

Novos desafios para a agroindústria canavieira no Brasil¹

Kalid Ahmad Yusuf²
Carlos Eduardo Caldarelli³

Resumo – A emergência de uma economia de baixo carbono tem impulsionado a questão energética mundialmente. No caso brasileiro, a agroindústria canavieira possui grande potencial e proeminência no conjunto de fontes renováveis alternativas às fósseis. Diante de tal desafio, o objetivo deste estudo é compreender as atuais limitações que o setor sucroenergético enfrenta e delinear o potencial da produção de energia renovável no Brasil, com foco no processo de cogeração bioenergética e no etanol de segunda geração (2G), ambos subprodutos da cultura canavieira. O estudo conclui que o segmento possui grande capacidade de geração energética para as próximas décadas e destaca a relevância de incentivos às novas tecnologias de produção, como o etanol 2G e a bioeletricidade.

Palavras-chave: bioenergia, biomassa, cana-de-açúcar.

New challenges for the sugarcane industry in Brazil

Abstract – The low carbon economy has pushed the discussion about energy worldwide. In the Brazilian case the sugarcane industry has a great potential as an alternative to the fossil fuels. In face of this challenge, this paper aims to better understand the bottlenecks of the sugarcane industry to expand the production in Brazil and to highlight the role and the potential of the bioelectricity cogeneration and the second generation ethanol (2G) throughout. The main conclusions pointed out an important potential of this sector in terms of energy production in Brazil for next decades, furthermore, highlighted the necessity to improve the second generation ethanol and bioelectricity cogeneration technologies in Brazil.

Keywords: bioenergy, biomass, sugarcane.

Introdução

A experiência histórica nacional de combate às crises do petróleo na década de 1970, com programas como o ProÁlcool, proporcionou ao Brasil uma posição de destaque na produção bioenergética mundial. Atualmente, o País conta

com uma matriz energética composta por 41,2% de fontes renováveis de energia, em comparação aos 9,4% nos países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (EPE, 2016a). Do total de fontes renováveis da matriz energética brasileira, 16,9% são dos produtos do setor sucroenergético (etanol

¹ Original recebido em 5/12/2017 e aprovado em 5/3/2018.

² Mestrando em Economia Regional. E-mail: kalidyusuf94@gmail.com

³ Professor do departamento de Economia e do Mestrado em Economia Regional da Universidade Estadual de Londrina. E-mail: carlos.caldarelli@gmail.com

e subprodutos da cana), o que demonstra a expressividade do segmento (EPE, 2016a).

Assim, por causa das preocupações mundiais com a emissão dos gases causadores do efeito estufa (GHG) e da crescente crise energética, dada a possibilidade de esgotamento das fontes não renováveis, buscam-se meios que tanto combatam o fenômeno do aquecimento global quanto supram as necessidades de construção de uma matriz energética limpa e renovável. O setor sucroenergético brasileiro apresenta-se como alternativa.

Desse modo, o objetivo deste trabalho é mostrar a importância do setor sucroenergético brasileiro na tomada de uma matriz energética sustentável e economicamente viável e analisar o potencial produtivo dos novos produtos da cultura canieira, com foco no processo de cogeração de energia elétrica e no etanol celulósico (segunda geração ou 2G).

A agroindústria canieira e os desafios da energia no Brasil

As possibilidades de futura escassez mundial de fontes não renováveis de energia, aliadas à preocupação com a emissão de gases poluentes do efeito estufa (GHG) e o alinhamento às políticas ambientais, tornam necessária a busca por fontes de energia limpas e renováveis e impulsionam a modificação da matriz energética no processo que se convencionou chamar de descarbonização da matriz energética. O setor sucroenergético e seus novos produtos derivados da cana-de-açúcar, como a produção da bioeletricidade e do etanol 2G, vem se mostrando uma solução do ponto de vista socioeconômico e ambiental (Sousa & Macedo, 2010). O Brasil é pioneiro no uso de biocombustíveis e no uso de fontes alternativas, sobretudo no setor sucroenergético, em que se deve citar a pioneira experiência, iniciada em 1975, do ProÁlcool (Kloc, 2016).

A transformação da agroindústria canieira no Brasil para a produção de energia ocorreu

há cerca de 40 anos, com o Programa Nacional do Álcool (ProÁlcool), no cenário dos choques do petróleo (1973 e 1979). Fez-se necessário que o governo buscasse maneiras de substituir os produtos derivados do petróleo, e o setor passou a produzir, além de açúcar, também o etanol (Moraes & Zilberman, 2014).

Atualmente, a matriz energética brasileira se destaca pela grande participação de fontes renováveis. A Figura 1 mostra a matriz de oferta interna de energia no Brasil para 2016. As fontes renováveis têm ganhado cada vez mais espaço, principalmente as do setor sucroenergético, como o etanol e derivados do bagaço da cana, que, somados, respondem por cerca de 17% do total da oferta interna de energia no Brasil.

