internacional legítimo em setores como a segurança, a agricultura, os direitos humanos, as relações trabalhistas, a cultura, a alimentação e o meio ambiente.

No campo energético, porém, por diversos motivos, o mesmo não aconteceu. A governança existente para energia foi consolidada nos anos 1970, com a crise do petróleo e a conformação da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep), cartel que procura exercer influência no preço de mercado do petróleo por meio do alinhamento

de produção entre os países associados. Essa conjuntura provocou, em reação, a conformação da AIE, que, ao contrário do que o nome parece indicar, nasceu com abrangência muito limitada, como um clube dos países desenvolvidos importadores de petróleo, vinculado, por sua vez, à OCDE.¹⁰ Como forma de mediar as disputas entre ambos, estabeleceu-se o Foro Internacional de Energia (FIE). Trata-se, portanto, de um arranjo fragmentado, baseado no petróleo, e cujo propósito não foi desenhado para lidar adequadamente com a necessidade de apoiar a necessária transição energética atual.

Na falta de uma organização central no sistema internacional de governança para energia, com amplo mandato e legitimidade universal, não surpreende, portanto, que a chegada do século XXI tenha sido acompanhada pelo surgimento de inúmeras iniciativas internacionais fragmentadas, com composições, formas de funcionamento e mandatos bem diferentes, tentando lidar com as questões de como promover maior utilização de fontes energéticas alternativas aos combustíveis fósseis e o uso mais eficiente da energia.

Entre essa nova geração de iniciativas e organizações internacionais, podem-se mencionar, com seus respectivos anos de lançamento, a Rede de Políticas para Energia Renovável (Renewable Energy Network for the 21st Century – REN21, 2005), a Parceria Global para a Bioenergia (Global Bioenergy Partnership – GBEP, 2006), a Agência Internacional de Energias Renováveis (International Renewable Energy Agency – Irena, 2009), a Ministerial de Energia Limpa (Clean Energy Ministerial – CEM, 2009), a Parceria Internacional para Cooperação em Eficiência

¹⁰ De acordo com IEA (2015b), “*The International Energy Agency came into being in 1974 in response to the need for the major energy consuming countries to co-operate effectively on a broad spectrum of energy policies and most urgently on security of oil supply. The origins of the Agency may be found in the fundamental changes in economics and politics associated with the international oil market during the period leading up to the Middle East War crisis of 1973-1974 and the industrial countries’ responses to those changes*”.

Energética (International Partnership for Energy Efficiency Cooperation – IPEEC, 2009), o Fórum das Grandes Economias sobre Energia e Clima (Major Economies Forum on Energy and Climate – MEF, 2009), a Parceria para Energia e Clima das Américas (Energy and Climate Partnership of the Americas – ECPA, 2010), o Energia Sustentável para Todos (Sustainable Energy for All – SE4All, 2011), o Grupo de Trabalho para Sustentabilidade Energética do G-20 (G20 Energy Sustainability Working Group – G20 ESWG, 2013), a Missão Inovação (Mission Innovation – MI, 2015), a Aliança Geotérmica Global (Global Geothermal Alliance, 2015), a Aliança Solar Internacional (International Solar Alliance – ISA, 2016), entre outras.

Uma característica comum à maior parte dessas iniciativas é o foco sobre a eficiência energética e sobre o setor de geração de energia elétrica. A atenção, traduzida em conferências, seminários, *webinars*, relatórios e estudos e comunicados, tem sido acompanhada de políticas nacionais de apoio e de investimentos cada vez maiores nessas áreas. Conforme o último Renewable Global Status Report, da REN21, os investimentos em capacidade adicional de energia renovável, puxados basicamente pela energia eólica e fotovoltaica, superaram, em 2015, os investimentos em energia fóssil, pelo sexto ano consecutivo.¹¹

Desse modo, a atenção internacional e o nível de investimentos em energia limpa têm sido muito inferiores para o setor de transportes, que, como resultado, é o mais resistente à “descarbonização” na maior parte dos países. Contudo, esse setor, movido basicamente a combustíveis líquidos de origem fóssil, é responsável por cerca de um quarto das emissões globais de CO₂.

¹¹ “For the sixth consecutive year, renewables outpaced fossil fuels for net investment in power capacity additions” (RGSR, 2016, p. 17).

