

POTENCIAL DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA NO BRASIL: ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO E BIOELETRICIDADE

Kalid Ahmad Yusuf¹
Irene Domenes Zapparoli²
Carlos Eduardo Caldarelli³
Patrícia Pompermayer Sesso⁴

Resumo: A emergência de uma economia de baixo carbono tem impulsionado a questão energética mundialmente. No caso brasileiro, a agroindústria canavieira apresenta grande potencial e proeminência no conjunto de fontes renováveis como alternativa às fósseis. Diante de tal desafio, este estudo tem por objetivo compreender as atuais limitações que o setor sucroenergético enfrenta e delinear o potencial da produção de energia renovável no Brasil, tendo como foco o processo de cogeração bioenergética e o etanol de segunda geração (2G), ambos subprodutos da cultura canavieira. Por meio de dados oficiais e fundamentação teórica, este estudo permitiu concluir que o segmento possui grande capacidade de geração energética para as próximas décadas, e salienta a relevância de incentivo às novas tecnologias de produção tais como etanol de segunda geração e a bioeletricidade.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Bioenergia; Biomassa.

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. For this paper, we have used information, dataset and a literature review. 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: Sugarcane; Bioenergy; Biomass.

Área 4: Economia Agrária e Ambiental

Código JEL: Q16; Q42; Q47.

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Economia Regional - UEL, kalidyusuf94@gmail.com

² Professora do Programa de Pós-Graduação em Economia Regional, UEL, zapparoli@uel.br

³ Professor do Programa de Pós-Graduação em Economia Regional, UEL, carlos.caldarelli@gmail.com

⁴ Professora do Programa de Pós-Graduação em Economia Regional, UEL, pós-doutoranda na Universidade Estadual de Londrina, Brasil, papomper2004@yahoo.com.br

1 INTRODUÇÃO

A experiência histórica nacional de combate as crises do petróleo nos anos 1970, com programas como o Proálcool, proporcionou ao Brasil uma posição de destaque no que tange à 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 OCDE (Organização para Cooperação e desenvolvimento Econômico). Do total de fontes renováveis inseridas na matriz energética brasileira, 16,9% são representadas pelos produtos do setor sucroenergético (etanol e subprodutos da cana), o que demonstra a expressividade desse segmento na composição energética nacional (MME-EPE, 2016).

Assim, devido ao aumento das preocupações mundiais com a emissão dos gases causadores do efeito estufa (GHG) e a crescente crise energética, dada possibilidade de esgotamento das fontes não renováveis de energia, faz-se necessário buscar por meios que, tanto combatam o fenômeno do aquecimento global, como supram as necessidades de construção de uma matriz energética limpa e renovável. Isto posto, o setor sucroenergético brasileiro apresenta-se como alternativa a essa questão.

Entretanto, segundo Silva e Zapparoli (2017) os desafios para a agroindústria canavieira vão além da utilização da cana-de-açúcar concentrada nas plantas industriais. E forma que as categorias de impacto atreladas às questões de Toxicidade Humana e Ecotoxicidade em Águas Doces, em que a relevância do plantio da cana-de-açúcar supera a contribuição de 90%. As interferências ambientais da fase agrícola somente não se manifestam na Depleção da Camada de Ozônio. Para as demais fases deste ciclo de vida, os ápices de relevância para a fermentação do etanol e do transporte do produto ocorrem, respectivamente, nas categorias de Eutrofização e Depleção da Camada de Ozônio. Em última análise, pelos resultados apresentados nas categorias de impacto, o estudo confirma a hipótese de que o etanol hidratado pode ser considerado um combustível renovável, porém, não limpo.

Desse modo, este artigo tem como objetivo demonstrar 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 canavieira, tendo como foco o processo de cogeração de energia elétrica e o etanol celulósico (segunda geração).

O método de pesquisa utilizado foi a análise literária e documental, de natureza descritiva, baseando-se nos dados. O levantamento de dados são obtidos a partir da União da Indústria de Cana-de-açúcar(UNICA), Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e Ministério de Minas e Energia (MME).

Quanto à sua estrutura, este estudo se divide em três seções, além desta introdução e das considerações finais. Na primeira seção apresenta-se um histórico brasileiro de produção bioenergética e a atual composição da matriz energética nacional, tendo como destaque os desafios do setor sucroenergético devido à baixa competitividade dos biocombustíveis convencionais e a necessidade de investimentos em novas tecnologias de segunda geração.

Na segunda são discutidos os métodos de obtenção, as tecnologias empregadas e os desafios à produção dos novos produtos do setor sucroenergético. Por fim, na última seção, é dirigido um estudo sobre o potencial brasileiro na produção de cada um dos subprodutos anteriormente citados, salientando a capacidade produtiva e o potencial energético deste setor, assim como as fragilidades.

2 A AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA E OS DESAFIOS DA ENERGIA NO BRASIL

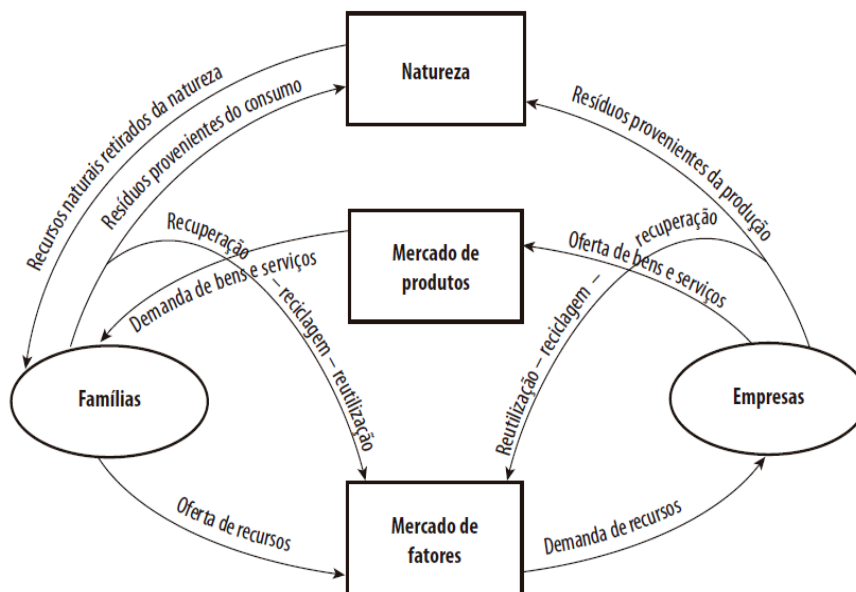
O etanol se apresenta como o principal biocombustível substituto dos combustíveis de origem fóssil, segundo Skikida *et al.* (2010). Entretanto o debate envolvendo biocombustíveis e desenvolvimento sustentável é variado e complexo. Isso ocorre, porque os biocombustíveis apesar de implicarem em maior segurança no suprimento de energia, ganhos econômicos, desenvolvimento de áreas rurais e redução nas emissões dos Gases de Efeito Estufa também expandem a fronteira agrícola, podendo gerar desmatamento, monoculturas, poluição da água, ameaças à segurança alimentar, condições precárias de trabalho e distribuição injusta dos benefícios ao longo da cadeia

de valor. Assim envolve, significativamente, o etanol combustível no Balanço de Materiais (SKIKIDA, 2010; SILVA e ZAPPAROLI, 2017).