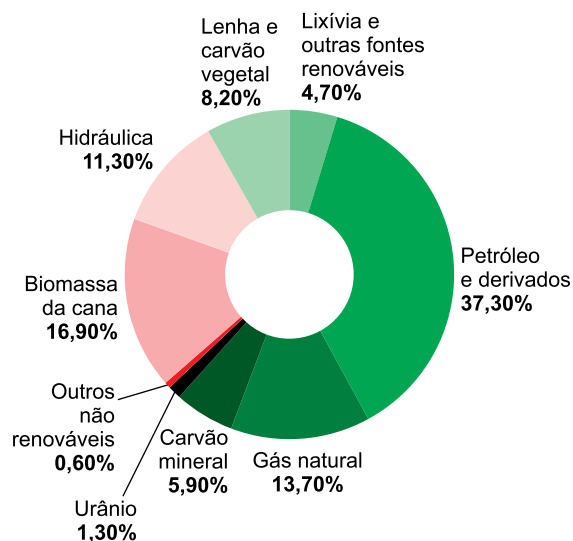


Figura 1. Oferta interna de energia no Brasil em 2016.

Fonte: elaborada com dados de EPE (2016a).

Entre as transformações da matriz energética brasileira, destaca-se o processo de substituição da gasolina pelo óleo diesel, na década de 1970, por causa das políticas de preços artificiais.

A evolução da agroindústria canieira apresentou inflexão em meados da década de 1990, decorrente de uma crescente preocupação ambiental e das incertezas quanto ao mercado internacional do petróleo. Isso fez com

que o Estado deixasse de intervir na produção do setor, que passou por um processo de desregulamentação e colocou fim aos controles governamentais dos preços e das quantidades exportadas, tanto do açúcar quanto do álcool, garantindo assim uma dinâmica mais alinhada ao mercado (Mesquita & Oliveira, 2008).

Segundo Mesquita & Oliveira (2008), no pós-1990, com o fim do monopólio estatal da exportação de álcool e açúcar, surgem maiores estímulos à gestão e aos investimentos privados no setor, sobretudo para atender às necessidades do mercado, com investimentos em novas técnicas de produção para o crescimento sustentável com ganhos de eficiência produtiva e redução de custos.

Outro fator que gerou estímulo para a produção de cana-de-açúcar no Brasil, por meio da iniciativa privada, foi a revolução *flex*, a partir de 2003, quando foram introduzidos veículos dotados da tecnologia *flex-fuel*. O crescimento da frota *flex*, juntamente com a manutenção da competitividade dos preços do etanol em relação aos da gasolina, fez com que as vendas do etanol hidratado aumentassem cinco vezes no período de cinco anos (Sousa & Macedo, 2010). A Figura 2 mostra o crescente consumo do

etanol. De 2012 a 2015, foi registrado aumento tanto do consumo de etanol hidratado quanto de etanol anidro, 81,34% e 37,71%, respectivamente – para a gasolina comum, o aumento foi de apenas 3,62%; para a aditivada, houve queda de 4,89%. Pode-se inferir, portanto, que embora a gasolina ainda seja consumida em grande escala, o etanol vem cada vez mais se inserindo no mercado de combustíveis.

Além da produção do etanol de primeira geração (1G), que vem ganhando cada vez mais espaço na matriz energética brasileira, o setor tem intensificado a produção e a pesquisa em outras frentes que podem contribuir para a descarbonização da matriz, os chamados novos produtos, como o etanol 2G e o processo de cogeração de energia elétrica pela queima do bagaço da cana. Tais processos, além de mais eficientes do ponto de vista ecológico, garantem impactos econômicos positivos para o País em termos de produção de energia (Moraes & Zilberman, 2014).

O etanol 2G, fruto do reaproveitamento dos resíduos da cana processada no tradicional processo 1G, além de representar uma alternativa de geração de renda para as usinas, constitui um acréscimo da quantidade de combustível

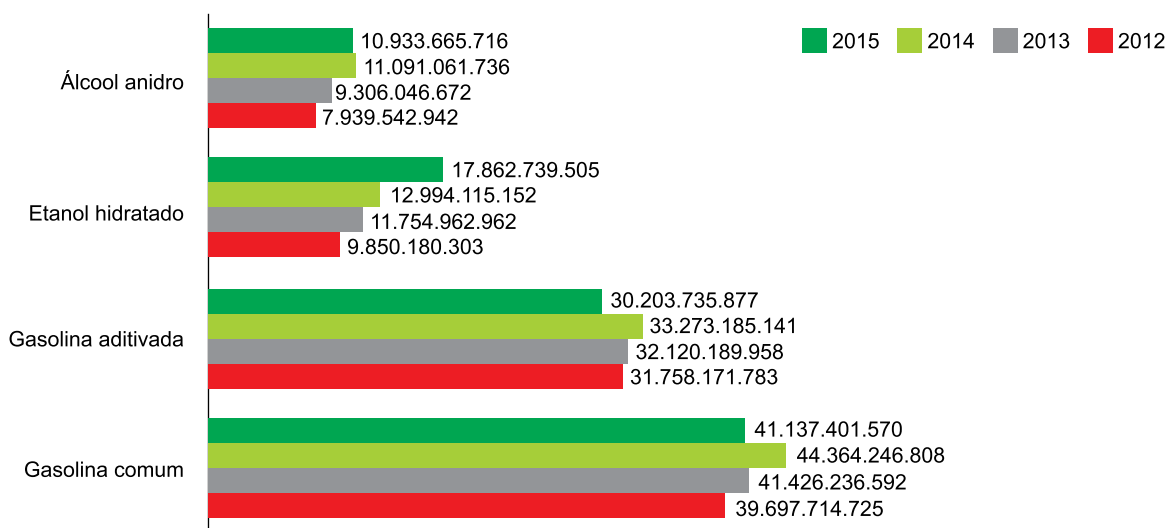


Figura 2. Consumo de etanol e gasolina no Brasil (litros) de 2012 a 2015.

