

19 a 21 de outubro Ponta Grossa - PR - Brasil

ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO: INOVAÇÃO NO SETOR SUCROALCOOLEIRO

SECOND GENERATION ETHANOL: INOVATION IN THE SUCROALCOOLER SECTOR

ÁREA TEMÁTICA: 7. INOVAÇÃO, TECNOLOGIA E EMPREENDEDORISMO

Stéphani Cetímia Mariotti Ruiz, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Brasil,
stephani.ruizunicamp@gmail.com

Resumo

O artigo apresenta a trajetória do etanol de segunda geração e os enclaves que o cerca para a sua difusão tecnológica e econômica como alternativa para os resíduos da cana-de-açúcar sem a queima para produção de energia elétrica e com o desenvolvimento sustentável. Através da pesquisa bibliográfica, documental e legislativa foi possível verificar que a tecnologia do EG2, é uma alternativa para aumentar a produtividade da cana na produção de etanol sem aumentar a área plantada, o aumento da demanda por combustíveis de fontes renováveis e a escassez dos combustíveis fósseis e diminuição do dilema na tomada de decisão no quesito de fornecimento de alimentos versus produção de combustíveis. Entretanto, o EG2 por ser uma vertente da trajetória tecnológica do etanol convencional, ainda possui desafios a serem sanados para a sua difusão como biocombustível competitivo e com baixo custo de produção no mercado, enfrenta obstáculos técnicos químicos-biológicos, organizacionais e gestão, governamentais de incentivo e regulamentação, além dos interesses privados e apropriação de lucros. No Brasil, o desenvolvimento desse biocombustível avançado em escala comercial e competitivo está em fase embrionária, mas com expectativas de crescimento com a criação de mercados para compra e venda de bagaço e palha de cana-de-açúcar, do mercado de carbono, vinculado com a política energética RenovaBio, como contrabalancear a emissão de dióxido de carbono pelos agentes econômicos.

Palavras-chave: Etanol de segunda geração; trajetória tecnológica; alternativa energética; biorefinárias.

Abstract

The article presents the trajectory of second generation ethanol (EG2) and the enclaves that surround it for its technological and economic diffusion as an alternative to sugarcane residues without burning for the production of electric energy and with sustainable development. Through bibliographic, documentary and legislative research it was possible to verify that the EG2 technology is an alternative to increase sugarcane productivity in ethanol production without increasing the planted area, the increased demand for fuels from renewable sources and the scarcity of fuels fossils and reduced dilemma in decision making regarding food supply versus fuel production. However, EG2 is a part of the technological trajectory of conventional ethanol, it still has challenges to be solved for its diffusion as a competitive biofuel and with low production cost in the market, it faces technical chemical-biological, organizational and management obstacles, from incentive and regulation, in addition to private interests and profit appropriation. In Brazil, the development of this advanced biofuel on a commercial and competitive scale is in an embryonic stage, but with growth expectations with the creation of markets for the purchase and sale of bagasse and sugarcane straw, from the carbon market, linked with the RenovaBio energy policy, how to offset the carbon dioxide emission by economic agents.

Keywords: *Second generation ethanol; technological trajectory; energy alternative; biorefineries.*

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de utilizar combustíveis para o desenvolvimento das sociedades ser elementar nos debates mundiais, a sua importância se alavanca nos meios acadêmicos para o desenvolvimento de alternativas energéticas para o fornecimento sustentável de combustíveis. Os desafios energéticos são de interesse mundial por estarem entrelaçados com várias incógnitas de interesses governamentais. Pois no início os combustíveis fósseis eram os únicos usados para produção de energia, ao passar do tempo, notou-se a diminuição desse tipo de combustíveis, por serem justamente de fontes limitadas (como por exemplo o petróleo). Assim, para promoção da segurança energético houvesse a necessidade do desenvolvimento de combustíveis alternativos aos convencionais, que promovessem energia, mas que não contribuisse de forma negativa ao desenvolvimento sustentável do planeta, pois os combustíveis convencionais causam degradação ao meio ambiente e fortalecem o aquecimento global (Bastos, 2012).

Neste contexto, emerge a demanda por alternativas energéticas com bases sustentáveis, que não competem diretamente com a produção de alimentos mundiais, pelo fato do crescimento exponencial da população e pela expectativa de vida prolongada. Assim, após as primeiras crises do petróleo na década de 1970, iniciou uma jornada entre as nações para o desenvolvimento de alternativas energéticas, no Brasil, emergiu o etanol de primeira geração como produto substituto da gasolina (derivado do petróleo), sendo um combustível derivado da fermentação da cana-de-açúcar, cultura já utilizada para produção de açúcar em território brasileiro (Nyko et al., 2010; Bastos, 2012).

Mas a produção de etanol de primeira geração desencadeia outros desafios, pois o resíduo gerado pelas biorefinárias são utilizados para produção de energia elétrica com a queima do bagaço, ou seja, mesmo promovendo um descarte lucrativo, existe a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, voltando a se comparar com os combustíveis fósseis de produção de energia via queima do material (Pacheco, 2011; De Sousa et al., 2013)

Assim, além do aumento do consumo global de energia, a necessidade de desenvolver combustíveis alternativos aos combustíveis fósseis e reduzir as emissões de poluentes tem aumentado. O grande desafio agora, acima da sustentabilidade, é a viabilidade econômica e fatores institucionais. Com o acordo de mudança climática de Paris (COP-21 Paris), houve a necessidade de mudanças nas bases de energia, de fósseis a renováveis ou sustentáveis. O acordo visa principalmente incentivar o uso de biocombustíveis e reduzir queimadas. Deste modo, para alternativa de queima do bagaço e da palha da cana-de-açúcar - e também de outras fontes de produção de etanol com material de fonte alimentícia, o desenvolvimento do etanol de segunda geração (E2G), sendo produzido através do resíduo da cana-de-açúcar, ou seja, da biomassa da cana (Meneguello & Castro, 2007; Pacheco, 2011).

A tecnologia alternativa para a destinação da biomassa gerada é a produção do E2G ou o etanol celulósico, como também é conhecido, produz etanol semelhante ao de E1G, porém com a utilização da biomassa, que ao invés de ser queimada, passa um novo processo produtivo, em síntese, por fermentação controlada e destilação de resíduos vegetais. Promovendo um aumento na produtividade das plantações de cana devido ao reuso de palha e bagaço (Rosa & Garcia, 2009; Pacheco, 2011).