Conforme o que se discutiu previamente neste artigo, embora os veículos elétricos já sejam uma realidade, o avanço mais lento do que se previa na redução do custo e do peso das baterias e a necessidade de uma completa reformulação da infraestrutura de abastecimento tornam mais lento e caro o ritmo de adoção dessa tecnologia. Atualmente, ela movimenta menos de 1% da frota mundial de veículos.

Crucialmente, a utilização do carro elétrico é apenas tão “limpa” na pegada de carbono quanto a fonte da energia elétrica utilizada para recarregá-lo. Todos esses fatores, somados à relativamente lenta adoção dessa tecnologia, podem fazer com que seus benefícios climáticos demorem tempo superior ao necessário para o atingimento das metas alinhadas em Paris.

Em razão da complexidade desse desafio, somada aos diferentes estágios de evolução das tecnologias renováveis para transporte, entende-se que podem ser necessárias diferentes soluções ao longo do tempo. Portanto, precisa-se de soluções mais rápidas para o cumprimento das metas climáticas adotadas em Paris, especialmente na tentativa de cumprir a meta principal, a de manter o aumento médio de temperatura global bem abaixo dos 2° C. Para que o alcance dessa meta seja viável, as principais condições são: (i) a existência de uma oferta global segura e sustentável de biocombustíveis, em escala suficiente e por produtores geograficamente diversificados; e (ii) um mercado global acessível e relativamente livre desse produto. Não por acaso, esses têm sido justamente os principais objetivos da atuação externa do Brasil no campo dos biocombustíveis.

A política nacional de biocombustíveis surgiu nos anos 1970 como forma de garantir a segurança energética do Brasil perante as incertezas provocadas pelas flutuações do mercado internacional de petróleo. A essa motivação inicial, somaram-se, progressivamente, os imperativos

de geração de valor, emprego e renda no campo e na agroindústria, bem como a preservação do meio ambiente, a melhor qualidade do ar e o combate à mudança do clima.

É bem conhecida a intensa atuação externa do Brasil em prol da constituição de um mercado internacional de etanol, a que se convencionou chamar de Diplomacia do Etanol. O termo popularizou-se a partir de encontro entre os então presidentes Luiz Inácio Lula da Silva e George W. Bush, em 2007, quando assinaram o Memorando de Entendimento Brasil-EUA para Avançar a Cooperação em Biocombustíveis.

Essa linha de atuação diplomática do país teve e tem como principal objetivo criar um mercado internacional “comoditizado” de etanol, como forma de projetar mundialmente a política nacional de biocombustíveis, assegurar o suprimento contra variações ocasionais de produção doméstica, estabilizar preços e criar oportunidades de exportação não apenas de etanol, como também de produtos e serviços relacionados a essa cadeia produtiva. Essa política também se presta a despertar a atenção mundial para o benéfico potencial de transformação dos biocombustíveis, além de oferecer a países tradicionalmente exportadores de matéria-prima a oportunidade de agregar valor a sua produção exportável.¹²

Desde 2006, quando foi criada área específica no Itamaraty para o tratamento do tema energia, essa atuação tem obtido conquistas para o Brasil, entre as quais o reconhecimento formal do etanol de cana-de-açúcar brasileiro como “biocombustível avançado” pelos EUA, em 2010. Esse ato teve significado tanto simbólico quanto para o potencial de exportações brasileiras àquele país. Vale mencionar, a título de

¹² Outro marco importante dessa estratégia foi a elaboração do livro *Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável* (BNDES; CGEE, 2008), que reuniu informações técnicas a respeito das vantagens da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de etanol. Publicado em 2008 para a Conferência Internacional de Biocombustíveis, realizada em São Paulo, foi traduzido para o inglês, francês e espanhol.

exemplo, que, em 2014, o etanol de cana respondeu por 68,7% do volume de biocombustíveis avançados misturados à gasolina nos EUA, chegando a 80,1% entre janeiro e outubro de 2015. Outro exemplo foi a conformação do Foro Internacional de Biocombustíveis (FIB), em 2007, hoje já extinto, que, entre outras atividades, logrou avançar na harmonização de regulamentação técnica de padronização de biocombustíveis entre Brasil, EUA e Europa. A ação externa brasileira também foi instrumentalizada pela assinatura de mais de cinquenta atos bilaterais e multilaterais de cooperação na área de energias renováveis, em sua maior parte com países africanos, sul e centro-americanos e caribenhos. Menciona-se, ainda, o apoio na elaboração de estudos de viabilidade para produção de bioenergia em diversos países africanos e da América Central e Caribe. E, por último, que a redução e, eventualmente, a eliminação de barreiras ao comércio de biocombustíveis também têm sido objetivos buscados pela diplomacia brasileira para promover a comoditização dos biocombustíveis.

