

# Etanol de 2 geração: atual produção e perspectivas

Morais, Polliana Peixoto  
Pascoal, Patrícia Verdugo  
Rocha, Emmeline de Sá  
Martins, Eláiny Cristina Alves

## Resumo

O bioetanol de segunda geração (2G) consiste em um biocombustível sustentável, convertido a partir de resíduos de biomassa gerando bioenergia. A utilização em grande escala de biomassa (dos mais variados tipos) depende fundamentalmente das tecnologias de produção e de sua disponibilidade. Nesse contexto, o objetivo desta revisão é verificar o potencial do uso do bioetanol de segunda geração. Sua aplicação como um combustível de produção segura e sustentável é capaz de diminuir a liberação de gases de efeito estufa; ainda assim, faz-se necessário investimento em pesquisas junto às universidades e entidades de pesquisa para aperfeiçoar os processos que venham diminuir o custo de produção e tornando-o mais viável.

**Palavras-chave:** 2G; tecnologia; produção; sustentabilidade; perspectivas.

## Abstract

Bioethanol second generation (2G) consists of a sustainable biofuel converted from waste biomass generating bioenergy. The large-scale use of biomass (of all kinds) mainly depends on the production and availability technologies. In this context, the aim of this review is to investigate the potential use of the second generation bioethanol. Its application as a safe and sustainable production of fuel can reduce the release of greenhouse gases; still, it is necessary investment in research at universities and research institutions to improve the processes that will reduce the cost of production and making it more viable.

**Key words:** 2G; technology; production; sustainability; prospects.

## Resumen

El bioetanol de segunda generación (2G) se compone de un biocombustible sostenible convertido en bioenergía de biomasa de residuos. El uso a gran escala de biomasa (de todo tipo) depende principalmente de las tecnologías de producción y disponibilidad. En este contexto, el objetivo de esta revisión es investigar el uso potencial de la segunda generación de bioetanol. Su aplicación como una producción segura y sostenible de combustible puede reducir la emisión de gases de efecto invernadero; aún así, es necesaria la inversión en la investigación en las universidades e instituciones de investigación para mejorar los procesos que reduzcan el coste de producción y por lo que es más viable.

**Palabras-clave:** 2G; la tecnología; la producción; sostenibilidad; perspectivas.

## **INTRODUÇÃO**

O crescimento incessante da população, nos seus mais diversos aspectos, provoca uma iminente busca energética para abastecer toda a sociedade, desde o bem-estar individual até o desempenho industrial e de serviços de manutenção (BECHARA *et al.*, 2016, p. 443). A inevitável escassez das reservas de fontes de energia esgotáveis, sendo a principal fonte energética mundial – petróleo, tem motivado a buscar soluções alternativas aos combustíveis fósseis desde a década de 1920 (LEITE e LEAL, 2007, p. 2). Além da escassez a curto ou médio prazo e o aumento constante do preço, os combustíveis fósseis são responsáveis por 82% das emissões de gases que causam o efeito estufa (JONKER, *et al.*, 2016, p. 495).

A partir da Primeira Revolução industrial, a busca por fontes renováveis de energia como uma alternativa ao uso do petróleo, juntamente com as preocupações com a preservação ambiental, os processos biotecnológicos desenvolveram os biocombustíveis (ROSA e GARCIA, 2009, p. 148). Em 2010, a *Environmental Protection Agency* (EPA) os Estados Unidos determinaram que o bioetanol seja um biocombustível capaz de reduzir as emissões de gases do efeito estufa em pelo menos 60% comparado com os combustíveis de origem fóssil (NYKO *et al.*, 2010, p. 27). A participação dos biocombustíveis na matriz energética de um país diminui sua dependência em relação ao petróleo. Isso promove uma maior segurança energética, visto que a oferta de combustíveis fósseis é limitada e a demanda é cada vez maior (VAZ JÚNIOR, 2011, p. 21). Dessa maneira, o biocombustível alternativo ao petróleo – bioetanol – deve estar prontamente disponível possuindo produtividade estável e ser economicamente viável e também, atender as normas de poluição (BHUIYA *et al.*, 2015, p. 151) e de sustentabilidade (LEITE e CORTEZ, 2016, p. 641).