Fonte: elaborada com dados da UNICA (2016c).

disponível no País, o que, teoricamente, faz seu preço cair. De acordo com Morais et al. (2017), as emissões de gases do efeito estufa podem ser reduzidas em pelo menos 60% quando do uso do etanol como alternativa aos combustíveis fósseis.

Quanto ao processo de cogeração de energia elétrica, também denominado de bioeletricidade, ela é obtida da queima do bagaço – reaproveitado depois dos processos de 1G e 2G – e da palhada da cana. As usinas podem usar a bioeletricidade para o próprio consumo ou comercializar o excedente com os municípios vizinhos (Sousa & Macedo, 2010).

Os novos produtos do setor sucroenergético e um novo paradigma para a matriz energética no Brasil

O etanol 2G

Os biocombustíveis⁴ tradicionais, como o etanol 1G, enfrentam sérias dificuldades para

atingir os níveis desejados de produção, o que estabelece forte estímulo à pesquisa e ao desenvolvimento de novas tecnologias, como o etanol 2G (Khanna & Zilberman, 2017).

Diferentemente do etanol 1G, produzido da moagem da cana-de-açúcar, o etanol 2G usa como matéria-prima os excedentes do bagaço proveniente da moagem para o 1G. Isso leva a um significativo aumento da oferta nacional e internacional de combustível, sem que seja necessário aumentar as áreas de plantio de cana. Embora o etanol 2G use como matéria-prima os açúcares extraídos da celulose da cana, ou seja, do seu bagaço, enquanto o 1G se origina do melado da cana, no fim do processo produtivo ambos possuem a mesma composição físico-química (Rosa & Garcia, 2009).

A Figura 3 mostra o processo para a obtenção do etanol 2G, que, conforme Morais et al. (2017), inclui duas etapas adicionais: o pré-tratamento e a hidrólise enzimática.

Segundo Granbio (2015b) e Kloc (2016), descrevem-se as etapas do processo:

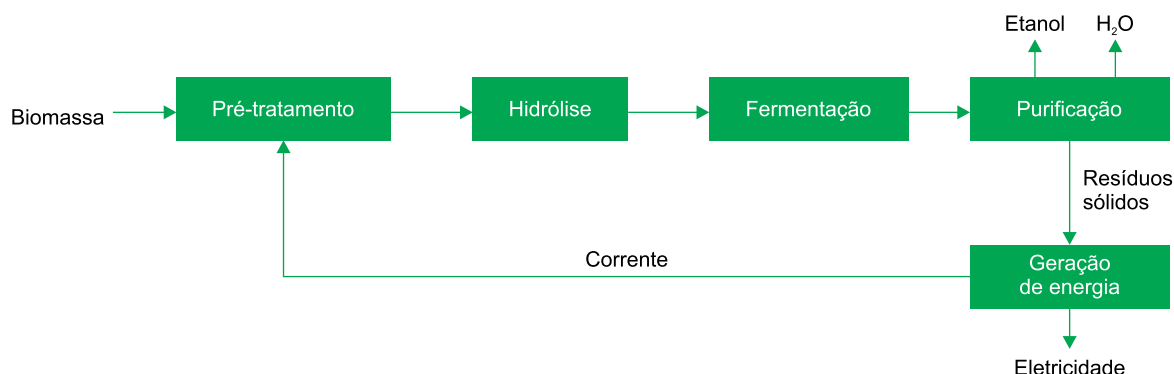


Figura 3. Processo de produção do etanol 2G.

Fonte: Rosa & Garcia (2009).

⁴ Biocombustíveis são combustíveis com aplicação no setor de transporte, em sua forma líquida ou gasosa, e predominantemente originado de processos produtivos que fazem uso de biomassa como matéria-prima – ver Ferreira (2012).

- 1) Pré-tratamento – o bagaço e a palha da cana entram em um reator onde sua estrutura é rompida para dar acesso às fibras de celulose, hemicelulose⁵ e lignina⁶. Desses compostos, pode-se extrair mais açúcares para a produção do etanol.
- 2) Hidrólise enzimática – são inseridas enzimas que agem como catalizadores na quebra das fibras da celulose em açúcares mais simples de serem fermentados. Depois da fermentação, é obtido a vinhaça.
- 3) Fermentação – os açúcares da hidrólise são transformados em etanol pela ação de microrganismos geneticamente modificados, denominados leveduras.
- 4) Purificação – a destilação transforma o etanol da fermentação em um etanol próprio pra o consumo. No fim dessa etapa, o etanol produzido é idêntico ao tradicional 1G.