Entretanto, observa-se, com alguns dos parceiros brasileiros no projeto de constituição de um mercado de biocombustíveis, incluindo os EUA e a União Europeia, a preocupação, veiculada por alguns setores, com a dificuldade de expandir significativamente a produção de biocombustíveis diante das limitações de recursos naturais, como terra e água, especialmente diante do imperativo de expandir a produção de alimentos para atender a uma população global crescente e de hábitos alimentares cada vez mais diversificados. Não por acaso, uma das poucas iniciativas internacionais dedicadas à questão da bioenergia, a já mencionada GBEP, apesar de ter nascido com um amplo mandato de promoção da bioenergia, terminou concentrando-se em questões relacionadas à sustentabilidade, dando pouca ênfase ao exame e à promoção das políticas e incentivos necessários para fomentar a produção em larga escala e superar gargalos tecnológicos, de competitividade e logística de distribuição.

Em síntese, em 2016, o cenário da cooperação internacional na área de energias renováveis reunia:

- a fragmentação da governança internacional de energia;
- a necessidade de acelerar a transição energética global;
- a relativa e injustificada menor atenção ao setor de transportes e às soluções em bioenergia; e
- o surgimento de novas e promissoras tecnologias de transformação da biomassa.

Foi com esse pano de fundo que o governo brasileiro – com a liderança do Ministério das Relações Exteriores, em colaboração com outros órgãos, incluindo o Ministério do Meio Ambiente, o Ministério de Minas e Energia (MME), o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (Mdic) e o BNDES – concebeu, planejou, negociou e executou, com grande êxito, em novembro de 2016, na Cúpula do Clima de Marraquexe (COP 22), o lançamento da Plataforma para o Biofuturo. Trata-se de iniciativa internacional para cooperação, diálogo e troca de ideias e experiências para a promoção dos biocombustíveis avançados e da bioeconomia, detalhada a seguir.

A Plataforma para o Biofuturo

Antecedentes

As primeiras discussões que vieram a originar essa iniciativa remontam a 2014, que marcou o esforço diplomático conjunto das presidências da COP 20 (Peru) e COP 21 (França) para ressaltar a importância do

aumento dos investimentos em soluções de baixo carbono e do reforço da cooperação internacional. Nesse contexto, foi lançada em Lima, em dezembro de 2014, a Agenda de Ação Lima-Paris, com vistas a dar maior destaque, durante a COP 21, aos engajamentos de países e empresas, por meio de parcerias público-privadas, no desenvolvimento de tecnologias avançadas de baixo carbono.

No mesmo período, foram inauguradas no Brasil as duas plantas pioneiras de produção de E2G, iniciativas inovadoras que resultaram do Plano de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS), lançado em 2011, que proporcionou o apoio financeiro de BNDES e Finep a parcerias entre instituições de ciência e tecnologia (ICT) e empresas líderes no desenvolvimento da biotecnologia industrial no Brasil e no mundo.

Assim, no intuito de ressaltar oportunidades advindas da economia de baixo carbono e destacar a agenda brasileira de combate à mudança do clima por meio de inovações tecnológicas voltadas para o desenvolvimento sustentável, CGEE, BNDES e Itamaraty formularam proposta à Presidência Francesa da COP 21, para a exposição em Paris do esforço realizado no Brasil para o desenvolvimento do E2G em escala industrial.