As possibilidades de futura escassez mundial de fontes não renováveis de energia, dadas pelo esgotamento dos combustíveis fósseis tais como petróleo e carvão mineral, aliada à preocupação com a redução da emissão de gases poluentes do efeito estufa (GHG) e políticas ambientais, torna necessária a busca por fontes de energia renováveis e impulsionam a modificação da matriz energética, no processo que se convencionou chamar descarbonização da matriz energética. Dadas tais necessidades, o setor sucroenergético e seus novos produtos derivados da cultura da cana-de-açúcar, como a produção da bioeletricidade e do etanol de segunda geração (2G), vem se mostrando uma solução do ponto de vista socioeconômico e ambiental (SOUZA; MACEDO, 2010).

Para o critério ambiental Thomas & Callan (2016) colocam o fluxo circular em um esquema maior para mostrar as conexões entre a tomada de decisão econômica e o ambiente natural. Há que se considerar o fluxo de recursos do ambiente para a economia e a demanda da economia por recursos naturais gerando resíduos tanto nas plantas industriais quanto no consumo. No foco da Economia Ambiental os resíduos são poluição remanescente no ambiente após algum processo que ocorreu. Nesse sentido a geração de resíduos podem ser adiadas, mas não evitadas, através da recuperação, reciclagem e reutilização. Mostrado como fluxos internos no modelo ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Modelo de Equilíbrio de Materiais.



Fonte: THOMAS; CALLAN (2016, p.557).

No que tange ao Brasil, o país é pioneiro no uso de biocombustíveis na sua matriz e no uso de fontes alternativas, sobretudo do setor sucroenergético, em que deve-se citar o Pró-Álcool. A experiência brasileira com a utilização do etanol combustível como aditivo à gasolina remonta à década de 1920. A partir de 1931 o combustível produzido a partir da cana-de-açúcar passou a ser oficialmente adicionado à gasolina, então importada. Entretanto, foi apenas em 1975, com o lançamento do Pró-Álcool, que o Governo criou as condições necessárias para que o setor sucroalcooleiro brasileiro se tornasse, três décadas mais tarde, um dos mais modernos do mundo. O uso do etanol, em substituição à gasolina, promoveu uma economia de mais de 1 bilhão de barris equivalentes de petróleo, o que corresponde a cerca de 22 meses da produção atual de petróleo no Brasil (2009; SILVA e ZAPPAROLI, 2014; KLOC, 2016).

A transformação da agroindústria canavieira no Brasil em direção à produção de energia se

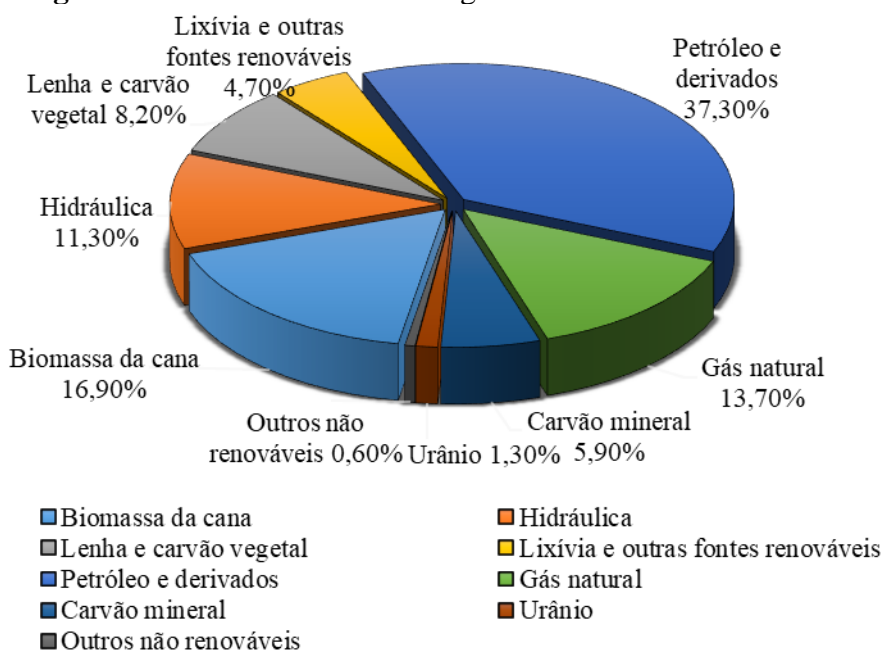
deu há cerca de 40 anos, com o Pró-Álcool, em meio ao cenário onde ocorreram os choques do petróleo (1973 e posteriormente 1979), em que se fez necessário que o governo buscasse maneiras de substituir os produtos derivados do petróleo, tendo início a transformação do setor, que passou a produzir além de açúcar também o etanol, essa como alternativa aos combustíveis provenientes do petróleo (MORAES; ZILBERMAN, 2014).

O desenvolvimento da engenharia nacional, após 1979, permitiu o surgimento de motores especialmente desenvolvidos para funcionar com etanol hidratado. Em 1984, os carros a etanol passaram a responder por 94,4% da produção das montadoras instaladas no Brasil. Desde 1986, a redução do impacto da crise do petróleo e os planos econômicos internos para combater a inflação estimularam uma curva descendente na produção de carros a etanol, que culminou com a crise de abastecimento de 1989. A queda da demanda do etanol hidratado foi compensada pelo maior uso do anidro (sem água) misturado à gasolina, o que acompanhou o crescimento da frota brasileira de veículos leves. Em março de 2003, foi lançado o carro flex-fuel, movido a etanol, gasolina ou com qualquer mistura entre os dois, iniciando uma nova onda de crescimento do setor. (BRASIL, 2009; UNICA, 2011; SILVA e ZAPPAROLI, 2014).

Em 2016, a matriz energética brasileira se destaca pela grande participação de fontes renováveis, entretanto nem sempre foi assim, a matriz energética brasileira passou por inúmeras transformações ao longo da história. A Figura 2 detalha a matriz de oferta interna de energia no Brasil, para o ano de 2016. Como pode-se observar as fontes renováveis vêm ganhando cadê vez mais espaço, principalmente as fontes provenientes do setor sucroenergético, como o etanol e outros produtos derivados do bagaço da cana, que somados representam cerca de 17% do total da oferta interna de energia no Brasil, contribuindo assim para o processo de descarbonização.