Destaca-se que tecnologias mais avançadas para obtenção do etanol 2G estão em desenvolvimento. São necessários muitos investimentos e pesquisas para aumentar a eficiência produtiva e diminuir os custos de modo que o etanol 2G possa ser inserido em grande escala e contribuir para a descarbonização (Khanna & Zilberman, 2017).

Dados da UNICA (2016b) apontam que no Brasil existem duas usinas voltadas para a produção exclusiva de etanol 2G. Construídas em 2014 e 2015 nas cidades de São Miguel dos Campos, AL, e Piracicaba, SP, em regiões que concentram grande capacidade de moagem de cana – 5% em AL e 54% em SP. Juntas, essas unidades têm capacidade de produzir 122 milhões de litros de etanol 2G por ano.

O processo de cogeração de energia elétrica

O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo, e a biomassa⁷ extraída vem se destacando não só pela produção de etanol, mas também de energia elétrica através do processo de cogeração. Embora a matriz energética do País seja constituída predominantemente pela produção hídrica de energia elétrica, é necessário buscar alternativas sustentáveis de produção energética; a capacidade de expansão da produção de energia elétrica por meios hídricos é barrada por limitações físicas e pela rígida postura das autoridades ambientais (Sousa & Macedo, 2010).

O processo de cogeração bioenergética consiste da transformação de energia térmica, produzida da queima da biomassa, em mais de uma forma de energia útil – as mais frequentes são a mecânica e a elétrica. As matérias-primas da produção da bioeletricidade são o bagaço da cana, depois de ter passado pelo processo de moagem para extração do melado e dos açúcares, e a palha da cana remanescente no campo de cultivo depois da colheita (Kloc, 2016).

Convém destacar que somente na década de 1980 o bagaço deixou de ser descartado como lixo pelas usinas e passou a fazer parte do processo produtivo. Hoje, ele é aproveitado tanto na produção do etanol 2G e na cogeração de energia elétrica quanto nas indústrias de fertilizante e de papel (Lobo, 2013).

A transformação da biomassa em energia elétrica ocorre depois de a cana passar por todo o processo de corte, limpeza e transporte, quando é enviada para um triturador composto por rolos compressores que exercem forte pressão para dar início à moagem. Nesse procedimento, repetido algumas vezes, é acrescenta água para que o açúcar seja diluído e extraído mais fácil e

⁵ A hemicelulose é um polímero formado por cadeias ramificadas de vários tipos de açúcar, que juntamente com a celulose e a lignina compõem a matéria vegetal (biomassa) – ver Rosa & Garcia (2009).

⁶ A lignina é um polímero orgânico complexo que une as fibras celulósicas e aumenta a rigidez da parede celular vegetal.

⁷ A biomassa é tida como todo recurso renovável proveniente de matéria orgânica, animal ou vegetal, e que pode ser usada para a produção energética (bioenergia) – ver Lobo (2013).

eficientemente – estima-se que cerca de 96% do açúcar total seja extraído da cana depois desse procedimento (Lobo, 2013).

Em seguida, o bagaço proveniente da moenda, que segundo Lobo (2013) representa 25% do peso total da cana, é transferido para as caldeiras onde, juntamente com a palha da cana, entra em combustão e gera vapor. Esse vapor é direcionado para as turbinas para ser transformado tanto em energia mecânica, usada diretamente no acionamento de equipamentos, quanto em energia térmica, gerando calor para o processo de fabricação do álcool e do açúcar. Destaca-se que parte do vapor volta ao estado líquido, através de um condensador, para ser enviado às caldeiras e transformar-se novamente em vapor, contribuindo assim para um ciclo sem perdas.

Por fim, um gerador é alimentado pelo movimento da turbina e fornece energia para a unidade produtora. Estima-se que a energia produzida pelo processo de cogeração tem potencial para atender completamente as demandas da usina, além da possibilidade de poder ser comercializada no mercado nacional – o excedente pode chegar a 10% (Kloc, 2016). E isso é de grande importância ambiental. O excedente produzido entra no setor elétrico nos meses em que o País sofre com baixos índices pluviométricos, complementando o parque hídrico nacional sem recorrer às termoelétricas (Oliveira, 2014).

Segundo Lobo (2013), as principais barreiras para o uso do bagaço da cana-de-açúcar como fonte energética são: i) baixa densidade energética e alta humidade quando in natura, o que faz com que sua eficiência durante a combustão seja inferior à dos demais combustíveis; e ii) difícil armazenamento e elevado custo de transporte.

Em contrapartida, Paoliello (2006) e Lobo (2013) mostram que os entraves ao uso do bagaço como fonte energética podem ser facilmente eliminados, a baixo custo, pelo processo de briquetagem, no qual as matérias-primas são compactadas por pressão externa, de modo a

se obter um único produto de maior resistência mecânica e maior densidade energética. Estima-se que o briquete resultante possua densidade energética seis vezes maior, além de ser mais eficiente quanto ao armazenamento e transporte.

Dados da UNICA (2016a) destacam que o volume de bioeletricidade oferecido ao sistema nacional pode aumentar oito vezes até 2024, tendo por base os dados de 2014. Destacam também que o Brasil está entre os países com maior capacidade de geração de bioenergia instalada, 15,3% do total mundial, e que em 2015 a oferta energética oriunda do uso da biomassa cresceu 7%.