As tratativas diplomáticas conduzidas pelo Itamaraty culminaram com a realização de apresentações, pelo BNDES, sobre a contribuição brasileira para redução de emissões no setor de transportes, representada pelo pioneirismo e liderança no desenvolvimento do E2G. Em uma dessas apresentações, foi sugerida, pelo Banco, a proposta de criação de uma aliança internacional dedicada ao desenvolvimento dos biocombustíveis avançados, ideia que foi recebida de forma positiva por diversos países e instituições multilaterais. Assim, ao longo de 2016, o Itamaraty, em parceria com diversos ministérios e organizações do setor privado, buscou

detalhar a natureza e os objetivos dessa aliança, que culminou com o lançamento da Plataforma para o Biofuturo na COP-22, realizada em Marraquexe, em novembro de 2016.

Motivações e objetivos

Considerando-se: o estágio crítico do desenvolvimento dessas tecnologias potencialmente transformadoras, como as do E2G; a necessidade premente de buscar soluções de curto e médio prazos para reduzir a pegada de carbono do setor de transportes; e a atenção insuficiente, na agenda internacional, tanto para essa necessidade quanto para essas novas soluções, a constituição da Plataforma para o Biofuturo surge, assim, como resposta a esses desafios e como forma de preencher uma lacuna nas discussões globais sobre soluções para a mudança do clima no setor de transportes, criando oportunidades para o Brasil e demais países parceiros.

O Itamaraty logrou mobilizar o interesse de outros 19 países para esse empreendimento, entre os quais nações centrais para a expansão dos biocombustíveis e para o desenvolvimento de novas tecnologias, como EUA, China, Índia, França, Reino Unido¹³ e Itália. O conjunto de países fundadores inclui, além do Brasil e dos países citados, Argentina, Canadá, Dinamarca, Egito, Filipinas, Finlândia, Indonésia, Marrocos, Moçambique, Países Baixos, Paraguai, Suécia e Uruguai.

A estratégia que levou ao lançamento da Plataforma para o Biofuturo tem dois grandes componentes. O primeiro é ressaltar a contribuição que os biocombustíveis e a bioeconomia podem dar para que os países alcancem suas metas de redução de emissões de carbono, especialmente no setor de transportes. O segundo componente da estratégia de constituição da Plataforma para o Biofuturo foi a valorização dos recentes

¹³ Neste artigo, Reino Unido é tratado como um só país.

avanços tecnológicos, como o E2G e a abertura do enfoque, de modo a incorporar novas formas de biocombustíveis de baixo carbono.

Esses avanços podem tornar a produção de biocombustíveis em larga escala uma atividade viável para diversos países que, de outra forma, não reuniriam as condições adequadas para repetir a experiência brasileira e estadunidense. O fato de novos biocombustíveis como o E2G poderem ser produzidos a partir de palha e de outros resíduos agrícolas e urbanos não comestíveis desconstrói as infundadas preocupações relacionadas à competição com a produção de alimentos, além de permitir a abertura de oportunidades de produção e exportação em muitos países antes avessos aos biocombustíveis. Exemplos são países como China e Índia, que, até pouco tempo atrás, demonstravam certo receio na adoção de programas de expansão em larga escala do consumo doméstico de biocombustíveis e hoje são parceiros na Plataforma do Biofuturo.

A formatação da iniciativa partiu do exame e do diagnóstico, ressaltados anteriormente, sobre o estado fragmentado da governança internacional de energia, especialmente no que diz respeito às energias renováveis. Não havendo uma única organização internacional com legitimidade universal sobre a qual atuar para enfatizar os objetivos almejados, optou-se pela constituição de uma nova iniciativa que, sendo como um *hub* para os biocombustíveis avançados e o setor de transportes, pudesse estabelecer parcerias com os atores e organizações existentes, de modo a elevar o perfil da atenção dedicada ao problema e a suas possíveis soluções, evitando a duplicação de esforços.

Essa plataforma internacional deverá alavancar os esforços e as iniciativas que vêm sendo movidos por organizações internacionais, sociedade civil e setor privado em prol dos biocombustíveis avançados e da bioeconomia; porém, sua característica central será a liderança pelos países-membros, o que lhe dará legitimidade e influência como foro

de debate de políticas públicas. É essa característica que a diferencia de outras iniciativas de propósito similar, mas cuja origem e condução encontram-se primordialmente no setor privado, como é o caso da Below50, aliança de corporações interessadas na promoção em grande escala de combustíveis com ao menos 50% de economia de carbono em relação aos combustíveis fósseis tradicionais.