Szmrecsányi (2002) Silva e Zapparoli, (2016) apontam que, no segmento industrial, as principais possibilidades, de melhoria da produtividade e de redução de custos de produção, são: nas etapas do processamento do caldo, que é até hoje o derivado mais importante da cana; nas alternativas de aproveitamento do bagaço, que constitui o principal co-produto do referido processamento; nas alternativas de aproveitamento do melaço, quando o principal produto for o açúcar; nas alternativas de aproveitamento da vinhaça, quando o principal produto for o etanol; e, nas alternativas de aproveitamento dos demais resíduos e subprodutos.

Figura 2 – Oferta Interna de Energia no Brasil – 2016



Fonte: elaborado pelos autores segundo dados da EPE e MME (2016).

Dentre as transformações que ocorreram na matriz energética brasileira pode-se destacar o

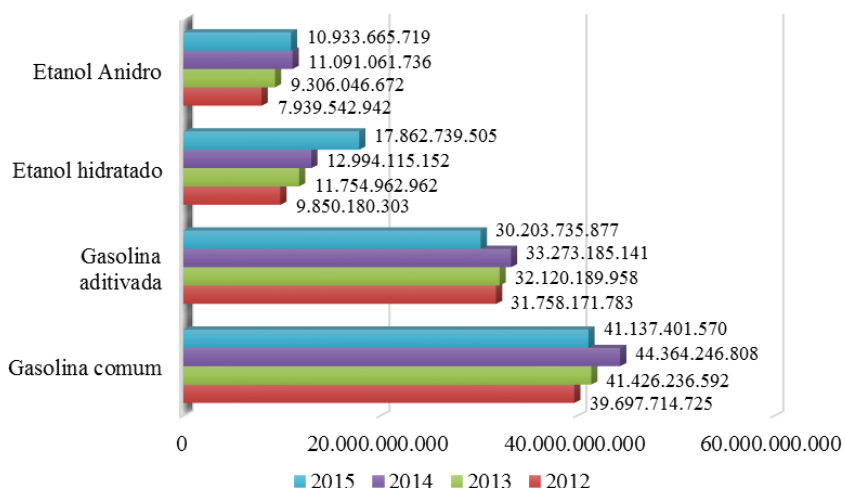
processo de substituição da gasolina pelo óleo diesel, ocorrido na década de 1970 devido às políticas de preços artificiais. Ainda nos anos 1970, com os choques do petróleo vivenciados no início da década, se iniciam programas governamentais que incentivavam a produção de etanol como o Programa Nacional do Alcool (Pró-Alcool), citado anteriormente (SOUZA; MACEDO, 2010).

A evolução da agroindústria canavieira apresentou inflexão em meados dos anos 1990, porquanto observou-se nesse período uma crescente preocupação ambiental que se instalava e as incertezas quanto ao mercado internacional do petróleo, isso fez com que o Estado deixasse de intervir na produção do setor fazendo com que o mesmo passasse por um processo de desregulamentação, o que colocou fim aos controles governamentais sobre os preços e as quantidades exportadas, tanto do açúcar quanto do álcool, garantido uma dinâmica mais alinhada ao mercado (MESQUITA; OLIVEIRA, 2008).

Segundo Mesquita e Oliveira (2008) no pós-1990, com o fim do monopólio estatal da exportação de álcool e açúcar, surgem maiores estímulos à gestão e investimentos privados para o setor, sobretudo, se reorganizando para atender agora as necessidades do mercado através de investimentos em novas técnicas de produção para o crescimento de forma 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, onde foram introduzidos veículos de biocombustíveis através da nova tecnologia *flex-fuel*. O crescimento da frota *flex*, juntamente com a manutenção da competitividade dos preços do etanol em relação à gasolina, fez com que as vendas do etanol hidratado aumentassem cinco vezes mais no período de cinco anos (SOUZA; MACEDO, 2010). Os dados acerca da venda de combustíveis no Brasil são apresentados na Figura 3 e mostram o crescente aumento do consumo do etanol em relação à gasolina, sendo que no período entre 2012 a 2015 foi registrado um aumento tanto no consumo de etanol hidratado quanto de etanol anidro na ordem de 81,34% e 37,71%, respectivamente, enquanto no que tange à gasolina observa-se um aumento de apenas 3,62% da gasolina comum e uma queda de 4,89% da aditivada. 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.

Figura 3 – Consumo de Etanol e Gasolina no Brasil, 2012 a 2015 (em litros)



Fonte: Elaborado pelos autores segundo dados da UNICA (2016).

Além da produção do etanol de primeira geração (1G), que vem ganhando cada vez mais espaço na matriz energética brasileira, o setor sucroenergético também tem intensificado sua produção e pesquisas em outras frentes que podem contribuir com a descarbonização da matriz, os chamados novos produtos, como o etanol de segunda geração (2G) e o processo de cogeração de energia elétrica através da 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 E ZILBERMAN, 2014).

O etanol de segunda geração, fruto do reaproveitamento dos resíduos da cana processada no tradicional processo de primeira geração, além de representar uma fonte alternativa de geração de renda para as usinas individualmente, constitui também um acréscimo da quantidade de combustível disponível no país levando assim à redução dos preços dos mesmos. 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.

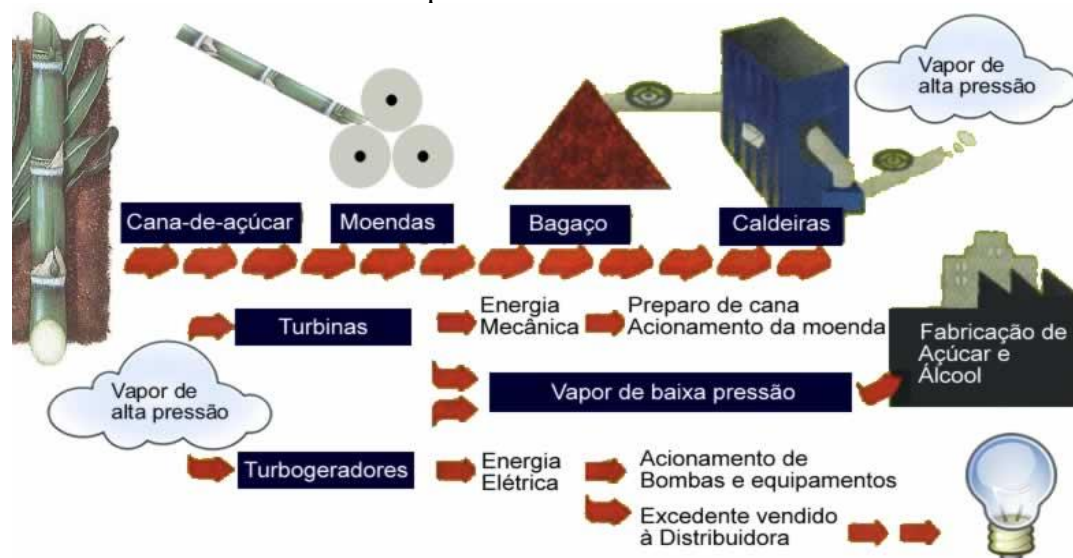
Quanto ao processo de cogeração de energia elétrica, também denominado de bioeletricidade, esse é realizado através da queima do bagaço (reaproveitado após os processos de primeira e segunda geração do etanol) e da palhada da cana a fim de gerar energia elétrica. As usinas ao realizarem a cogeração podem aproveitar tal energia produzida para o próprio consumo, reduzindo assim seus gastos com eletricidade, ou ainda comercializar o excedente de bioeletricidade produzida na usina com os municípios vizinhos (SOUZA; MACEDO, 2010).