O potencial brasileiro na produção de etanol 2G e a cogeração de energia elétrica

Potencial bioenergético

No Brasil, é destaque a grande produtividade do setor sucroenergético e sua imensa área de plantio reservada para a cultura canavieira. Em 2016, segundo dados da UNICA (2017), foram registradas 666.824 mil toneladas de cana-de-açúcar moída, sendo 617.709 mil referentes ao centro-sul do País, destinadas à produção de açúcar, etanol e energia elétrica.

A energia elétrica, produzida há pelo menos duas décadas, era usada prioritariamente para a autossuficiência das unidades produtoras, sem que houvesse investimentos para a produção de energia excedente para a comercialização UNICA (2016a).

A situação começou a mudar em meados de 2003, quando o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) entrou em vigor. O Proinfa, em parceria com o BNDES, previa financiamento de até 80% do investimento (com exceção da aquisição de terrenos e bens e serviços importados), amortizações em 12 anos, carência de seis meses depois de iniciada a atividade comercial e o não pagamen-

to de juros durante a construção da unidade produtora (Rodrigues, 2005).

Para a análise do potencial produtivo bioenergético nacional oriundo da cultura canavieira, são levados em consideração os resultados obtidos por Rodrigues (2005), que abordam quatro tipos de cogeração de energia elétrica no setor sucroenergético (Tabela 1).

O primeiro é uma instalação típica do setor sucroenergético que opera com uso de caldeiras de baixa eficiência térmica e reduzida pressão. Nelas, a biomassa entra em combustão e gera vapor, que é encaminhado para turbinas de simples estágio. A energia térmica é transformada em energia mecânica para o acionamento de equipamentos da unidade produtora ou para produzir energia elétrica através de um gerador.

No segundo tipo, as caldeiras operam em alta pressão e são de elevada eficiência térmica, e o vapor gerado é encaminhado para turbinas de multiestágio.

No terceiro sistema, motores elétricos – e não turbinas de acionamento mecânico – produzem com alta eficiência. O vapor gerado é usado ao longo dos estágios da turbina de multiestágio, com grande aproveitamento.

No quarto tipo, é implementada uma otimização no consumo de vapor da unidade produtora.

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos do estudo de Rodrigues (2005). Destaca-se a premissa de que a geração potencial e excedente de energia em cada um dos sistemas de produção é calculada com base na moagem de uma to-

nelada de cana, cujo objetivo é generalizar os resultados.

Os resultados obtidos da moagem de uma tonelada de cana podem ser facilmente ampliados para qualquer quantidade de cana moída, obtendo-se assim o total de produção energética para qualquer período. Assim, com base na quantidade total de cana moída no Brasil na safra 2015/2016, obtém-se a produção de energia elétrica total para cada um dos sistemas produtivos.

Com um acumulado de 666.824 mil toneladas de cana moída no País na safra 2015/2016 (Tabela 2), estimam-se 8.668 Gwh produzidos pelo Sistema de Baixa Eficiência Térmica, sem produção excedente; 53.346 Gwh pelo Sistema de Alta Eficiência Térmica, com excedente de 43.477 Gwh disponíveis para a comercialização; 79.552 Gwh pelo Sistema com Eletrificação, com excedente de 60.347 Gwh; e 86.820 Gwh quando se leva em consideração o Sistema Otimizado, com excedente para comercialização de 67.682 Gwh.

A Tabela 2 mostra uma comparação entre os quatro tipos de sistemas produtivos e o total de energia elétrica consumida no Brasil, tanto no âmbito integral quanto no residencial. Os resultados são baseados nos dados de consumo de energia elétrica total e residencial do Brasil de 2015/2016. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016b), o consumo energético total do País foi de 471.621 Gwh, enquanto o consumo residencial atingiu 134.194 Gwh.

Nota-se quão expressivo é o potencial de geração energética com a otimização do processo de cogeração. O excedente produzido

Tabela 1. Potencial produtivo e excedente dos sistemas de cogeração de energia elétrica.

Sistema	Definição	Produção (kWh/tc)	Excedente (kWh/tc)
I	Sistema de Baixa Eficiência Térmica	13,0	0
II	Sistema de Alta Eficiência Térmica	80,0	65,2
III	Eletrificação	119,3	90,5
IV	Otimização do Sistema	130,2	101,5

Fonte: elaborada com dados de Rodrigues (2005) e Kloc (2016).

Tabela 2. Comparativo da produção bioenergética nacional em relação ao consumo total/residencial de energia elétrica – Safra 2015/2016, ano 2015/2016.

Sistema	Produção (Gwh)	Excedente (Gwh)	Participação do excedente produzido no consumo total de energia elétrica (%)	Participação do excedente produzido no consumo residencial de energia elétrica (%)
I	8.668	0,0	0	0
II	53.346	43.477	9,2	32,4
III	79.552	60.347	12,8	45,0
IV	86.820	67.682	14,3	50,4

Fonte: elaborada com dados de Rodrigues (2005), EPE (2016b) e UNICA (2017)

é capaz de abastecer 14,3% do consumo total e 50,4% do consumo residencial, ou seja, mais de metade da demanda residencial por energia elétrica seria suprida pela cogeração energética da biomassa da cana caso fosse implementado o processo otimizado nas unidades produtoras.