Por meio de um canal semi-institucionalizado como a Plataforma para o Biofuturo, uma coalizão de atores interessados poderá construir um diálogo propositivo, com legitimidade internacional, sobre políticas de incentivo, financiamento, remuneração por serviços ambientais, padronização, pesquisa, desenvolvimento e práticas de sustentabilidade relacionadas à bioeconomia e biocombustíveis avançados. A intenção é que esse debate – sem a necessidade de negociação de tratados formais ou metas vinculantes, que dificultariam a adesão abrangente de países – acabe provocando transformações regulatórias domésticas e sinalizações positivas a investidores potenciais que, juntas, contribuam para a almejada aceleração dos investimentos comerciais no E2G e em outros combustíveis de baixo carbono e demais produtos da bioeconomia moderna.

Considerações finais

Este artigo buscou mostrar que a descarbonização do setor de transportes, apesar de indispensável para o atingimento das metas internacionais de redução de emissões de GEE, alinhada por 195 países no Acordo de Paris, não tem recebido a atenção adequada dos diversos mecanismos de cooperação internacional dedicados a estudar e implementar soluções energéticas sustentáveis e de baixa emissão.

Com efeito, entre as alternativas buscadas para promover a transição para um sistema de transportes de baixo carbono, maior destaque é para o controle dos níveis de emissão de poluentes e de consumo de combustível e para a eletrificação veicular. Sem questionar o mérito de tais soluções, que merecem ambas atenção e apoio para sua plena materialização, sua contribuição para o cumprimento da meta de 2°C pactuada em Paris é insuficiente, particularmente quanto a prazo.

Para isso, é necessário retomar a discussão sobre a ampliação do consumo global de biocombustíveis, cujo avanço tem sido limitado em razão das preocupações que ainda persistem em alguns países centrais, sobretudo no que se refere tanto às polêmicas em torno do equivocado dilema “biocombustíveis x alimentos” quanto à sustentabilidade de um aumento significativo da competição pelo uso da terra.

Ainda que, no caso do Brasil, tais polêmicas possam ser completamente afastadas, uma vez que a área cultivada de cana-de-açúcar para produção de etanol ocupa menos de cinco milhões de hectares, apenas 2% da área total dedicada ao setor agropecuário, é preciso reconhecer que, como o consumo de biocombustíveis ainda é dependente de políticas públicas, como mandatos de mistura, a persistência dessas preocupações motiva discussões sobre a imposição de restrições ao uso de biocombustíveis produzidos com matérias-primas alimentares.

Com o advento do E2G, que, depois de longo período de P&D, finalmente atingiu a escala de plantas industriais, abre-se nova oportunidade para ampliação do consumo mundial de etanol, haja vista o maior nível de aceitação do E2G entre diversos países. Esse reconhecimento deve-se, sobretudo, à elevada capacidade do E2G de evitar emissões de CO₂ e à utilização de resíduos agrícolas como fonte de matéria-prima. Do ponto de vista da oferta, é esperada a entrada de novos países produtores e exportadores, na medida em que países sem condições

adequadas para produção sustentável de E1G, mas que dispõem de resíduos agrícolas ou florestais, poderão se lançar na produção do E2G (uma vez superadas as respectivas barreiras tecnológicas à produção a partir desses resíduos), o que deve contribuir para a criação de um mercado global.

Contudo, o E2G até então enfrenta desafios de escalonamento importantes, para os quais ainda será necessário o desenvolvimento de soluções inéditas de engenharia, o que não tem contribuído para atrair novos investimentos em volume suficiente para que a cadeia produtiva do E2G se adense, sobretudo pelo estabelecimento local da produção de seus principais insumos, como enzimas e equipamentos, o que seria fundamental para aumento de escala e redução de custos.

Nesse contexto, é preciso celebrar a criação da Plataforma para o Biofuturo, iniciativa de vinte países que, tal como o Brasil, buscam uma solução efetiva, escalável e de rápida implementação para a descarbonização do setor de transportes e avanço da bioeconomia. Com a colaboração internacional, políticas públicas consistentes e resilientes certamente terão mais chances de ser implementadas ou ampliadas, em nível nacional e internacional, o que contribuirá para aumentar o fluxo de investimentos e intercâmbio tecnológico, acelerando o desenvolvimento dos biocombustíveis avançados, bem como a oferta de outros bioprodutos e biomateriais em substituição aos de origem fóssil.