3 OS NOVOS PRODUTOS DO SETOR SUCROENERGÉTICO E UM NOVO PARADIGMA PARA A MATRIZ ENERGÉTICA NO BRASIL

3.1 O ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

Quer na produção de etanol, quer na de açúcar, o principal co-produto resultante do processamento da cana é o bagaço (uma tonelada de cana moída gera aproximadamente 260 kg de bagaço), cujo potencial energético tem atraído crescente interesse nos últimos anos (Figura 4). Por causa dele, diversos especialistas passaram inclusive a encará-lo como um possível produto principal da cana-de-açúcar no futuro, vendo na mesma, não mais uma lavoura agroalimentar ou agroenergética, mas uma fonte privilegiada de biomassa para fins energéticos e outros, e propondo uma base tecnológica completamente diferente das atuais para sua exploração (SZMRECSÁNYI, 2002).

Figura 4 – A eletricidade da biomassa a partir da cana.



Fonte: Adaptado de Balbo (2008 apud Silva e Zapparoli, 2014, p.64).

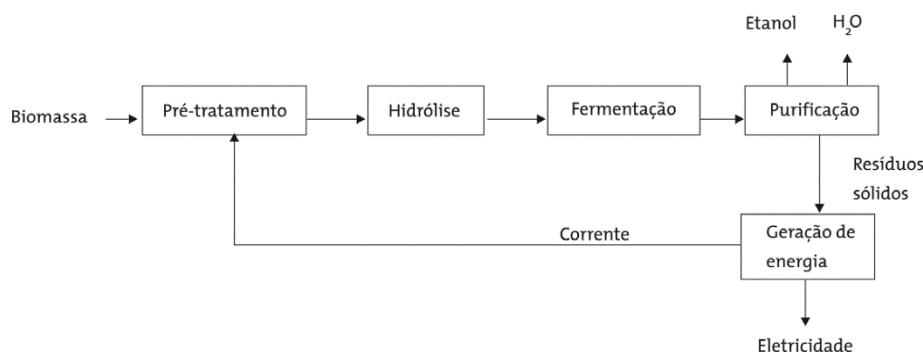
As biotecnologias, para geração da bioeletricidade, podem ser definidas como conjuntos de técnicas que possibilitam a manipulação e a transformação por meio de seus microorganismos, para fins industriais e comerciais. A biotecnologia situada na confluência da biologia molecular e da moderna bioquímica, tem sido vista por alguns como a terceira, e mais recente, revolução científica e tecnológica do século XX. Sua importância econômica e social, proveniente do número e da

diversidade de suas possíveis aplicações, já foi devidamente assimilada e incorporada por muitas empresas multinacionais (SZMRECSÁNYI, 2002).

Devido à crescente tentativa de frear a emissão dos gases ligados ao efeito estufa (GHG) e ao aumento das preocupações mundiais com o esgotamento das fontes não renováveis de combustíveis, tais como o petróleo e o carvão mineral, eleva-se a importância atribuída aos biocombustíveis. 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, o que faz com que esses cresçam cada vez mais com o passar dos anos (FERREIRA, 2012). A produção de biocombustíveis tradicionais, como o etanol de primeira geração (1G), enfrenta sérias dificuldades em atingir os níveis desejados de produção, o que estabelece um forte estímulo à pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias capazes de suprir esse déficit, tal como o etanol de segunda geração (2G) (KHANNA; ZILBERMAN, 2017).

Diferente do etanol de primeira geração (1G), que é produzido a partir da moagem da cana-de-açúcar, o etanol de segunda geração (2G) tem como matéria prima os excedentes do bagaço proveniente da moagem da cana no processo tradicional – 1G –, o que constitui um significativo aumento da oferta nacional e internacional de combustível, sem que seja necessário aumentar as áreas de plantio da cultura da cana, fazendo deste um dos fatores que torna o etanol de segunda geração uma alternativa para complementar a matriz energética e substituir os combustíveis não renováveis. Embora o etanol de segunda geração tenha como matéria prima os açúcares extraídos da celulose da cana, ou seja, do seu bagaço, enquanto que o etanol de primeira geração se origina do melado da cana-de-açúcar, no final do processo produtivo ambos apresentam a mesma composição físico-química (ROSA; GARCIA, 2009). Tal processo é descrito na Figura 5, na sequência.

Figura 5 – Processo de produção do etanol de segunda geração



Fonte: Rosa e Garcia (2009).

Como pode-se observar na Figura 5, o processo para a obtenção do etanol de segunda geração, tendo como matéria prima o bagaço e a palhada da cana-de-açúcar após a moagem, ocorre em quatro etapas distintas, sendo elas: o pré-tratamento, a hidrólise enzimática, a fermentação e a purificação. Assim como pontuado por Moraes *et al.* (2017) o etanol 2G inclui duas etapas adicionais ao processo convencional, o pré- tratamento e a hidrólise enzimática.

Segundo a Granbio (2015) e Kloc (2016), descreve-se cada uma dessas etapas da seguinte forma:

1. **Pré-tratamento:** Na primeira etapa do processo de obtenção do etanol de segunda geração a matéria prima constituída pelo bagaço e pela palha da cana-de-açúcar entram em um reator onde têm sua estrutura rompida dando acesso às fibras da celulose, hemicelulose, polímero formado por cadeias ramificadas de vários tipos de açúcar, que juntamente com a celulose e a lignina compõem a matéria vegetal (ROSA E GARCIA, 2009). e lignina (recurso renovável proveniente de matéria orgânica, sendo esta animal ou vegetal, e que pode ser utilizada para a produção de bioenergética (LOBO, 2013). A partir desses compostos pode-se extrair mais açúcares para a produção do etanol, além do que já foi extraído durante o processo de moagem da cana.