Vale lembrar que a agroindústria canavieira brasileira cresce a cada ano e, segundo projeções de Kloc (2016), o potencial de geração energética tende a ser ampliado. Estima-se que na safra 2030/2031 a produção bioenergética, via cogeração dos subprodutos da cana, responderá por cerca de 23% do total de energia elétrica consumida no País.

Potencial do etanol 2G

A matriz de combustíveis brasileira passou por significativas mudanças nos últimos anos. Na década de 2000, a tecnologia *flex-fuel* trouxe o crescimento da frota de veículos leves, ocasionando aumento do consumo de biocombustíveis, suprido principalmente pela produção interna de etanol. Entretanto, depois de 2010, por causa da falta de investimentos em tecnologias e de novas plantas para o setor sucroenergético, a competitividade dos biocombustíveis decresceu, principalmente a do etanol, fazendo com que a gasolina reemergisse e, com isso, as importações se elevassem, dada a baixa capacidade de refino nacional (Milanez et al., 2015).

Por causa do aumento do consumo da gasolina, da elevação dos preços do petróleo

e da possibilidade de escassez mundial dos combustíveis fósseis – somados ao crescimento da frota de veículos e à preocupação com o aquecimento global –, faz-se necessário buscar mecanismos que resgatem a competitividade do etanol e dos biocombustíveis. Nesse cenário, a adoção de novas tecnologias, como o etanol 2G, é imprescindível para a retomada das atividades econômicas do setor sucroenergético (Khanna & Zilberman, 2017).

Como o etanol 2G é obtido dos resíduos da produção do etanol 1G, isso colabora para o entendimento de que a tecnologia necessária para a produção do 2G pode ser facilmente adaptada às unidades produtoras já instaladas.

Ambientalmente, segundo dados da Granbio (2015a), o etanol 2G é um combustível sustentável por dois motivos básicos: primeiro, por contribuir de forma significativa para a redução da emissão de gases CO₂ (dióxido de carbono); segundo, por ele não exigir aumento da área de plantio, pois a matéria-prima para sua produção é composta exclusivamente de resíduos de culturas já existentes.

Em 2015, o Brasil, segundo Milanez et al. (2015) e Granbio (2015a), contava com uma capacidade instalada de produção de cerca de 140 milhões de litros de etanol 2G por ano. Desse total, 82 milhões de litros eram produzidos na Bioflex 1, a primeira usina com capacidade de produção de etanol 2G em escala comercial do

País, instalada no município de São Miguel dos Campos, AL.

Embora a quantidade produzida de etanol 2G seja pequena diante do grande volume de combustíveis demandado pelo País, projeções mostram que o Brasil tem capacidade de aumentar a produção de etanol em cerca de 50% com o uso dos resíduos da cana-de-açúcar e a implementação de tecnologias da segunda geração (Granbio, 2015a).

Outro ponto importante que deve ser destacado a favor da produção do etanol 2G é o seu custo de produção. Atualmente, o custo do etanol 2G varia em torno de R\$ 1,50 por litro, mais elevado que o do etanol 1G (R\$ 1,15/L). Entretanto, segundo estudos do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), em parceria com o BNDES, o custo de produção do etanol 2G tem potencial para ser reduzido no médio prazo, podendo alcançar R\$ 0,75/L já em 2020 e, levando em consideração determinadas tecnologias e possíveis cenários econômicos, o valor pode ser reduzido ainda mais, R\$ 0,52/L no longo prazo (CTBE, 2015). De acordo com Morais et al. (2017), projeta-se para o período 2026–2030 redução de 30% no custo de produção em relação aos patamares atuais.

Entretanto, a produção de biocombustíveis, de modo geral, enfrenta muitos obstáculos. Segundo Rosa & Garcia (2009), uma das principais barreiras à produção dos biocombustíveis no longo prazo está no *trade-off* entre a disposição das áreas de plantio destinadas à produção de alimentos e as áreas reservadas às culturas de biomassa, necessárias à produção dos biocombustíveis.

Outra limitação à produção dos biocombustíveis, principalmente do etanol 2G, é a concorrência quanto à matéria-prima, pois o processo de obtenção da bioenergia também faz uso do bagaço e da palha da cana-de-açúcar.

O Brasil tem intensificado investimentos e pesquisas em novas tecnologias e meios de produção que reduzam custos e aumentem a

produtividade, como é o caso da cana-energia, nova variedade de cana desenvolvida especialmente para a segunda geração do etanol. Essa variedade possui maior teor de fibras, o que acarreta aumento do potencial produtivo; assim, exige menor quantidade de água e se adapta a solos menos férteis (Granbio, 2015a; Morais et al., 2017).

Segundo projeções de Kloc (2016), a produção de etanol 2G pode alcançar a faixa dos 8,5 bilhões de litros na safra 2030/2031, sendo 7,2 bilhões de litros referentes à produção a partir do bagaço da cana e 1,3 bilhão da palha da cana – aumento da disponibilidade de etanol de 18,37% (Figura 4).