Os biocombustíveis estão ganhando seu espaço mundialmente, uma vez que é uma fonte energética renovável e segura. O Brasil já utiliza o etanol como combustível, isto é, adição de 20% a 25% na gasolina há algumas décadas. Atualmente, o Brasil produz 25 bilhões de etanol por ano a partir da cana-de-açúcar (SILVA, 2010, p. 27). Os biocombustíveis são baseados em biomassa (RAELE, 2013, p. 1). O que isso quer dizer? Pensando em sustentabilidade e redução da exploração de fontes finitas, a biomassa também conhecida como material lignocelulósico é uma excelente alternativa por ser um material rico em carbono (MARTÍN e GROSSMANN, 2014, p. 2). A biomassa é formada, em linhas gerais, por hemicelulose (20-35%), lignina (10-25%) e celulose (35-50%) fonte de bioenergia (LEITE e LEAL, 2007, p. 4). Os biocombustíveis, portanto, são identificados como biocombustíveis de primeira e de segunda geração (MOSQUEIRA-SALAZAR *et al.*, 2013, p. 532). Os de primeira geração são produzidos a partir

de matéria prima sacarínea e amilácea que também são utilizados como alimento para humanos e animais, como a cana-de-açúcar, milho, beterraba e soja (DIAS *et al.*, 2012, p. 249).

Já os biocombustíveis de segunda geração são produzidos a partir de resíduos industriais, rejeitos de atividades agrícolas e até mesmo lixo urbano que são gerados em abundância (RODRIGUES, 2011, p. 1244). Este biocombustível é produzido pela hidrólise enzimática dos polissacarídeos do material lignocelulósico, seguido da fermentação dos açúcares fermentescíveis (EHTESHAMI *et al.*, 2015, p. 389). Todavia, esses dois processos podem ser realizados de forma independente (SHF – *separate hydrolysis and fermentation*) ou combinada (SSF- *simultaneous saccharification and fermentation*) (SANTOS *et al.*, 2012, p. 105). Entre outras vantagens, a produção de etanol de segunda geração não compete com a produção de alimentos e com o cultivo de terras agrícolas. Além disso, os resíduos lignocelulósicos estão disponíveis, na maioria dos casos, de forma abundante e barata e necessitam de uma destinação (MORO, 2015, p. 1).

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é realizar uma revisão sobre o potencial do uso do bioetanol de segunda geração como uma alternativa promissora e viável aos combustíveis fósseis. Será abordado também como é realizada a produção eficiente energeticamente e ambientalmente mais amigável, com as mais diversas alternativas de biomassa para atender a demanda mundial utilizando as mais novas rotas tecnológicas de processamento industriais.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO (2G)**

Diferentemente do etanol de primeira geração que são produzidos por plantas (cereais, oleaginosas e culturas que fazem parte da alimentação humana e animal) que exigem áreas de cultivo extensas e gordura vegetal (óleo de fritura) ou animal (sebo); o de segunda geração recebe destaque porque são produzidos a partir da biomassa (resíduos ou rejeitos) de diversos tipos (RAELE *et al.*, 2013, p. 207). A fim de produzir um biocombustível de segunda geração com alta eficiência energética como disponibilidade de energia estável.

Para isso, vem sendo desenvolvido paralelamente à produção do etanol de segunda geração a pesquisa de micro-organismos com a melhor capacidade fermentescíveis visando aumentar o rendimento do processo (DIAS *et al.*, 2012, p. 247).