2. **Hidrólise enzimática:** Nesta etapa, durante o processo de hidrólise, são inseridas enzimas que agem como catalizadores na quebra das fibras da celulose em açúcares mais simples de serem fermentados. Após sua fermentação é obtido um líquido, chamado de vinhaça, que é encaminhado para a próxima etapa do processo.
3. **Fermentação:** Durante a fermentação os açúcares obtidos do processo de hidrólise são transformados em etanol pela ação de microrganismos geneticamente modificados, denominados de leveduras.
4. **Purificação:** A última etapa do processo de produção do etanol de segunda geração é a purificação do etanol, onde ocorre a destilação, transformando o etanol obtido da fermentação em um etanol próprio para o consumo. Ao final desta etapa o etanol produzido é idêntico ao tradicional de primeira geração.

As tecnologias avançadas para obtenção do etanol de segunda geração ainda se encontram em desenvolvimento, e são necessários investimentos e pesquisas para que possa ser modernizado o processo produtivo a fim de se aumentar a eficiência produtiva e diminuir os custos de implantação para que o etanol 2G possa ser inserido em grande escala, complementando a matriz energética do país e contribuindo para o processo de descarbonização (KHANNA; ZILBERMAN, 2017).

Segundo dados da UNICA (2016) apontam que no Brasil existem duas usinas voltadas para a produção exclusiva de etanol de segunda geração. Construídas nos anos de 2014 e 2015 nas cidades de São Miguel dos Campos (AL) e Piracicaba (SP), regiões que concentram grande capacidade de moagem de cana-de-açúcar no país, sendo de aproximadamente 5% em AL e 54% em SP o percentual de cana moída, respectivamente, assim em conjunto as unidades acima citadas tem capacidade de produzir cerca de 122 milhões de litros de etanol 2G por ano.

3.2 O PROCESSO DE COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O Brasil encontra-se entre os maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo e, a biomassa extraída da cultura da cana vem se destacando não só pela produção de etanol, mas também pela geração de energia elétrica através do processo de cogeração. Apesar de o Brasil ter sua matriz energética constituída predominantemente pela produção hídrica de energia elétrica, o que faz do país uma referência no que tange à sustentabilidade ambiental, faz-se necessário a busca por meios alternativos e sustentáveis de produção energética, uma vez que a capacidade de expansão da produção de energia elétrica por meios hídricos é barrada por limitações físicas e por uma postura rígida das autoridades ambientais quanto à construção de novas hidroelétricas (SOUSA; MACEDO, 2010).

O processo de cogeração bioenergética consiste na transformação de energia térmica, produzida a partir da queima da biomassa, em mais de uma forma de energia útil. Sendo as formas mais frequentes de energia produzidas a energia mecânica e energia elétrica. As matérias primas utilizadas para a produção da bioeletricidade são: o bagaço da cana-de-açúcar, após ter passado pelo processo de moagem e ter-se extraído todo o melado e açúcares, e a palha da cana remanescente no campo de cultivo após a colheita (KLOC, 2016).

Convém destacar que desde o início da utilização da cana-de-açúcar como matéria prima e da subsequente fabricação de seus subprodutos, o bagaço da cana foi descartado e empregado como lixo por parte das usinas, somente na década de 1980 que esse material passou a fazer parte do processo produtivo, sendo reaproveitado tanto na produção do etanol de segunda geração e na cogeração de energia elétrica, como também servindo de matéria prima para fertilizantes e para a indústria de papel (LOBO, 2013).

A transformação da biomassa em energia elétrica ocorre após a cana-de-açúcar passar por todo o processo de corte, limpeza e transporte, sendo enviada para um triturador composto por rolos compressores que exercem uma forte pressão dando início a moagem, esse procedimento é repetido algumas vezes acrescentando-se água para que o açúcar da cana seja diluído e extraído com maior facilidade e eficiência, estima-se que cerca de 96% do açúcar total seja extraído da cana após este 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, entram em combustão gerando vapor. Esse vapor é direcionado para as turbinas onde pode ser transformado tanto em energia mecânica, utilizada diretamente no acionamento dos equipamentos da usina, como em energia térmica, gerando calor para o processo de fabricação do álcool e do açúcar. É importante destacar que parte desse vapor volta ao estado líquido através de um condensador para que posteriormente possa ser enviado para as caldeiras transformando-se novamente em vapor, contribuindo assim para um ciclo sem perdas.

Por fim um gerador é alimentado pelo movimento da turbina fornecendo energia para a unidade produtora. Estima-se que a energia produzida pelo processo de cogeração tem o potencial de atender completamente as demandas produtivas da usina, além da possibilidade de fornecer também um excedente de energia elétrica que pode ser comercializado no mercado nacional, esse excedente pode variar entre 0% e 10% (KLOC, 2016).

A bioenergia produzida no setor sucroenergético é de grande importância ambiental, pois além de tornar o setor autossuficiente em energia elétrica ainda tem a possibilidade de produzir um excedente que pode ser comercializado. Outro aspecto positivo da produção bioenergética é que o excedente produzido entra no setor elétrico nos meses em que o país sofre com baixos índices de pluviosidade, devido à época de colheitas, complementando assim o parque hídrico nacional sem que seja necessária a queima de combustíveis fósseis para gerar eletricidade (OLIVEIRA, 2014).

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

Em contrapartida, Paoliello (2006) e Lobo (2013) mostram que os entraves ao uso do bagaço da cana 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, resultado da matéria prima compactada, possua densidade energética seis vezes maior, além de ser mais eficiente quando se trata de armazenamento e transporte.

É importante destacar que, segundo dados do UNICA (2016), o volume de bioeletricidade oferecida ao sistema nacional pode aumentar em até oito vezes no ano 2024, tendo por base os dados de 2014. Além disso, o Brasil está entre os países com maior capacidade de geração de bioenergia instalada, com cerca de 15,3% do total mundial, somente no ano de 2015 houve um crescimento de 7% da oferta energética oriunda da utilização da biomassa.

4 POTENCIAL BRASILEIRO NA PRODUÇÃO DE ETANOL 2G E COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

4.1 POTENCIAL BIOENERGÉTICO

Atualmente o Brasil se destaca pela sua grande produtividade no setor sucroenergético e por possuir uma imensa área de plantio reservada para a cultura canavieira, só no ano de 2016, segundo dados do UNICA (2016) foram registrados 666.824 mil toneladas de cana-de-açúcar moída, sendo destas, 617.709 mil referentes à região centro-sul do país, destinadas tanto à produção de açúcar e etanol quanto ao processo de cogeração de energia elétrica.

A biomassa proveniente da cultura canavieira tem sido matéria-prima para produção de energia há pelo menos duas décadas, entretanto, sua utilização era voltada prioritariamente para a autossuficiência das unidades produtoras, sem que fossem focados investimentos na produção de energia elétrica excedente para a comercialização UNICA (2016).