Entretanto, o etanol de segunda geração, por ser uma vertente da trajetória tecnológica do etanol convencional, ainda possui desafios a serem sanados para a sua difusão como combustível competitivo e com baixo custo de produção no mercado. Pois, mesmo sendo um biocombustível gerado a partir de resíduos agrícolas, ou seja, que não compete diretamente com a promoção de alimentos (ao contrário do etanol convencional, cuja produção pode ser da cana-de-açúcar, milho, beterraba, girassol, entre outras), pois pode ser gerado a partir dos resíduos dessas culturas e de outras culturas não comestíveis, ele enfrenta obstáculos técnicos químicos-biológicos, organizacionais e de gestão, governamentais de incentivo e regulamentação, além dos interesses privados e apropriação de lucros (Bastos, 2012; Junqueira et al, 2017; Sharma & Sharma, 2018; Hirani et al, 2018; Lorenzi & Andrade, 2019).

Deste modo, para compreensão da trajetória do etanol de segunda geração e os enclaves que o cerca para a sua difusão tecnológica e econômica como alternativa para os resíduos da cana-de-açúcar sem a queima para produção de energia elétrica e com o desenvolvimento sustentável com economia circular, o artigo será exposto em cinco seções, sendo a primeira a compreensão inicial sobre a classificação de biorefinárias e biocombustíveis, passando para segunda sessão, que abordará a trajetória evolutiva do setor sucroalcooleiro brasileiro e a produção de cana de açúcar como principal fonte energética renovável.

A terceira sessão identifica quais foram os motores que impulsionaram o desenvolvimento do etanol de segunda geração, ou seja, porque essa tecnologia alternativa emergiu; já na quarta sessão será feita uma análise sobre a trajetória na produção de etanol de segunda geração no Brasil de 2014 a 2019 com a utilização principal do relatório Brazil Biofuels Annual da United States Department of Agriculture e por fim, na quinta sessão apresentará os desafios técnicos a serem desenvolvidos como oportunidade na corrida para segurança energética de fontes renováveis e sustentáveis.

2. CLASSIFICAÇÃO DE BIOREFINÁRIAS E BIOCMBUSTÍVEIS

Para iniciarmos a discussão sobre a evolução do setor sucroalcooleiro e os desdobramentos tecnológicos existentes para produção de biocombustíveis a partir da biomassa residual dos processos de produção de etanol convencional (ou conhecido como etanol de primeira geração), se torna necessário compreender o que é uma biorefinária, quais são os tipos de agroindústrias que realizam esse processo na cadeia produtiva de biocombustíveis derivados da cana-de-açúcar e seus resíduos (bagaço e palha).

Uma biorefinária é classificada como um arranjo industrial que tem como objetivo a produção de combustíveis líquidos, energia e derivados químicos através de matéria prima orgânica de fontes renováveis, por isso utiliza-se o prefixo “bio”, pois uma refinaria (tradicionalmente refina petróleo) para produção dos itens anteriores, a biorefinária se diferencia no principal insumo utilizado. A principal matéria-prima utilizada em uma biorefinária convencional é a biomassa, produzida a partir de fontes orgânicas vivas ou de substratos residuais, como por exemplo: culturas energéticas, biomassa residual, resíduos florestais, resíduos agrícolas, culturas lignocelulósicas, oleaginosas e aquáticas (Kamm & Kamm, 2004; Clark & Deswarte, 2015; Pérez, 2017).

Antes da discussão sobre o tipo de energia líquida, gás ou elétrica que podem ser desenvolvidas é fundamental a classificação de biorefinárias mediante quais insumos são utilizados e quais são os produtos finais gerados, sendo assim, segundo Pérez et al. (2017) e Kamm e Kamm (2004), existe a biorefinária “fase I” que utiliza-se apenas de um tipo de matéria-prima e produz apenas um único produto final; já a de “fase II” utiliza-se de apenas um matéria-prima, mas gera vários produtos finais; e finalizando, a biorefinária de “fase III” que utiliza-se de vários tipos de matérias-primas e produzem diversos produtos finais.

É importante salientar que, quanto mais diversificada for produção de produtos finais, mais flexível a mudanças de mercado a biorefinária será, entretanto, lembrando que para obter variedades de produtos finais é essencial a utilização de tecnologias físicas, humanas e técnicas para geração dessa flexibilidade em relação ao fornecimento de insumo, alteração de preços e demanda do consumidor (Bastos, 2012).

Deste modo, pode-se então classificar os tipos de biocombustíveis que as biorefinárias podem vir a produzir mediante a tecnologia utilizada e os seus objetivos comerciais, sendo classificados como: biocombustíveis de primeira geração (1G) cuja matéria-prima são sementes, cereais ou culturas com alto valor energético (açúcares) que produzem bioetanol, butanol e biodiesel; os de segunda geração (2G) cuja matéria-prima são biomassa residual ou lignocelulósica que produzem bioetanol, butanol, metanol ou biometano; e de terceira geração (3G) cuja matéria-prima é derivada de culturas aquáticas (algas) que produzem bioetanol, biodiesel e hidrogênio (Farias, 2014).

3. SETOR SUCROALCOOLEIRO BRASILEIRO E A PRODUÇÃO DE CANA DE AÇÚCAR COMO PRINCIPAL FONTE ENERGÉTICA RENOVÁVEL

A partir da classificação das biorefinárias e os biocombustíveis, no Brasil, se iniciou com a produção de biocombustível de primeira geração em biorefinárias de fase II (produção de etanol e açúcar como produto final). Assim, a evolução do bioetanol de primeira geração derivado da cana-de-açúcar não se limita apenas na expansão técnica de sua produção, mas sim, quais foram os fatores essenciais para o seu desenvolvimento e difusão tecnológica dominante como alternativa energética. Além dos problemas enfrentados no decorrer de sua trajetória para sustentação competitiva como biocombustível no Brasil.

Em relação a corrida energética alternativa ao combustível fóssil se iniciou a partir da década de 1970, pois anterior a essa data, a produção de etanol estava ligada apenas na promoção de álcool para insumo industrial química, de bebidas e fins hospitalares, ou seja, para fins não energéticos. Porém nos anos 70 do século XX, no Brasil, criou-se o Programa Nacional do Álcool – Proálcool, por iniciativa governamental para o desenvolvimento de alternativa energética ao petróleo, tal tomada de decisão justificada, principalmente pela dependência energética que o Brasil possuía com os países extratores de petróleo, além da desestabilização energética brasileira causada pelas duas crises mundiais do petróleo, causando elevação nos preços dos barris de petróleo (Veiga Filho et al., 1981; De Andrade et al, 2009).