Conclusões

O objetivo deste trabalho foi identificar o potencial produtivo dos novos produtos do setor sucroenergético, com foco no processo de cogeração de energia elétrica e na produção de etanol de segunda geração, e averiguar se eles têm capacidade de suprir a demanda energética nacional diante de eventuais esgotamentos das fontes não renováveis de energia e de políticas ambientais restritivas quanto à emissão de gases poluentes, causadores do aquecimento global. Os resultados mostraram o expressivo potencial que ambos os produtos têm a oferecer para a melhora da composição econômica e ambiental da matriz energética brasileira.

Quanto à produção bioenergética, pode-se destacar a grande capacidade instalada que o País possui, já que a tecnologia empregada no processo de cogeração de energia elétrica está em estado avançado, dada a experiência nacional no uso dos resíduos da cultura canavieira. Além da maturidade tecnológica, a produção bioenergética conta também com uma matéria-prima acessível e barata, os resíduos da produção de etanol 1G. Assim, para que o setor aumente sua rentabilidade e nível de produção, é preciso que haja grandes investimentos em aprimoramento das tecnologias instaladas, como o processo de otimização dos sistemas produ-

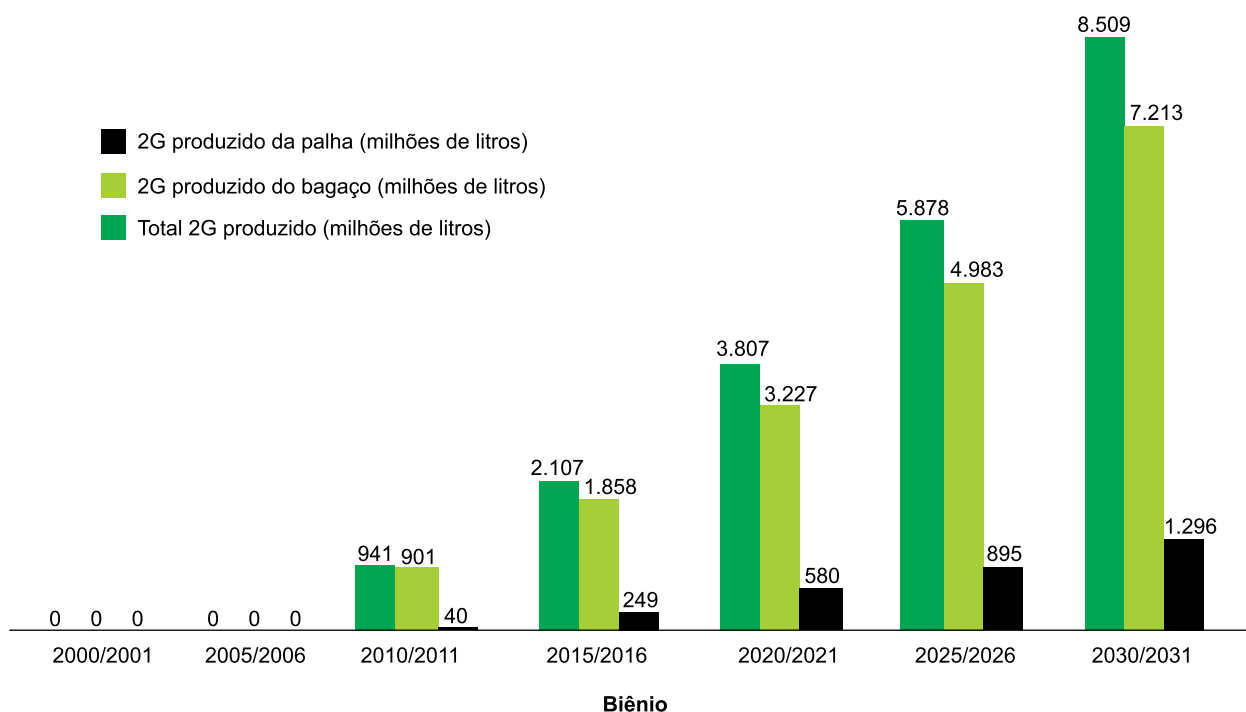


Figura 4. Projeção da produção de Etanol 2G (milhões de litros).

Fonte: elaborada com dados de Kloc (2016).

tivos, que teriam potencial, baseado em dados da última safra (2015/2016), de suprir 14,3% da demanda energética nacional, e mais de 50% da demanda energética residencial do País, caso as unidades produtoras comercializem o excedente produzido.

Outro ponto importante a favor da produção bioenergética é sua complementaridade sazonal em relação ao parque hídrico brasileiro, já que existem tanto limitações físicas quanto políticas ambientais rígidas que barram a instalação de novas usinas hidroelétricas.

Quanto ao potencial produtivo do etanol de segunda geração, destaca-se que, embora suas tecnologias estejam em estágio inicial, com nível de produção relativamente pequeno, o cenário é otimista. Estima-se que sua produção tenha potencial suficiente para aumentar o percentual de biocombustíveis inseridos na matriz energética brasileira e ainda superar, no longo prazo, os custos de produção tanto dos biocom-

bustíveis convencionais (etanol 1G) quanto dos combustíveis fósseis (petróleo).