A bioetanol de segunda geração consiste em um biocombustível sustentável, onde é realizado a conversão (biológica, química ou física) da biomassa em produtos químicos (ou bioquímicos) e o biocombustível (RODRIGUES, 2011, p. 1244-1245). Vale ressaltar que diferentes tecnologias são empregadas para obter converter a biomassa lignocelulósica em combustível, porém a maioria delas obtém o produto final desejado, o caminho que escolhem

percorrer é o que fará o produto final mais dispendioso ou não (NIKO *et al.*, 2015, p. 10). O processo de conversão da biomassa nada mais é do que a quebra de açúcares complexos (polissacarídeo) em açúcares simples - processo biotecnológico realizado pela ação enzimática - metabolizados pelos micro-organismos na fermentação e subsequente realiza-se a destilação (ZANONI *et al.*, 2015, p. 11). Ao fim da produção os resíduos da biomassa podem ser queimados em caldeiras de alta pressão, e dessa maneira, gera-se energia estabelecendo a ordem de sustentabilidade e reaproveitamento (ROSA e GARCIA, 2009, p. 132).

A expectativa de produzir etanol de segunda geração viável em escala industrial estima-se a abreviação de algumas etapas da produção (será detalhada de forma sucinta no decorrer desse artigo), a fim de reduzir custos (MOSQUEIRA-SALAZAR *et al.*, 2013, p. 534) e torna-lo mais atrativo para o consumidor, além de reduzir emissões de gases de efeito estufa (LEITE e LEAL, 2007, p. 20).

## **Definição**

De uma forma geral, a produção do etanol de segunda geração inclui duas etapas adicionais ao processo convencional, são elas, pré-tratamento e hidrólise. Essas etapas são necessárias, pois a biomassa lignocelulósica não dispõe de dois açúcares livres em sua estrutura para os micro-organismos da fermentação, como no caso das matérias-primas do etanol de primeira geração. A estrutura lignocelulósica é composta majoritariamente por celulose, hemicelulose e lignina, sendo que as duas primeiras representam os substratos que podem ser utilizados para produção de açúcares fermentescíveis (MORO, 2015, p. 1-2). Dessa maneira, a função da hidrólise é transformar a hemicelulose e a celulose que estão presentes na estrutura da biomassa em açúcares livres (monômeros) que, por sua vez, serão fermentados pelos micro-organismos.

No entanto a principal característica estrutural dos materiais lignocelulósicos é a sua rigidez estrutural e ordenada que, por sua vez, associa fortemente a celulose e hemicelulose à lignina e isso atua como uma barreira protetora a agentes intrusos. Isso dificulta o acesso das enzimas ao substrato o que resulta em rendimentos muito baixos de açúcares na hidrólise enzimática. Dessa forma, a etapa de pré-tratamento tem a função de desordenar a rígida estrutura da biomassa e tornar a celulose e a hemicelulose mais acessíveis às enzimas (DIAS *et al.* 2009, p. 4; PANDEY *et al.*, 2000, p. 15; LAGAERT *et al.*, 2009, p. 103). O pré-tratamento é uma etapa crucial, pois exerce uma grande influência nas etapas subsequentes e no custo total do processo (MORO, 2015, p. 2 *apud* BALAT *et al.*, 2008).

## **Principais fontes para produção de etanol 2G**

Segundo Rajogopal e Ziberman (2007, p. 2), as fontes de obtenção do etanol eram efetuadas através das principais culturas ricas em energia, baseado nos rendimentos médios e na eficiência de conversão. A tabela 1 resume essas estimativas da conversão do material de origem vegetal na produção do etanol.

**Tabela 1 – Rendimento potencial hipotético de etanol com base no cultivo de cereais e culturas sacarígenas**

Cultura	Superfície	Produção mundial	Rendimento de biocombustível	Máximo de etanol	Equivalente de gasolina	Participação como uma cota do consumo total mundial de gasolina
	Milhões de ha	Milhões de toneladas	Litros/ha	Bilhões de litros	Bilhões de litros	%
Trigo	215	602	952	205	137	12
Arroz	150	630	1.806	271	182	16
Milho	145	711	1.960	284	190	17
Sorgo	45	59	494	22	15	1
Cana	20	1.300	4.550	91	61	6
Mandioca	19	219	2.070	39	26	2
Beterraba	5,4	248		27	18	2
Total	599,4	---	---	940	629	56

Fonte: Rajagopal e Zilberman (2007).