Fato este, que auxiliou no desenvolvimento do Proálcool, cujo incentivou a promoção de pesquisas sob ótica de alternativas energéticas e estabelecimento regulamentado sob adição de álcool à gasolina. Mas após a diminuição do preço do petróleo mundial, no final do século XX

houve a intensificação da produção de etanol no Brasil. Para exemplificação do aumento da produção de etanol no Brasil, o principal estado produtor de cana-de-açúcar e cujo possui a maior concentração de biorefinárias no Brasil, São Paulo, nos fornece dados em relação a esse salto produtivo. (Gonçalves et al., 2009). Os gráficos 1 e 2 identifica a relação que o estado de São Paulo em comparação ao Brasil possui similaridades em sua trajetória.

No gráfico 2, análise temporal de 1990 a 2018 no estado de São Paulo já nos mostra que, a área colhida de cana-de-açúcar foi de 1,8 a 5,6 milhões de hectares de 1990 a 2018, correspondente ao crescimento médio de 5% ao ano no período. A produtividade em 2018 foi de 78 t/ha, oscilando entre 72 e 86 t/ha no período, com taxa média de crescimento anual próxima de zero.

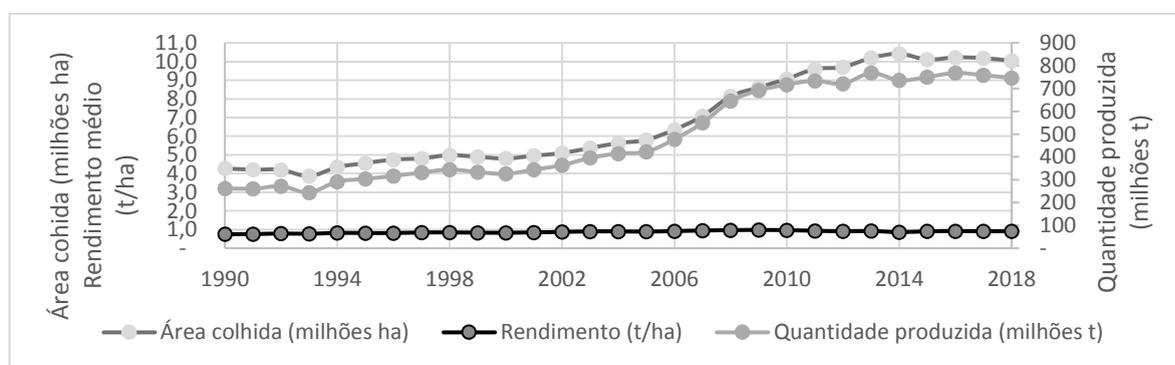


Gráfico 1. Área colhida, quantidade produzida e rendimento médio da produção das lavouras de cana-de-açúcar, Brasil, 1990 a 2018. Fonte: Elaborado pela autora.

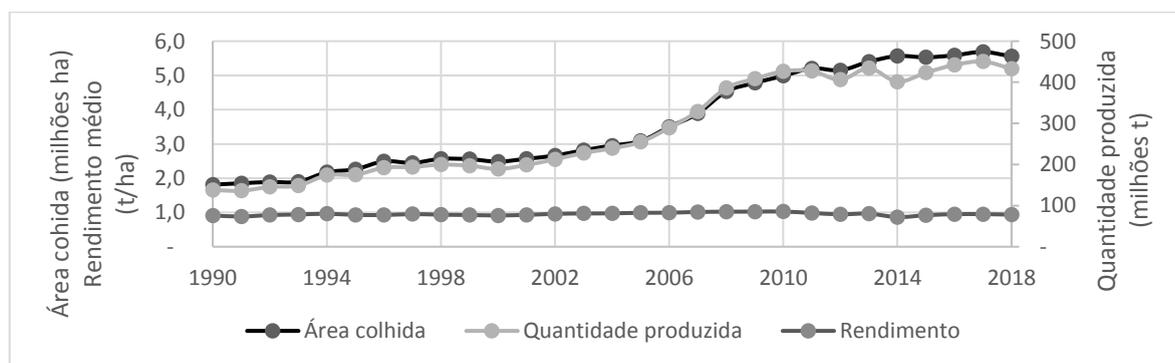


Gráfico 2. Área colhida, quantidade produzida e rendimento médio da produção das lavouras de cana-de-açúcar, Estado de São Paulo, 1990 a 2018. Fonte: Elaborado pela autora.

Pode-se separar a análise em 3 períodos: (i) 1990 a 2000, quando houve pequeno crescimento na área colhida, produção e rendimento; (ii) 2000 a 2010, com crescimento médio de 8,5% ao ano para área colhida, 5,3% para produção e 1,05% para produtividade; e (iii) 2010 a 2018, caracterizado pelo crescimento na área colhida, mas com oscilação na quantidade produzida. A partir de 2000, observou-se o aumento gradual da área colhida e quantidade produzida até 2017. O valor da produção seguiu tendência de crescimento semelhante à quantidade produzida, com oscilações que resultam da variação do preço médio pago ao produtor. A taxa de crescimento

da quantidade produzida foi de aproximadamente 6,2% entre 2000 e 2018, enquanto a taxa de crescimento do preço médio foi de -0,72%, com muita oscilação no período.

Tal representatividade do estado de São Paulo, justificada após a década de 1990, com as mudanças nas políticas para o setor canavieiro (incluindo mudanças na própria legislação) promoveram pequeno aumento da área colhida, produção e rendimento médio da produção, fato observado também por Rodrigues et al. (2016). Em 1994 foi criado o Programa ProCana, um convênio de cooperação entre o Instituto Agronômico de Campinas (IAC), as empresas da agroindústria do açúcar e do álcool e a Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola (Fundag), desenvolvendo maior flexibilidade entre os atores e financiamento privado para pesquisa. Os objetivos do ProCana estão diretamente relacionados ao melhoramento genético das variedades de cana para maior produção e concentração de açúcar. (Landell, 2003; Hasegawa & Furtado, 2005).

Até 2000, os produtores de cana-de açúcar recebiam apenas crédito para aquisição de maquinário e recursos públicos destinados à pesquisa e desenvolvimento, em relação aos produtores de milho, soja e café por meio dos instrumentos tradicionais de financiamento do custeio agropecuário (Gonçalves et al., 2009; CONAB, 2019).

Em 2003, foram lançados os primeiros veículos flex-fuel, movidos à gasolina e etanol. Paralelamente, houve a ampliação de pesquisa para a produção de combustíveis que pudessem ser substitutos ao diesel e gasolina, entre os quais destacou-se o etanol extraído da cana-de-açúcar (considerado o etanol de primeira geração). O objetivo era diminuir as importações de combustíveis fósseis e buscar uma maior autonomia perante os grandes exportadores de petróleo (Kohlhepp, 2010). O crescimento da frota de veículos flex-fuel, acompanhada de política energética da ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (lei ordinária 10.203/2001) para o desenvolvimento de biocombustíveis com adição de etanol à gasolina, em porcentagens obrigatórias superiores a 25%, justificada pela diminuição da liberação de dióxido de carbono para o meio ambiente, causando intervenção estatal para os produtores de cana, podem ter contribuído de forma determinante para a área colhida, valor da produção e quantidade produzida de cana (Bastos, 2007).