Diante dessas constatações, cabe ao setor público proporcionar um ambiente favorável, por meio de políticas públicas, que incentive a iniciativa privada a investir na empreitada do desenvolvimento do setor sucroenergético.

Referências

- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira**: exercício de 2014. 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/91108896/1+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira/0dd11be6-9908-417a-a89e-953f724b24cd?version=1.0>>. Acesso em: 20 mar. 2017.
- CAVALETT, O.; JUNQUEIRA, T.L.; GOUVÊIA, V.L.R. de. 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**, v.41, p.237-294, 2015.
- CTBE. Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol. **Etanol celulósico deve ser economicamente viável em 2020**. 2015. Disponível em: <<http://ctbe>.

cnpem.br/etanol-celulosico-deve-ser-viavel-2020/>. Acesso em: 17 maio 2017.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2016**: relatório síntese: ano base 2015. 2016a. Disponível em: <<http://www.cbdb.org.br/informe/img/63socios7.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2017.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistência) – 2004-2016**. 2016b. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiael%C3%A9tricaPorClasse\(regi%C3%B5esesubistemas\)%E2%80%932011-2012.aspx](http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiael%C3%A9tricaPorClasse(regi%C3%B5esesubistemas)%E2%80%932011-2012.aspx)>. Acesso em: 12 maio 2017.

FERREIRA, L.C.C. **Caracterização do potencial energético entre a produção de etanol celulósico e a cogeração a partir do bagaço da cana**. 2012. 68p. Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília, Brasília. Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

GRANBIO. **Bioflex I**: produção de biocombustível. [2015a]. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/conteudos/biocombustiveis/>>. Acesso em: 13 abr. 2017.

GRANBIO. **Do campo ao tanque**. [2015b]. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/conteudos/do-campo-ao-tanque/>>. Acesso em: 13 abr. 2017.

KHANNA, M.; ZILBERMAN, D. (Ed.). **Handbook of Bioenergy Economics and Policy**: Volume II: modeling land use and greenhouse gas implications. New York: Springer, 2017. (Natural Resource Management and Policy, 40). DOI: 10.1007/978-1-4939-6906-7.

KLOC, F.G. **Potencial econômico e energético dos novos produtos do setor sucroenergético brasileiro**. 2016. Monografia (Graduação) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

LOBO, C. da S. **A importância da cogeração utilizando bagaço de cana-de-açúcar com forma de diversificação da matriz elétrica**. 2013. 113p. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MESQUITA, D.L.; OLIVEIRA, E.R. de. As reformas liberais da década de 90: as políticas da “Terceira Via” e o novo ambiente institucional no setor sucroalcooleiro brasileiro. Disponível em: <<http://www.anpad.org.br/admin/pdf/APS-A1211.pdf>>. Acesso em: 4 dez. 2016.

MILANEZ, A.Y.; NYKO, D.; VALENTE, M.S.; SOUSA, L.C. de; BONOMI, A.; JESUS, C.D.F. de; WATANABE, M.D.B.; CHAGAS, M.F.; REZENDE, M.C.A.F.;

MORAES, M.A.F.D. de; ZILBERMAN, D. **Production of ethanol from sugarcane in Brazil**: from state intervention to a free market. London: Springer, 2014.

(Natural Resource Management and Policy, 43). DOI: 10.1007/978-3-319-03140-8.

MORAIS, P.P.; PASCOAL, P.V.; ROCHA, E.S.; MARTINS, E.C.A. Etanol de 2 geração: atual produção e perspectivas. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, ano 7, p.45-57, 2017.

OLIVEIRA, M. **Potencial de Produção de Energia Elétrica de 10 Usinas no Setor Sucroalcooleiro do Estado do Paraná na Safra 2012/2013**. 2014. Monografia (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão.

PAOLIELLO, J.M.M. **Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Bauru.

RODRIGUES, L.G.S. **Análise energética de diferentes sistemas de cogeração com bagaço de cana-de-açúcar**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

ROSA, S.E.S. da; GARCIA, J.L.F. O etanol de segunda geração: limites e oportunidades. 2009. **Revista do BNDES**, n.32, p.117-156, 2009. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/7046>>. Acesso em: 25 fev. 2017.

SOUSA, E.L.L. de; MACEDO, I. de C. (Coord.). **Etanol e bioeletricidade**: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. São Paulo: Luc Projetos de Comunicações, 2010.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Biomassa está pronta para gerar mais energia elétrica**. 2016a. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/namidia/310215992036376298/biomassa-esta-pronta-para-gerar-mais-energia-eletrica/>>. Acesso em: 14 jun. 2017.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Maturidade tecnológica aumentará competitividade do Etanol 2G no Brasil**. 2016b. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/29063662920324775593/maturidade-tecnologica-aumentara-competitividade-do-etanol-2g-no-brasil/>>. Acesso em: 5 mar. 2017.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **UNICADATA**: consumo de combustíveis. 2016c. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-consumo-de-combustiveis.php?idMn=11&tipoHistorico=10>>. Acesso em: 19 nov. 2016.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **UNICADATA**: histórico de produção e moagem por produto. 2017. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=31&tipoHistorico=2>>. Acesso em: 19 mar. 2017.