Essa situação começou a mudar em meados de 2003, quando o Programa de Incentivo às Fontes alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) foi posto em vigor. Sendo tido como um

instrumento de diversificação da matriz energética nacional, o PROINFA incentivava as indústrias a produzir energia elétrica a partir de fontes renováveis, garantido, em parceria com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) um programa de apoio para investimentos em fontes renováveis de energia elétrica, que previa um crédito de financiamento de até 80% do investimento (com exceção da aquisição de terrenos e bens e serviços importados), amortizações por doze anos, carência de seis meses após iniciada a atividade comercial e o não pagamento de juros durante a construção da unidade produtora (RODRIGUES, 2005; NOVA CANA, 2015).

Para a análise concernente ao potencial produtivo bioenergético nacional, oriundo da cultura canavieira, é levado em consideração os resultados obtidos por Rodrigues (2005), que aborda em seu estudo quatro diferentes tipos de sistemas produtivos de cogeração de energia elétrica no setor sucroenergético.

O primeiro sistema é uma instalação típica do setor sucroenergético que opera fazendo uso de caldeiras com baixa eficiência térmica e reduzida pressão, nelas a biomassa da cana-de-açúcar entra em combustão gerando vapor, que é encaminhado para turbinas de simples estágio transformando a energia térmica em energia mecânica para o acionamento de equipamentos da unidade produtora ou produzindo energia elétrica através de um gerador.

No segundo sistema as caldeiras anteriormente utilizadas são substituídas por caldeiras que operam em alta pressão e produzem elevada eficiência térmica, proporcionando assim uma otimização do combustível utilizado. Nesse sistema, após a queima da biomassa o vapor gerado é encaminhado desta vez para turbinas de multiestágio.

No terceiro sistema é instalada a eletrificação no processo produtivo, onde as turbinas de acionamento mecânico são substituídas por motores elétricos que produzem com alta eficiência, permitindo que o vapor antes destinado às turbinas seja agora utilizado ao longo dos estágios da turbina multiestágio proporcionando assim seu maior aproveitamento.

No quarto e último sistema é implementada uma otimização no consumo de vapor da unidade produtora.

Os resultados obtidos do estudo de Rodrigues (2005) são apresentados a seguir, na Tabela 2. É importante destacar a premissa de que a geração potencial e excedente de energia obtida em cada um dos sistemas de produção utilizados é calculada a partir da moagem de uma tonelada de cana-de-açúcar, tendo como objetivo generalizar os resultados.

Tabela 2 – Potencial produtivo e excedente dos sistemas de cogeração elétrica (kWh/tc)

Sistemas	Definição	Produção kWh/tc	Excedente kWh/tc
I	Sistema de Baixa Eficiência Térmica	13,0	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: Elaborado pelos autores segundo dados de Rodrigues (2005) e Kloc (2016).

Como pode-se observar, a cada melhoria que é implementada no processo produtivo aumenta-se tanto a geração Kwh/tc (Quilowatt-hora por Tonelada de Cana) de energia elétrica produzida quanto seu excedente disponível para comercialização. Além disso, os resultados obtidos da moagem de uma tonelada de cana-de-açúcar para os diferentes sistemas produtivos podem ser facilmente ampliados para qualquer quantidade de cana moída, obtendo-se assim o total de produção energética para qualquer período no tempo. Assim sendo, com base nos dados da quantidade total decana-de-açúcar moída no Brasil na safra 2015/2016, obtém-se a produção de energia elétrica total para cada um dos diferentes sistemas produtivos.

Tendo na safra 2015/2016 um acumulado de 666.824 mil toneladas de cana-de-açúcar moída no país (Tabela 3), estima-se 8.668 Gwh produzidos pelo Sistema de Baixa Eficiência Térmica, sem produção excedente; 53.346 Gwh produzidos pelo Sistema de Alta Eficiência Térmica, com um excedente de 43.477 Gwh disponíveis para a comercialização; 79.552 Gwh

produzidos pelo Sistema com Eletrificação, com um excedente de 60.347 Gwh; e 86.820 Gwh produzidos se levado em consideração o Sistema Otimizado, com um excedente disponível para comercialização de 67.682 Gwh. Para uma análise mais precisa do quão significativo é a produção de energia elétrica por meio do processo de cogeração da biomassa da cana, é apresentado na Tabela 3 uma comparação entre os quatro diferentes tipos de sistemas produtivos e o total de energia elétrica consumida no Brasil, tanto no âmbito integral quanto no residencial.

É importante destacar que os resultados apresentados na Tabela 3, que segue, são baseados nos dados de consumo de energia elétrica total e residencial do Brasil no ano 2015/2016. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (2016), o consumo energético total do país foi de 471.621 Gwh, enquanto o consumo residencial atingiu os 134.194 Gwh.

Tabela 3 – Comparativo da produção bioenergética nacional em relação ao consumo total/residencial de energia elétrica – Safra (2015/2016) – ano (2015/2016)

Sistemas	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%	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: Elaborado pelos autores segundo dados de Rodrigues (2005), UNICA (2016) e EPE (2016).

Pela análise da Tabela 3 observa-se o potencial de produção energética do Brasil, em que apenas o excedente produzido pelo segundo sistema de produção (Alta Eficiência Térmica) representa 9,2% do total de energia elétrica consumida no país e 32,4% do consumo residencial. Quando comparado ao sistema “III” de eletrificação, esse percentual se eleva para 12,8% do consumo total de energia elétrica e 45% do consumo residencial. Se for investido na otimização do processo produtivo, pode-se notar o quão expressivo é o potencial de geração energética pelo processo de cogeração, sendo o excedente produzido capaz de abastecer 14,3% do consumo total de energia elétrica do país 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, se implementado o processo otimizado nas unidades produtoras.

É relevante destacar que a agroindústria canavieira apresenta taxa de crescimento a cada ano e, segundo projeções de Kloc (2016) esse potencial de geração energética tende a ser ampliado, estima-se que na safra 2030/2031 a produção bioenergética, via cogeração dos subprodutos da cana, representará cerca de 23% do total de energia elétrica consumida no país, contribuindo assim, em complementaridade à produção hídrica nacional e para a construção de uma matriz energética relativamente mais limpa e renovável.

A análise dos dados desta seção destaca a relevância de incentivos à produção e comercialização de energia proveniente de cogeração bioenergética. Por um lado para complementar a geração de energia no Brasil e por outro, porquanto a cogeração pode significar um aumento no resultado financeiro das unidades produtoras (UNICA, 2016).

4.2 POTENCIAL DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO (2G)

A matriz de combustíveis brasileira transitou por significativas mudanças nos últimos anos. Na primeira década dos anos 2000 a tecnologia *flex-fuel* trouxe o crescimento da frota de veículos leves para o país, ocasionando no aumento do consumo de biocombustíveis, suprido principalmente pela produção interna de etanol. Entretanto, após 2010, devido à falta de investimento em tecnologias e novas plantas para o setor sucroenergético, a competitividade dos biocombustíveis decresceu, principalmente a do etanol, fazendo com que a gasolina reemergisse como principal combustível utilizado, implicando no aumento da quantidade de importações dada a baixa

capacidade de refino nacional (MILANEZ *et al.*, 2015).