Mesmo com o fortalecimento do setor sucroalcooleiro brasileiro com níveis de investimentos positivos e com recordes de produção e área colhida, em 2008, com a crise imobiliária financeira mundial, não apenas o setor em estudo, mas praticamente todos os setores da economia passaram por uma recessão, entretanto, nesse período com as biorefinárias vulneráveis houve uma avalanche de fusões e aquisições, levando a formação de grandes consolidados produtivos.

Em síntese o Brasil, mesmo com uma trajetória positiva nos últimos 30 anos, o etanol possui problemas voltados aos seus resíduos, produtividade e desenvolvimento sustentável. Pois, restrições de oferta assombam a produção convencional de etanol, cuja utiliza-se de solos e lavouras que poderiam ser utilizadas para produção de alimentos, esse dilema afeta de forma negativa na difusão intensificada dos biocombustíveis convencionais.

Entretanto, a comunidade acadêmica, apontou alternativa esse dilema, de forma embrionária ainda, mas com avanços técnicos significativos. De forma a reutilizar os resíduos orgânicos (no caso, o bagaço e a palha da cana) para produção de etanol. Pois, com essa alternativa, diminuiria

os problemas causados em relação a produção de alimentos e ainda promoverá o aumento da produtividade da tonelada da cana em produção de etanol de segunda geração. Pois como já explicitado acima, para produção de E2G é utilizado a biomassa derivada dos resíduos agrícolas, de culturas não alimentícias e que podem ser cultivadas em terras com baixa fertilização e resíduos industriais.

4. MOTORES QUE IMPULSIONAM O DESENVOLVIMENTO DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

A principal diferença entre o E1G para o E2G é a sua matéria-prima elementar e os métodos de transformação para o biocombustível líquido. Historicamente o E1G (ou também como é conhecido, álcool etílico) é usado para vários processos industriais e fonte de combustão, de modo que, suas vantagens em relação aos combustíveis convencionais derivados de fósseis são o maior teor de oxigênio em sua massa, favorecendo uma combustão mais “limpa” ou menos nociva ao meio ambiente além sua compatibilidade com a mistura a gasolina, devido ao seu índice de octano que permite uma eficiência significativa em motores a combustão interna. (Goldemberg et al., 2008).

Mediante a essa especificação, alguns governos, em específico o governo brasileiro desenvolveu a política energética para incentivar e sancionar porcentagens obrigatórias de etanol na gasolina (apresentado acima). Neste contexto, diferente do E2G (que utiliza-se a biomassa lignocelulósica, como será explanado no decorrer desse artigo), o E1G de cana-de-açúcar é obtido pela fermentação simples de açúcares e destilação, finalizando com a desidratação, sendo um processo metalúrgico com utilização de ciência técnica bruta (Bastos, 2012; Farias, 2014).

A partir disso, como notou-se na exemplificação do Brasil com o extrato do estado de São Paulo, visualizou-se uma expansão de cultivares de cana-de-açúcar altamente significativos, pois para produção do E1G é fundamental um grande volume de cana, entretanto, também nota-se que mesmo com esse alavanque na área colhida e quantidade produzida, o rendimento médio produtivo não se alterou no decorrer dos anos, identificando assim, a necessidade de aumentar a produtividade da tonelada da cana na produção de etanol.

Entretanto é notável que para o sucesso produtivo do etanol de primeira geração em parâmetros de custo produtivo e produção em escala competitiva, as condições naturais do Brasil (por exemplo: clima, solo, adaptação da cultura da cana) foram essenciais, porém não exclusivas. Pois, para o alavanque na produção, a exportação e incentivo ao consumo doméstico, os esforços foram pautados em ações de cunho acumulativos historicamente, embarcada numa trajetória de aprendizagem em toda cadeia produtiva do etanol, conjugado com as inovações que foram difundidas de modo que auxiliassem no desenvolvimento favorável da tecnologia do etanol de primeira geração (Furtado et al. 2011).

Assim, para aumentar a produtividade da cana na produção de etanol, sem aumentar a área plantada, pois já foi comprovado que essa medida não aumentaria os rendimentos das toneladas por hectares (Cerqueira-Leite, et al., 2009). Notou-se a necessidade de desenvolver uma alternativa que contribui-se de forma positiva para indicador produtivo agrícola e que aumentasse a produção do etanol, mediante ao aumento da demanda por combustíveis de fontes renováveis com o objetivo de “frear” as consequências do aquecimento global, a escassez dos

combustíveis fósseis, tornar as cadeias de produção energéticas sustentáveis e que não competisse com a oferta e produção de alimentos no mundo e produção de ração animal, pois as sementes, cereais e culturas altamente energéticas que são utilizadas para produção do E1G não passaria ser mais o dilema na tomada de decisão no quesito de fornecimento de alimentos versus produção de combustíveis) (Sharma & Sharma, 2018; Zilberman, et al. 2013). Uma dessas alternativas surgiu com o desenvolvimento de uma nova trajetória tecnológica para o etanol comum (E1G), o etanol de segunda geração (E2G) (BNDES, 2016).

O bioetanol de segunda geração (E2G) como alternativa ao de primeira geração, não pode ser denominado como alternativa exclusiva de produção excludente ao de primeira geração, mas inicialmente como um produto do reuso dos dejetos derivados da produção do E1G, denominado bagaço e palha da cana. O mais importante a salientar é a inovação tecnológica existente nesse processo produtivo alternativo, pois para produção do E2G pode-se utilizar (entre outras fontes de biomassa) a biomassa gerada pela produção do E1G que é composta por grande teor de biomassa lignocelulósica, sendo atualmente o principal insumo para produção de combustíveis renováveis disponível no meio ambiente (Faria, 2017).

A partir do exposto neste sub tópico do artigo, retoma-se a pergunta norteadora “ Por que houve a necessidade do desenvolvimento do etanol de segunda geração, se já existia uma tecnologia disseminada, conhecida como etanol de primeira geração para produção de etanol?”, fatores estes relacionados a discussão sobre possíveis justificativas se entrelaçam por várias vertentes, em âmbito econômico de criação de mercados para compra e venda de bagaço e palha de cana-de-açúcar, além do mercado de carbono, cujo ganha força nos debates atuais em parâmetros de contrabalancear a emissão de dióxido de carbono pelos agentes econômicos no mundo, e não menos importante, para alavancar o potencial produtivo das culturas energéticas contribuindo no aumento da produtividade das matérias-primas. Em aspecto ambiental em relação a diminuição da emissão de dióxido de carbono pela não utilização de bagaço e palha na queima para geração de energia elétrica (como acontece com maior frequência em território brasileiro) (Junqueira et al, 2017; Bastos, 2012; UNCTAD, 2014).