A utilização em grande escala de biomassa (dos mais variados tipos) depende fundamentalmente das tecnologias de produção e da disponibilidade dessa biomassa, podendo esta ser: i) resíduos agrícolas e industriais, ii) lixo urbano e, iii) madeira originária de florestas cultivadas (ROSA e GARCIA, 2009, p. 128).

## Tecnologias de produção de etanol 2G

É importante deixar claro a possibilidade de que as instalações para produção de etanol 2G, ainda que sejam mais sofisticadas, são capazes de se adaptarem às instalações implementadas para produção de etanol 1G, sendo característica de uma biorrefinaria com uso de matéria prima renovável.

A principal tecnologia de produção de etanol 2G é a hidrólise, onde necessita a quebra completa das frações de polissacarídeos dos materiais de composição lignocelulósica e busca o aproveitamento integral dos resíduos agroindustriais, aumentando o rendimento de geração de produto em relação à matéria prima. Na produção de etanol de primeira geração, apenas uma parte da cana-de-açúcar é utilizada, o caldo, gerando então, resíduos de origem lignocelulósica, provenientes do bagaço e da palha. Este resíduo pode ser utilizado para produção de etanol de

segunda geração, passando pelo processo de hidrólise para liberação dos açúcares fermentescíveis até a obtenção de etanol. A produção de etanol a partir de resíduos lignocelulósicos necessita de uma etapa de pré-tratamento, sendo de origem química e/ou enzimática para a hidrólise da celulose e da hemicelulose, liberando açúcares (hexoses e pentoses), que posteriormente podem ser convertidos a etanol por micro-organismos capazes de efetuar fermentação alcoólica. Dentre alguns dos pré-tratamentos existentes e frequentemente utilizados, com o objetivo de desestruturar o complexo lignocelulósicos do bagaço de cana e da palha, o pré-tratamento ácido é uma alternativa de interesse, pois além de quebrar o complexo, provoca a hidrólise da hemicelulose, resultando em uma porção líquida contendo, no caso do bagaço de cana, um açúcar fermentescível, a xilose (SANTOS, 2012, p. 2).

Muitos estudos têm sido efetuados acerca das tecnologias de processos de produção do etanol 2G, entre eles Perrone (2015, p. 58) fez uma avaliação térmica e estrutural do bagaço de cana de açúcar pré-tratado com ozônio, ultrassom e micro-ondas para produção de etanol celulósico (2G) por hidrólise enzimática, uma vez que o etanol celulósico (2G) necessita de algumas etapas para sua produção, dentre elas: processos de pré-tratamento, hidrólise enzimática, etapa de fermentação alcoólica e destilação. O pré-tratamento do bagaço da cana foi conduzido com ozônio, ultrassom e micro-ondas e dentre os resultados foi escolhido o melhor tratamento para produção de etanol 2G. O tratamento com ozônio alcalino gerou baixa concentração de inibidores, que podem atrapalhar no processo posterior, de hidrólise; além disso, este tratamento demonstrou melhores rendimentos na hidrólise e uma melhora quando associado ao ultrassom, este segundo tratamento foi capaz de aumentar a remoção de hemicelulose, enquanto micro-ondas ampliou a remoção de lignina junto ao ozônio em meio alcalino. A concentração final de glicose foi 6 vezes maior que a obtida no bagaço de cana sem nenhum tratamento.

A utilização de micro-ondas no pré-tratamento de resíduos de abacaxi para produção de etanol 2G é uma realidade, porém o tempo de exposição precisa ser profundamente analisado (CONESA *et al.*, 2016, p. 212). Outra tecnologia relatada para produção de etanol 2G é o pré-tratamento para deslignificação com NaOHs seguida do processo de Sacarificação e Fermentação Simultâneas (SSF). A pesquisa otimizou o tempo de incubação SSF utilizando a enzima de celulose em combinação com *Saccharomyces cerevisiae* para o bagaço de cana, gerando uma concentração final significativa de  $11.810 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  de etanol em apenas 5 dias de SSF (WAHONO *et al.*, 2015, p. 336).