Devido ao aumento do consumo da gasolina, a elevação dos preços do petróleo e a possibilidade de futura escassez mundial dos combustíveis fósseis, somada ao crescimento da frota de veículos em circulação e a crescente preocupação com os avanços do aquecimento global, faz-se necessário a busca por mecanismos que resgatem a competitividade do etanol e dos biocombustíveis. Neste cenário, a adoção de novas tecnologias como o etanol de segunda geração é imprescindível para a retomada das atividades econômicas do setor sucroenergético (KHANNA; ZILBERMAN, 2017).

Segundo Rosa e Garcia (2009) o etanol 2G nasce da biomassa proveniente da cultura canavieira (bagaço e palha da cana-de-açúcar), ou seja, é obtido a partir dos resíduos da produção do etanol de primeira geração. Essa condição colabora para o entendimento de que a tecnologia necessária para a produção do etanol 2G pode ser facilmente adaptada às unidades produtoras já instaladas de etanol de primeira geração, reduzindo assim os custos de instalação de novas usinas voltas exclusivamente para a produção de etanol 2G.

Ambientalmente, segundo dados da Granbio (2015), 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), colaborando assim para a comercialização dos créditos de carbono. Segundo, por não ser necessário aumentar a área de plantio, uma vez que a matéria-prima utilizada na produção do etanol 2G é composta exclusivamente por resíduos de culturas já existentes.

No que tange ao Brasil, segundo Milanez et al (2015) e Granbio (2015), no ano de 2015 o país contava com uma capacidade instalada de produção de cerca de 140 milhões de litros de etanol 2G por ano, desses, 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 ainda seja pequena, comparada com o grande volume de combustíveis demandado pelo país, projeta-se 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, 2015).

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

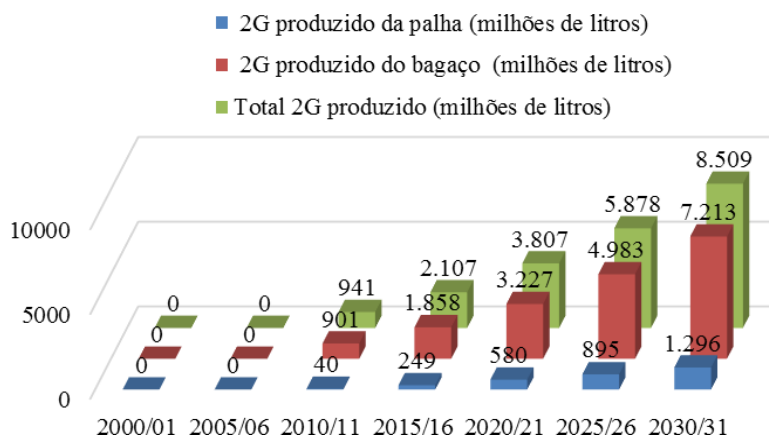
Entretanto, a produção de biocombustíveis de um modo geral enfrenta alguns obstáculos a serem superados. Segundo Rosa e Garcia (2009) uma das principais barreiras à produção dos biocombustíveis no longo-prazo, está no trade-off entre a disposição das áreas de plantio destinadas à produção de alimentos e as áreas reservadas às culturas de biomassa, necessárias para produção dos biocombustíveis. Outra limitação à produção dos biocombustíveis, principalmente ao etanol 2G, é a concorrência no uso da matéria-prima em relação ao processo de cogeração de energia elétrica, uma vez que o processo de obtenção da bioenergia também faz uso do bagaço e da palha da cana-de-açúcar para a sua produção.

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, uma nova variedade de cana desenvolvida especialmente para a segunda geração do etanol. Essa variedade possui maior teor em fibras acarretando em um aumento do potencial produtivo, assim exige menor quantidade de água e se adapta a solos menos férteis, permitindo sua exploração em

regiões desfavorecidas (GRANBIO, 2015; MORAIS ET AL., 2017).

Segundo projeções de Kloc (2016) a produção de etanol 2G pode alcançar a faixa dos 8,5 bilhões de litros produzidos na futura safra 2030/2031, sendo 7,2 bilhões de litros referentes a produção a partir do bagaço da cana, e 1,3 bilhões produzidos tendo como matéria-prima a palha da cana, representando um aumento na disponibilidade de etanol de cerca de 18,37%. Tal potencial é demonstrado na Figura 6, que segue.

Figura 6 – Projeção da produção de Etanol 2G (milhões de litros)



Fonte: Elaborado pelos autores, segundo dados de Kloc (2016).

Assim, pode-se verificar, de acordo com os dados apresentados, o potencial que este subproduto do setor sucroenergético tem a oferecer à matriz de combustíveis nacional, se destacando como um combustível renovável e economicamente viável, que pode ser acessível a qualquer país que possua resíduos de produção agrícola, sendo necessária a iniciativa do setor privado, investindo em novas tecnologias e métodos de produção, suportada por ações do setor público, conduzindo políticas públicas que garantam um ambiente favorável à competitividade do setor sucroenergético.

5 CONCLUSÃO

Este artigo teve por objetivo identificar o potencial produtivo dos novos produtos do setor sucroenergético, tendo como foco o processo de cogeração de energia elétrica e a produção de etanol de segunda geração, averiguando se esses tem capacidade de suprir a demanda energética nacional caso ocorram futuros esgotamentos das fontes não renováveis de energia ou políticas ambientais restritivas quanto a emissão de gases poluentes, causadores do aquecimento global. À vista disso, com base nas análises realizadas, pode-se constatar o expressivo potencial que ambos os produtos do setor tem a oferecer para a melhora da composição econômica e ambiental da matriz energética brasileira.

No que tange à análise relativa à produção bioenergética, pode-se destacar a grande capacidade instalada que o Brasil possui, uma vez que a tecnologia empregada no processo de cogeração de energia elétrica se encontra em um estado avançado, dada a experiência histórica nacional no uso dos resíduos da cultura canavieira. Além da maturidade tecnológica, a produção bioenergética ainda conta com uma matéria-prima acessível e barata, uma vez que faz uso dos resíduos da produção de etanol 1G. Assim, para que o setor possa aumentar sua rentabilidade e nível de produção, é fortemente incentivado investimentos em aprimoramento das tecnologias instaladas, como o processo de otimização dos sistemas produtivos, que teria 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 seu excedente produzido.

Outro ponto importante a ser destacado a favor da produção bioenergética é sua complementaridade sazonal em relação ao parque hídrico brasileiro, uma vez que existem tanto limitações físicas como políticas ambientais rígidas que barram a instalação de novas usinas hidroelétricas, fazendo da produção bioenergética uma alternativa para suprir a demanda energética nacional.