Entretanto, para que essa tecnologia alternativa energética sustentável se difunda como a alternativa para a destinação da biomassa sem a queima total para geração de energia elétrica as biorefinárias e para cogeração para energia elétrica utilizada pela sociedade, como alternativa para alavancagem da produção de biocombustível líquido sem aumentar as áreas plantadas e o aumento do desmatamento, como possibilidade de criação de novos mercados de compra e venda de biomassa, é fundamental resolver alguns problemas existentes em parâmetros econômicos, organizacionais-gestão, técnicos químicos-microbiológicos, regulamentações e incentivos governamentais, além do interesse privado no desenvolvimento dessa nova trajetória tecnológica e econômica do etanol de segunda geração (UNCTAD, 2016; Hirani et al, 2018; Lorenzi & Andrade, 2019).

5. TRAJETÓRIA NA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO NO BRASIL, 2014 A 2019

Segundo o relatório Brazil Biofuels Annual da United States Department of Agriculture (USDA Foreign Agricultural Service) produzidos pelo pesquisador Sergio Barros sobre dados relacionados com a produção de biocombustíveis no Brasil, no ano de 2014 iniciou as análises

em relação ao etanol de segunda geração em terras brasileiras. De modo que, foi apresentado que a partir de 2014 o Brasil não produzia comercialmente o biocombustível avançado (como é referido o etanol de segunda geração), sendo exposto que a empresa Granbio (localizada no estado de Alagoas) iria iniciar sua produção exclusiva de E2G a partir de 2014, porém com capacidade total de produção no ano seguinte, de 82 milhões de litros de etanol celulósico; e outras duas biorefinárias comerciais localizadas nos estados de Goiás e São Paulo com produção de 40 milhões de litros.

Além disso, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) introduziu em 2014 uma nova linha de crédito voltada para o financiamento de pesquisa agrícola sofisticada (mecanização avançada, plantas geneticamente modificadas para alavancagem de produção e ou substituição de matérias-primas atuais). O setor sucroalcooleiro obteve investimento do BNDES de R\$ 592,1 milhões para o desenvolvimento de usina de etanol de segunda geração.

Cujo valor foi distribuído para as biorefinárias com interesse na produção do etanol mais “limpo” (E2G). Com a Abengoa Bioenergia Agroindústria S.A., recebendo R\$ 309,6 milhões para implementação de uma planta em Pirassununga, São Paulo para a fabricação do E2G. Além disso, da Biovertis Produção Agrícola Ltda. (Alagoas), que recebeu R\$ 139,3 milhões, destinados ao estabelecimento de um sistema de manejo compatível para cana-energia (espécie de cana com maior teor de biomassa); e a Raízen Energia S.A., com R\$ 4,5 milhões, para alavancar a produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar (BNDES, 2014).

Entretanto, mesmo com os investimentos públicos e o interesse privados ativos em 2014, no ano posterior foi observado que problemas relacionados com os custos de produção eram alarmantes. Pois, economicamente ainda não era viável a produção em escala pelo fato da tecnologia usada (principalmente as enzimas modificadas para transformação do etanol) ser altamente custosa. Mesmo com alguns problemas relacionamos a eficiência e ao custo produtivo, empresas com a Granbio e Raízen continuaram a produção, em específico, a Raízen no ano de 2015 anunciou investimento no desenvolvimento de pesquisa para suprir os problemas relacionados produção de R\$ 2,5 bilhões e no mesmo ano fechou contratos de exportação para o etanol celulósico para a Europa com preços superiores ao do etanol de primeira geração, por ser um produto menos nocivo ao meio ambiente (Barros, 2015).

Neste contexto, a trajetória do etanol de segunda geração no Brasil vem crescendo de forma positiva até no ano de 2019. Mesmo ainda não possuindo uma grande representa em relação a produção total de biocombustível brasileiro, ou seja, do etanol de primeira geração, o E2G apresenta dados progressivos após sua implementação comercial em 2015.

Ano	E1G			E2G		
	Produção (milhões de litros)	Biorefinárias (total)	Capacidade utilizada da planta (%)	Produção (milhões de litros)	Biorefinárias (total)	Capacidade utilizada da planta (%)
2014	25.585	382	67	0	1	0
2015	27.268	382	72	2	3	2
2016	25.580	383	64	6	3	5

2017	25.282	384	63	17	3	13
2018	30.334	369	70	25	3	20
2019	31.387	370	73	45	3	35

Tabela 1: Produção, número de biorefinárias e capacidade utilizada da planta produtiva para o etanol de primeira (E1G) e de segunda geração (E2G) no Brasil, 2014 a 2019. Fonte: Elaboração própria com dados do Brazil Biofuels Annual desenvolvido por Barros (2019).

Com o cenário ainda embrionário, em 2019, a empresa instalada em Alagoas, Granbio (com produção exclusiva de E2G) adquiriu de forma estratégica a empresa Norte americana American Process Inc., com grande propriedade intelectual em relação a biocombustíveis e nanocelulose, proporcionando avanços no desenvolvimento de tecnologias que possam suprir o déficit técnico químico-microbiológico necessário para alavancar a produção em maior escala (Barros, 2019; NOVACANA, 2019)

A partir dessas informações, mesmo com uma baixa representatividade na produção total brasileira pelo E2G, é importante salientar que historicamente o E1G já possui uma trajetória de produção de cerca de 50 anos consolidada no Brasil. Mediante a este fato histórico, cujo proporciona maior segurança para os investidores privados e políticas públicas consolidadas para o financiamento do setor sucroalcooleiro brasileiro e mundial, o etanol de primeira geração já apresenta desafios que não estão relacionados exclusivamente na produtividade (que é claro que possui esse problema, pois mesmo aumentando as área plantadas no Brasil, o rendimento do canavial não aumentou), mas sim, na alternativa sustentável do resíduo gerado em sua produção e em alternativas não competitivas com a produção de alimentos mundialmente.