Por fim, tal como preconizado pelos compromissos assumidos na COP 21, será possível intensificar o combate às alterações climáticas por meio da transição para um setor de transportes de baixo carbono, abrindo caminho para uma bioeconomia moderna e sustentável.

Referências

ALFANO, S. *et al.* The future of second-generation biomass. *McKinsey Sustainability & Resource Productivity*, nov. 2016. Disponível em: <<http://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/the-future-of-second-generation-biomass>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

BAIN & COMPANY; GAS ENERGY. *Potencial de diversificação da indústria química: Químicos com base em fontes renováveis*. 2014. Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br/pdf/estudos-bndes.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2017.

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL; CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. *Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro, 2008. 314 p.

BOMTEMPO, J. V.; SOARES, G. Por que as primeiras plantas comerciais de etanol 2G são quase experimentais? *Blog Infopetro*, 19 out. 2016. Disponível em: <<https://infopetro.wordpress.com/2016/10/19/por-que-as-primeiras-plantas-comerciais-de-etanol-2g-sao-quase-experimentais/>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

BP – BRITISH PETROLEUM. *BP Energy Outlook 2016 Edition*. 2016. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2016/bp-energy-outlook-2016.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2016.

CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. *Sustainability of sugarcane bioenergy*. 2012. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Book_sustainably_updated_3a_final06072012_9534.pdf/059bf982-ec47-4ce8-9ac1-dc53f093d4cf?version=1.4>. Acesso em: 5 dez. 2016.

_____. *Second Generation Sugarcane Bioenergy & Biochemicals*, 2016. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/2395_E2G+CGEE+2016+vf.pdf/83c16e65-d55f-46ee-820b-e556771bcbb6?version=1.0>. 2016. Acesso em: 10 nov. 2016.

CORTEZ, L. A. B. *Proalcool 40 anos (1975-2015)*. 2016. São Paulo: Edgard Blucher, 2016.

EIA – U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *International Energy Outlook 2016*. 2016. Disponível em: <<http://www.eia.gov/outlooks/ieo/>>. Acesso em: 20 set. 2016.

GFEI – GLOBAL FUEL ECONOMY INITIATIVE. *Global Fuel Economy Trends*. 2013. Disponível em: <<https://www.globalfueleconomy.org/media/45138/fuel-economy-leaflet.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Produção Agrícola Municipal – Culturas Temporárias e Permanentes*. 2015. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2015_v42_br.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2017.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *CO₂ Emissions – From Fuel Combustion*. 2015a. Disponível em: <[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO₂EmissionsFromFuelCombustionHighlights2015.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2015.pdf)>. Acesso em: 3 out. 2016.

_____. *The History Of The International Energy Agency The First Twenty Years*. 2015b. 27 p. Disponível em: <<https://www.iea.org/media/about/ieahistory.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2017.

KIM, S.; DALE, B. E. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass and Bioenergy*, v. 6, n. 4, p. 361-375, abr. 2004.

MILANEZ, A. Y. *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*, Rio de Janeiro, n. 41, p. [237]-294, mar. 2015.

REN21. *Renewables 2016 Global Status Report*. Disponível em: <[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO₂EmissionsFromFuelCombustionHighlights2015.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2015.pdf)>. Acesso em: 3 out. 2016.

SOUZA, G. M. *et al.* (ed.). *Bioenergy & sustainability: bridging the gaps*. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), São Paulo, 2015.

U.S. DOE – U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *2016 Billion-Ton Report: Advancing Domestic Resources for a Thriving Bioeconomy, Volume 1: Economic Availability of Feedstocks*. 2016. Leads: M. H. Langholtz, B. J. Stokes

and L. M. Eaton, ORNL/TM-2016/160. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN. 448p. doi: 10.2172/1271651. Disponível em: <<http://energy.gov/eere/bioenergy/2016-billion-ton-report>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

VAZ, L. F. H.; BARROS, D. C.; CASTRO, B. H. R. Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 41, p. [295]-344, mar. 2015.

_____. Automotivo. *Panoramas Setoriais Mudanças Climáticas*, Rio de Janeiro, p. [25]-26, 2016.