### **Vantagens e desvantagens do etanol 2G**

A via fermentativa é a via mais importante para a obtenção de bioetanol no Brasil tanto na produção de etanol de primeira quanto de segunda geração por possuir uma grande

quantidade de matérias primas naturais e residuais para a produção da biomassa como a cana-de-açúcar ou resíduos agroflorestais (como os da indústria de celulose) que são existentes em todo país podendo tornar a produção mais econômica sem precisar aumentar as áreas cultivadas evitando desmatamento e sem diminuir a área disponível para a produção agrícola, levando em consideração que em algumas regiões do mundo a produção do bioetanol pesa sobre o custo final por não possuírem disponibilidade de matéria prima na produção da biomassa (BNDES, 2008, p. 8).

A principal vantagem na produção de biocombustíveis de segunda geração está associada ao aquecimento global resultante da queima de combustíveis fósseis, onde o uso dos biocombustíveis está associado a sua capacidade de reduzir a emissão dos gases de efeito estufa. O aumento das dificuldades na produção de petróleo vem causando insegurança energética que tem instigado a busca pela produção de combustíveis a partir de fontes renováveis de forma sustentável ocorrendo o aproveitamento da cana-de-açúcar e seus subprodutos que já se encontram disponíveis agregando vantagem logística e produção do biocombustível durante a entressafra da cana. A principal desvantagem na produção de etanol de segunda geração é que ainda não é economicamente viável, pois ainda há necessidade de investimento em pesquisas no desenvolvimento de rotas tecnológicas que permitam sua produção. O Brasil oferece importante vantagem como a biomassa da cana-de-açúcar onde possui liderança tecnológica advinda da produção de etanol de primeira geração que pode ser ameaçada pela busca de outros países que vem investindo em pesquisa para produção do etanol de segunda geração (NYKO, 2010, p. 6-13).

### **Micro-organismos aplicados na produção de etanol 2G**

Os micro-organismos mais utilizados na produção de etanol 2G são os fungos filamentosos e as bactérias, uma vez que estes são capazes de excretar enzimas responsáveis pela degradação da lignocelulose, através das chamadas celulasas. As espécies de fungos mais estudadas para a produção das celulasas são o *Trichoderma reesei*, *Penicillium pinophilum*, *Humicola insolens*, *Trichoderma koningii*, *Penicillium funiculosum*, *Fusarium solani*, *Myrothecium verrucaria*, *Sporotrichum pulverulentum* e *Aspergilo niger* (DRABER, 2013, p. 24).

A EMBRAPA Agroenergia trabalha na bioprospecção de micro-organismos e enzimas para produção de etanol 2G. O projeto tem como foco a busca pela diversidade microbiana no Brasil para de gerar enzimas e, principalmente, leveduras. As primeiras buscas serão realizadas nos bancos de germoplasma da Embrapa Meio Ambiente, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP) e do Instituto de Ciências Biomédicas (ICB/USP). Em seguida a equipe

deve estudar material do Cerrado e da Caatinga, além de resíduos agroindustriais, a fim de encontrar bactérias e leveduras que possam ser utilizadas na produção de etanol (EMBRAPA, 2012, p. 3).

Existem também, segundo Embrapa (2012, p. 5), alguns estudos sobre novas configurações de processo de obtenção de etanol que integre as etapas de produção enzimática, sacarificação e fermentação, mediante o emprego de micro-organismos celulolíticos e outros etanologênicos, ou mediante um único micro-organismo com ambas propriedades.

### **Perspectivas futuras e inovações**

Com diversas vantagens características, dentre elas um aumento de até 50% no rendimento comparado ao rendimento atual, o etanol 2G, leva ao surgimento, no Brasil, de novas tecnologias, como é o caso da cana-energia, uma variedade desenvolvida especialmente para a produção de etanol 2G, com maior quantidade de fibras, capaz de aumentar a produção de etanol por hectare em mais de 250% quando comparado com o etanol produzido pela cana de açúcar, de primeira geração. Além disso, o etanol 2G poderá emitir 15 vezes menos carbono na atmosfera e permite a redução de até 80% na emissão de CO<sub>2</sub>, e perspectivas futuras indicam uma redução de mais de 90% até o ano de 2025. A redução da emissão de CO<sub>2</sub> já começou com o uso de biocombustíveis como alternativa aos combustíveis fósseis, o etanol de segunda geração é um deles e se trata de uma solução viável, proveniente principalmente da palha e da cana de açúcar, sendo acessível a qualquer área que gera resíduos agroindustriais e florestais. Sendo economicamente viável e com capacidade de gerar resíduos em receita (MILANEZ, 2015, p. 286-287).