6. DESAFIOS TÉCNICOS A SEREM DESENVOLVIDOS COMO OPORTUNIDADE NA CORRIDA PARA SEGURANÇA ENERGÉTICA DE FONTES RENOVÁVEIS E SUSTENTÁVEIS

Os desafios para sanar o problema do elevado custo de produção do etanol de segunda geração estão relacionados principalmente a problemas técnicos, além é claro dos desafios organizacionais e de incentivo público. Em parâmetros técnicos, segundo IEA (2013), Correia (2014) e Nguyen (2017) os principais desafios está na trajetória tecnológica da bioquímica, em específico no pré-tratamento, cujo desafio se encontra na reativação da atividade da celulose e hemicelulósico pelo processo físico (explosão e adição de ácidos) e ativação com fungos e bactérias; e na hidrólise, cujo objetivo é a transformação das estruturas sem lignina em monômeros de açúcares para iniciação da produção do etanol de segunda geração pela fermentação.

Atualmente o desafio mais importante está na fermentação dos açúcares C5 (pentoses) e C6 (hexoses) com as leveduras, pois a fermentação para obtenção do etanol de segunda geração é mais complexa do que o de primeira geração, pois os microrganismos tradicionais não aceitam (para alimentação) os açúcares C6 (hexoses - celulose) e o C5 (pentoses - hemicelulósico), necessitando desenvolver microrganismo que aceitam esse tipo de biomassa lignocelulósica e que sejam economicamente viáveis. Sendo assim, Correia (2014) complementa:

“Sendo que um dos principais desafios tecnológicos na produção do etanol da segunda geração consiste na fermentação das pentoses junto às hexoses com rendimento energético suficiente e custo de produção competitivo, dado que a fermentação das

pentoses resultantes da hidrólise representa um estágio crítico para atingir um processo técnico e economicamente viável” (Correia, 2014, p.37).

Com os desafios bioquímicos em desenvolvimento, nota-se que com a tecnologia atual, parte da fermentação pelos açúcares advindos do bagaço e palha (biomassa da cana) não são transformados em etanol. Em termos técnicos, Farias (2014) afirma:

“A levedura *Saccharomyces cerevisiae*, utilizada atualmente pelas usinas, não é capaz de fermentar a outra fração dos açúcares presentes no bagaço e na palha, que é a fração dos açúcares pentoses, denominada fração C5, que correspondem à aproximadamente 25%-40% do total do açúcar disponível na biomassa. Por isso, tem-se considerado como melhor estratégia para o desenvolvimento do etanol celulósico a fermentação de ambos os açúcares hexoses e pentoses, porém em dornas separadas, utilizando a *S. cerevisiae* para fermentar a fração C6 e outra espécie de levedura para fermentar a fração C5.” (Farias, 2014, p.20).

Em parâmetros de incentivos governamentais, além do financiamento realizado pelo BNDES em 2014/2015 para o desenvolvimento de etanol de segunda geração, no ano de 2017 foi criada a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) instituída pela Lei nº 13.576/2017, com os seguintes objetivos:

I - contribuir para o atendimento aos compromissos do País no âmbito do Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima; II - contribuir com a adequada relação de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na produção, na comercialização e no uso de biocombustíveis, inclusive com mecanismos de avaliação de ciclo de vida; III - promover a adequada expansão da produção e do uso de biocombustíveis na matriz energética nacional, com ênfase na regularidade do abastecimento de combustíveis; e IV - contribuir com previsibilidade para a participação competitiva dos diversos biocombustíveis no mercado nacional de combustíveis (BRASIL, 2017).

Em relação ao interesse do desenvolvimento de etanol de segunda geração, a RenovaBio implementou com a Resolução CNPE nº 15, de 24 de junho de 2019, metas de descarbonização da matriz energética, ou seja, incentivando a produção de biocombustíveis. Além de especificar no artigo 3º, parágrafo VI o interesse incentivar o desenvolvimento dos biocombustíveis avançados (ou seja, de segunda geração):

Art. 3º A Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), composta por ações, atividades, projetos e programas, deverá viabilizar oferta de energia cada vez mais sustentável, competitiva e segura, observados os seguintes princípios:

[...]

VI - Impulso ao desenvolvimento tecnológico e à inovação, visando a consolidar a base tecnológica, a aumentar a competitividade dos biocombustíveis na matriz energética nacional e a acelerar o desenvolvimento e a inserção comercial de biocombustíveis avançados e de novos biocombustíveis (BRASIL, 2017).

Assim, a RenovaBio como política favorece os incentivos para o investimento privado no desenvolvimento da matriz energética de biocombustíveis, de forma a diminuir as incertezas de uma tecnologia embrionária, mas com grande potencial derivado do seu processo produtivo que utiliza-se de biomassa, que pode ser ou não derivada de produtos para alimentação humana ou animal, além da baixa emissão de dióxido de carbono, sendo um elemento ambiental que as Nações estão de acordo para sua diminuição, e é claro, o aumento da produtividade das próprias

culturas energéticas já utilizadas para produção de etanol (Lorenzi & Andrade, 2019; UNICA, 2019).

Por fim os parâmetros organizacionais e de gestão, principalmente voltadas para as relações contratuais, pois devido ao contexto, as relações contratuais entre fornecedores de biomassa lignocelulósica e os biorefinárias também sofrem choques, pois os padrões já estabelecidos de contratos, geralmente não cercam as especificações deste novo segmento tecnológico. Entretanto, por estar dentro do setor agrícola, cujo possui especificações contratuais, pode vir a iniciar a concepção dos fatores condicionantes ao desenvolvimento das relações contratuais entrelaçado com tipos de contratos agrícolas, como por exemplo: formalização de estruturas verticalizadas, parcerias e o mercado à vista (Du et al, 2017; Cicogna, Khanna e Zilberman, 2017). A agricultura por contrato favorece a coordenação vertical dos agentes, derivado da necessidade de diminuição de risco imensurável (por se tratar de um setor sem precedentes), a aleatoriedade, restrições de crédito, o compartilhamento das incertezas e riscos, condições ambientais e políticas (Du et al, 2017; Rodriguez, Manochio e Moraes, 2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente os maiores problemas encontrados na trajetória tecnológica do E2G são relacionados com a incerteza sobre essa nova tecnologia, pois em qualquer inovação no sistema capitalista, a incerteza é um fator inerente à estrutura do mercado, pois a incerteza em relação ao “novo” ou “nunca explorado” é da natureza humana e interfere nas tomadas de decisões dos agentes. Além do fato de ser uma tecnologia avançada, que necessita de altos investimentos em capital físico e principalmente humano, e que ainda possui problemas técnicos a serem desenvolvidos, e não mesmo importante as questões organizacionais e gestão, como a ausência de cadeia produtiva madura, problemas em relação nível de fornecimento de matéria-prima (biomassa), resoluções contratuais sem precedentes, ou seja, problemas relacionados nas estruturas de contratos.