Quanto ao potencial produtivo referente ao etanol de segunda geração é relevante destacar que, embora suas tecnologias ainda se encontrem em um estágio inicial de desenvolvimento, possuindo um nível de produção relativamente pequeno quando comparado a enorme quantidade de combustíveis demandada pelo país, é importante mencionar o cenário otimista em que tal produto se encontra, estimando-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 biocombustíveis convencionais (etanol 1G) quanto dos combustíveis fósseis (petróleo).

Pode-se então concluir que embora ainda existam algumas limitações a serem superadas pelo setor sucroenergético, deve-se destacar o enorme potencial que seus subprodutos, tanto a produção bioenergética quanto o etanol de segunda geração, tem a oferecer para assegurar uma maior autonomia econômica e sustentabilidade energética da matriz brasileira. É importante mencionar também a necessidade de investimentos e pesquisas que colaborem para o crescimento deste setor, garantindo uma maior produtividade energética em detrimento dos custos de produção. Cabendo 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. MRE. Ministério das Relações Exteriores. **A História Política e o Uso de Etanol como Combustível**. Disponível em: <<http://www.h2brasil.com/parte-2/2-3-2>>. Acesso em: 15 out. 2009.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil**. Pref. Setor açúcar álcool Brasil. Brasília, v.5, p1-88, 2013.

_____. _____. **Acompanhamento da safra Brasileira cana-de-açúcar**. Acomp. Safra bras. cana, v. 3 - Safra 2016/17, n. 2 - Segundo levantamento, Brasília, p. 1-72, agosto 2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 22 jan. 2017.

MME. EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2016 – Ano base 2015**. Disponível em: <<http://www.cbdb.org.br/informe/img/63socios7.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

_____. _____. **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistência) – 2004-2016. 2016**. 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 mai. 2017.

FERREIRA, L. **Caracterização do Potencial Energético Entre a Produção de Etanol Celulósico e a Cogeração a Partir do Bagaço da Cana**. 2012. Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico. Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

GRANBIO. **Bioflex I e Do Campo ao Tanque**. 2015. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/conteudos/biocombustiveis/>>. Acesso em: 13 abr. 2017.

_____. **Cana-Energia**. 2015. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/conteudos/cana-energia/>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

GRAVELLO, B. M. **Inserção externa e perspectivas do setor sucroenergético brasileiro para o período recente**. 2017. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas). Centro de Estudos Sociais Aplicados, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

KHANNA, M.; ZILBERMAN, D. **Handbook of Energy Economics and Policy**: Volume II. 1. ed. Nova Iorque: Springer, 2017.

KLOC, F. **Potencial Econômico e Energético dos Novos Produtos do Setor Sucroenergético Brasileiro**. 2016. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas). Centro de Estudos Sociais Aplicados, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

CTBE. Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol. **Etanol Celulósico Dever Ser Economicamente Viável em 2020**. 2015. Disponível em: <<http://ctbe.cnpm.br/etanol-celulosico-deve-ser-viavel-2020/>>. Acesso em: 17 maio 2017.

LOBO, C. **A Importância da Cogeração Utilizando Bagaço de Cana-de-Açúcar com Forma de Diversificação da Matriz Energética**. 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MESQUITA, E.; OLIVEIRA, R. **As Reformas Liberais da Década de 90: as Políticas da “Terceira Via” e o Novo Ambiente Institucional no Setor Sucroalcooleiro Brasileiro**. XXXII Encontro da ANPAD 2008. Disponível em: <<http://www.anpad.org.br/admin/pdf/APS-A1211.pdf>>. Acesso em: 4 dez. 2016.

MILANEZ, A. *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, v41, p237-294, 2015.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira**. Exercício de 2014 Edição de junho de 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

MORAES, M. A. F. D.; ZILBERMAN, D. **Production of ethanol from sugarcane in Brazil**. London: Springer, 2014.

MORAIS, P. P. *et al.* Etanol de 2 geração: atual produção e perspectivas. **Bioenergia em Revista: diálogos**, ano. 7, n.1, p.45- 57, 2017.

NOVA CANA. **BNDES: custo de produção de etanol 2G será menor do que de 1G até 2020**. 2015. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/bndes-custo-producao-etanol-2g-menor-1g-2020-240315/>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

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

PAOLIELLO, J. **Aspectos Ambientais e Potencial Energético no Aproveitamento de Resíduos da Indústria Sucroalcooleira**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006.

RODRIGUES, L. Análise energética de diferentes sistemas de cogeração com bagaço de cana-de-açúcar. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista, Ilha

Solteira, 2005.

ROSA, S.; GARCIA, J. O etanol de segunda geração: limites e oportunidades. 2009. **Revista do BNDES** 32, p117-156 dezembro 2009. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/7046>>. Acesso em: 25 fev. 2017.

SHIKIDA, P. F. A.; AZEVEDO, P. F.; VIAN, C. E. F. Uma análise das capacidades tecnológicas da agroindústria canavieira em Minas Gerais. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 8, p. 251-277, 2010.

SILVA, S. S.; ZAPPAROLI, I. D. Desenho da Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do Etanol Combustível pelo Método CML 2000. **Anais do IX ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO**. Brasília: UnB, outubro de 2011.

_____. **Avaliação do ciclo de vida do etanol combustível: uma análise econômica, social e ambiental**. São Paulo: NEA, 2014.

_____. Análise ambiental do ciclo de vida do etanol combustível. **ECONOMIA & REGIÃO**, v. 5, p. 129-155, 2017.

SILVA, S. S.; ZAPPAROLI, I. D.; CAMARA, M. R. G. Gestão ambiental do Etanol Combustível do Grupo Santa Terezinha /Unidade Paranacity - Paraná – Brasil. **ESPACIOS (CARACAS)**, v.37, p.9 - 9, 2016.

SOUSA, E.; MACEDO, I. **Etanol e Bioeletricidade: A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Luc Projeto de comunicações, 2010.

SZMRECSÁNYI, Tamás. Efeitos e Desafios das Novas Tecnologias na Agroindústria Canavieira. MORAES, Márcia Azanha F. Dias de; SHIKIDA, Pery Francisco Assis (Org.) **Agroindústria Canavieira no Brasil: Evolução, Desenvolvimento e Desafios**. São Paulo: Atlas, 2002, 367 p.

THOMAS, J. M.; CALLAN, S. J. **Economia Ambiental**: aplicações, políticas e teoria. São Paulo: Cengage Learning, 2016

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

_____. **Maturidade Tecnológica Aumentará Competitividade do Etanol 2G no Brasil**.

2016. Disponível em:

<<http://www.unica.com.br/noticia/29063662920324775593/maturidade-tecnologica-aumentara-competitividade-do-etanol-2g-no-brasil/>>. Acesso em: 5 mar. 2017.

_____. Consumo de combustíveis. 2016. **UNICADATA**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-consumo-de-combustiveis.php?idMn=11&tipoHistorico=10>>. Acesso em: 19 nov. 2016.

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