Em um ambiente de incertezas, existe a necessidade de intervenção governamental e apresentação de resultados técnicos para incentivo da produção de etanol de 2G, além do técnico químico-biológico, mas os fatores de gestão da cadeia produtiva que a biorefinária está embutida, tanto da produção de etanol de primeira geração, da produção de açúcar, da produção de energia elétrica a partir da queima da cana e do mercado fertilizantes (como por exemplo: a palha da cana para proteção do solo). Ou seja, os principais enclaves para a intensificação da difusão do E2G se encontra na viabilidade comercial produtiva e competitiva, em relação ao desenvolvimento de tecnologias bioquímicas principalmente no pré-tratamento da biomassa para diminuição do custo produtivo que se concentra com maior intensidade nesse momento inicial de produção.

E tecnologias organizacionais (gestão), pois para diminuir incertezas preconcebidas nesse processo, ferramentas administrativas necessitam de mudanças para diminuir a incerteza incumbida na produção da tecnologia do etanol celulósico, principalmente nas relações contratuais em toda cadeia, pois mesmo existindo o precedente do etanol de primeira geração, a tecnologia do etanol de segunda geração embarca elementos peculiares na relação contratual que não são similares ao setor ainda, como por exemplo: os períodos de contratos, volume

mínimo para conceber o contrato de fornecimento, características do produto fornecido, porcentagens de colaboração de energia mais “limpa” com menos produção de carbono (créditos de carbono).

Deste modo, o artigo auxiliou no desenvolvimento para compreensão da trajetória do etanol de segunda geração e os enclaves que o cerca para a sua difusão tecnológica e econômica como alternativa para os resíduos da cana-de-açúcar sem o foco exclusivo no processo de queima dos resíduos para produção de energia elétrica. Evidenciando que ainda existe muitos gargalos abertos para o desenvolvimento de pesquisas relacionados ao etanol de segunda geração, principalmente em relação a diminuição do custo operacional de produção e formulação de incentivos para investimento para os biocombustíveis avançados.

REFERÊNCIAS

- ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2019). RenovaBio, <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/renovabio> (14 de Maio de 2020)
- Barros, S. (2014). Brazil Biofuels Annual, Global Agricultural Information Network. USDA Foreign Agricultural Service. <http://www.usdabrazil.org.br/pt-br/reports/biofuels-annual-4.pdf> (14 de Maio de 2020).
- Barros, S. (2015). Brazil Biofuels Annual, Global Agricultural Information Network. USDA Foreign Agricultural Service. https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Biofuels%20Annual_Sao%20Paulo%20ATO_Brazil_8-4-2015.pdf (14 de Maio de 2020).
- Barros, S. (2019). Brazil Biofuels Annual, Global Agricultural Information Network. USDA Foreign Agricultural Service. https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Biofuels%20Annual_Sao%20Paulo%20ATO_Brazil_8-9-2019.pdf (14 de Maio de 2020).
- Bastos, V. D. (2012). Biorefinárias, biocombustíveis e química renovável: revolução tecnológica e financiamento. Revista do BNDES, v. 38, p. 85–138. <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1963> (14 de Maio de 2020).
- Bastos, V. D. (2007). Etanol, álcoolquímica e biorefinária. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-38, mar. <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2527> (14 de Maio de 2020).
- BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2014). BNDES aprova R\$ 592,1 mi para quatro projetos inovadores do setor sucroenergético. https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/20141218_setor_sucroenergetic o (14 de Maio de 2020).
- BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2016). Etanol 2G: inovação em biocombustíveis Artigo. <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/etanol-2g-inovacao-biocombustiveis> (14 de Maio de 2020).
- BRASIL. Lei Nº 13.576, de 26.12.2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Brasília, DF, Dez 2017. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm (14 de Maio de 2020).

- Brennam, L. & Owende, P. (2010). Biofuels from microalgae- A review of technologies for production, processing and extraction of biofuels and coproducts. *Renew. Sust. Energ. Rev.* v. 14, p. 557-577. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002408> (14 de Maio de 2020).
- Cerqueira-Leite, R. C. et al. (2009). Can Brazil replace 5% of the 2025 gasoline world demand with ethanol? *Revista Energy*, v. 34, p. 655-661. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544208002958> (14 de Maio de 2020).
- Cicogna, M. P. V; Khanna, M.; Zilberman, D. (2017). *Prospects for Biofuel Production in Brazil: Role of Market and Policy Uncertainties*. In: Handbook of Bioenergy Economics and Policy: [s. 1.], v. II. Springer, New York, p. 89-117. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-6906-7_5 (14 de Maio de 2020).
- Clark, J. H. & Deswarte, F. (Ed.) (2015). *Introduction to chemicals from biomass*. John Wiley & Sons.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2019). Comercialização. Subvenção da Cana-de-Açúcar. <https://www.conab.gov.br/comercializacao/subvencao-da-cana-de-acucar> (14 de Maio de 2020).
- Correa, C. B. (2014). *Parcerias estratégicas tecnológicas em projetos de etanol celulósico: oportunidades e desafios para as firmas nacionais*. Dissertação de mestrado. Instituto de geociências da Unicamp. p.127. http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/287762/1/Correa_CamilaBastos_M.pdf (14 de Maio de 2020).
- De Andrade, E. T. et al. (2009). *Programa do Proálcool e o etanol no Brasil*. Engevista, v. 11, n. 2, <http://periodicos.uff.br/engevista/article/view/8847> (14 de Maio de 2020).
- De Sousa, R. B. et al. (2013). *A influência do etanol combustível na emissão de etanol, aldeídos e hidrocarbonetos expelidos pelo escapamento em veículos leves*. São Paulo: AEA. <http://pdf.blucher.com.br/s3-sa-east-1.amazonaws.com/engineeringproceedings/simea2013/PAP47.pdf~> (14 de Maio de 2020).
- Du, X. et al. (2017). *Contracting in the Biofuel Sector*. In: Handbook of Bioenergy Economics and Policy, [s. 1.], v. II, Springer, New York, p. 401–428. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-6906-7_ (14 de Maio de 2020).
- Farias, D. (2014). *Produção de etanol de segunda geração por Scheffersomyces stipitidis a partir de pentoses em processo extrativo à vácuo*. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas. p. 263. http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/256559/1/Farias_Daniele_D.pdf (14 de Maio de 2020).
- Furtado, A. T; et al. (2011). *The Brazilian sugarcane innovation system*. Energy Policy, v. 39, n. 1, p. 156-166. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421510007093> (14 de Maio de 2020).
- Goldemberg, J. et al. (2008). *The sustainability of ethanol production from sugarcane*. Energy policy, v. 36, n. 6, p. 2086-2097. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421508001080> (14 de Maio de 2020).
- Gonçalves, J. S. (2009). *Economias regionais paulistas no período 2005-2007: desconcentração na agropecuária com concentração na agricultura revelando diferenças estruturais*. Informações Econômicas, SP, v.39, n.2, p. 45-54.
- Hasegawa, M. & Furtado, A. T. (2005). As inovações organizacionais do PROCANA. *Comportamento Organizacional e Gestão*, v. 11, p. 95-107.

- Hirani, A. H. et al. (2018). *A review on first-and second-generation biofuel productions*. In: *Biofuels: Greenhouse Gas Mitigation and Global Warming*. Springer, New Delhi, p. 141-154. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-3763-1_8 (14 de Maio de 2020).
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). Censo agropecuário de 2017 (resultados preliminares).
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). Censo agropecuário de 2006.
- IEA. International Energy Agency (2013). "IEATask Update: Status of Advanced Biofuels Demonstration Facilities in 2012". <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/22110325> (14 de Maio de 2020).
- Junqueira, T. L. et al. (2017). *Techno-economic analysis and climate change impacts of sugarcane biorefineries considering different time horizons*. *Biotechnology for biofuels*, v. 10, n. 1, p. 50. <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-017-0722-3> (14 de Maio de 2020).
- Kamm, B. & Kamm, M. (2004). *Principles of biorefineries. Applied microbiology and biotechnology*, v. 64, n. 2, p. 137-145. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-003-1537-7> (14 de Maio de 2020).
- Landell, M. (2003). ProCana. O programa cana-de-açúcar do Instituto Agrônomo. O agrônomo, IAC, Campinas, v. 55, n. 1, p.5-8.
- Lorenzi, B. R. & Andrade, T. H. N. de. (2019). *O etanol de segunda geração no Brasil: políticas e redes sociotécnicas*. *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, v. 34, n. 100. <http://www.scielo.br/pdf/rbcsoc/v34n100/0102-6909-rbcsoc-34-100-e3410014.pdf> (14 de Maio de 2020).
- Meneguello, L. A. & Castro, M. C. A. A. (2007). *O Protocolo de Kyoto e a geração de energia elétrica pela biomassa da cana-de-açúcar como mecanismo de desenvolvimento limpo*. *Revista Internacional de Desenvolvimento Local*, v. 8, n. 1, p. 33-43. <http://www.scielo.br/pdf/inter/v8n1/a04v8n1> (14 de Maio de 2020).
- Nguyen, Q. et al. (2017). *Global production of second generation biofuels: Trends and influences*. Dovetail Partners Inc. http://www.dovetailinc.org/report_pdfs/2017/dovetailbiofuels0117.pdf (14 de Maio de 2020).
- NOVACANA. (2019). GranBio, do Brasil, adquire negócios de energia de biomassa nos EUA [atualizado]. <https://www.novacana.com/n/industria/granbio-brasil-adquire-negocios-energia-biomassa-eua-180319> (14 de Maio de 2020).
- Nyko, D., et al. (2012). A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada. *Revista do BNDES*, n. 38. <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1963> (14 de Maio de 2020).
- Pacheco, T. F. (2011). *Produção de etanol: primeira ou segunda geração?* Embrapa Agroenergia-Circular Técnica (INFOTECA-E). <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/886571/1/CITE04.pdf> (14 de Maio de 2020).
- Pérez, A. T. E. (2017). *Biorefinery supply chain design optimization under sustainability dimensions*. Tese de doutorado. Computational Engineering, Finance, and Science. Université de Lorraine. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01816267/document> (14 de Maio de 2020).

- Pérez, A. T. E. et al. (2017). *Key challenges and requirements for sustainable and industrialized biorefinery supply chain design and management: A bibliographic analysis*. *Revista Renew. Sustain. Energy*, 69, p. 350–359. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116308073> (14 de Maio de 2020).
- Rastogi, M. & Shrivastava, S. (2017). *Recent advances in second generation bioethanol production: An insight to pretreatment, saccharification and fermentation processes*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 80, p. 330-340. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117308651> (14 de Maio de 2020).
- Rodrigues, M. A. et al. (2016). *Technical Efficiency in Sugarcane Production in the State of São Paulo*. In: VIII Congresso da APDEA e o II Encontro Lusófono em Economia, Sociologia, Ambiente e Desenvolvimento Rural, p. 3325-3344. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2993636 (14 de Maio de 2020).
- Rodriguez, R. P.; Manochio, C.; Moraes, B. S. (2018). *Energy Integration of Biogas Production in an Integrated 1G2G Sugarcane Biorefinery: Modeling and Simulation*. *BioEnergy Research*, v. 11, p. 1-10. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12155-018-9950-z> (14 de Maio de 2020).
- Rosa, S. E. S. Da & Garcia, J. L. F. (2009). O etanol de segunda geração: limites e oportunidades. *Revista do BNDES*, Rio de Janeiro, n. 32, p. 117-156. <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/10017> (14 de Maio de 2020).
- Sharma, N & Sharma, N. (2018). *Second Generation Bioethanol Production from Lignocellulosic Waste and Its Future Perspectives: A Review*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v.7, p. 1285-1290. <https://pdfs.semanticscholar.org/f84e/8ea810730fa75a7c781560899251526f0c80.pdf> (14 de Maio de 2020).
- UNCTAD. United Nations Conference on Trade and Development. (2016). *Second generation biofuel markets: state of play trade and developing contry perspectives*. UNCTAD/DITC/TED/2015/8, 69. <https://unctad.org/en/pages/PublicationWebflyer.aspx?publicationid=1455> (14 de Maio de 2020).
- UNCTAD. United Nations Conference on Trade and Development. (2014). *The State of the biofuels market: regulatory, trade and development perspectives*. UNCTAD/DITC/TED/2013/8, 89. https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/ditcted2013d8_en.pdf (14 de Maio de 2020).
- UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. (2019). *Produção de etanol bate recorde histórico e abre caminho para RenovaBio*. <https://www.unica.com.br/noticias/producao-de-etanol-bate-recorde-historico-e-abre-caminho-para-renovabio/> (14 de Maio de 2020).
- Veiga Filho, A. A. (1981). O programa nacional do álcool e seus impactos na agricultura paulista. *Estudos Econômicos (São Paulo)*, v. 11, n. Especial, p. 61-82.
- Zilberman, D., G. et al. (2013). *The Impact of Biofuels on Commodity Food Prices*. *American Journal of Agricultural Economics*, p. 275–281. <https://academic.oup.com/ajae/article/95/2/275/69530> (14 de Maio de 2020).