A utilização da cana-energia agrega diversas vantagens e boas perspectivas futuras para produção de etanol 2G, uma vez que a cana-energia exige menos água em seu cultivo, se adapta a climas temperados e a solos pouco férteis e até mesmo inférteis (MATSUOKA *et al.*, 2014, p. 8).

Para melhores resultados e implantações futuras, ainda são necessários programas de incentivo e financiamento provenientes de órgãos governamentais direcionados à aplicação em bioenergia, aumentando o cultivo de culturas como da cana-energia e biomassa de sorgo (MILANEZ *et al.*, 2015, p. 289).

### **Custo de produção do etanol 2G**

O custo de produção do bioetanol define o quão competitivo este pode ser no mercado de biocombustíveis (BARROS NETO *et al.*, 2003). Quando se compara as diferentes formas de obtenção de bioetanol (1G, 2G e 3G) é possível avaliar os componentes fundamentais para o

custo de produção deste biocombustível, sendo eles: custo de capital, da biomassa e enzimas ou aditivos utilizados no processo produtivo.

Quando se compara o custo de produção dos 3 tipos de obtenção de bioetanol (Tabela 2), é possível avaliar, atualmente e a curto prazo, na faixa de 2016-2020, que o etanol 1G lidera o menor custo de produção, R\$1,10 o litro, em relação ao etanol 2G e 3G, com custos de R\$1,50 e R\$1,82, respectivamente.

Além disso, fica clara a vantagem e estabilidade na utilização do etanol 2G, que em médio e longo prazo levará o custo produtivo a níveis competitivos quando confrontado com o custo do etanol 1G, o etanol 2G chegará a custar R\$0,75 o litro na estimativa para a faixa de 2021-2025 enquanto o etanol 1G terá seu custo estimado em R\$0,80.

**Tabela 2 – Custo de produção de bioetanol e perspectivas a longo prazo**

Biocombustível	Preço a curto prazo (R\$/L) entre 2016-2020	Preço a médio prazo (R\$/L) entre 2021-2025	Preço a longo prazo (R\$/L) Entre 2026-2030	Referência bibliográfica
Etanol 1G	1,10	0,80	0,75	MILANEZ et al., 2015, p. 268
Etanol 2G	1,50	0,75	0,50	
Etanol 3G	1,82	-	-	NAABB, 2014, p. 133

Em contrapartida, o custo produtivo do etanol 3G não possui estimativas a médio e longo prazo, e seu preço de custo em curto prazo é maior do que as outras duas formas de obtenção devido ao fato de ainda não haver tecnologia suficientemente consolidada em escala industrial e pela falta de incentivos financeiros, ainda que seja uma alternativa extremamente viável para produção de bioetanol (NAABB, 2014, p. 133).

## CONCLUSÃO

Dentro deste contexto, fica claro o potencial do etanol de segunda geração (2G) como um biocombustível de produção seguro e sustentável, capaz de diminuir a liberação de gases de efeito estufa no planeta, tornando-se vantajoso para o meio ambiente. O Brasil é um dos maiores produtores de etanol do mundo, possuindo recursos para dar continuidade como um pioneiro na produção de biocombustíveis no mercado energético internacional, no entanto faz-se necessário investimento em estudos junto às universidades, entidades de pesquisa e grandes empresas para aperfeiçoar os processos que venham diminuir o custo de produção tornando-o viável economicamente e que garantam uma produção suficiente para atender a atual demanda energética. Ainda que exista a necessidade de investimento no setor e no processo de obtenção, o etanol 2G está entre as formas mais econômicas, em termos de custo de produção, e eficientes já

bioenergia em revista: diálogos, ano 7, n. 1, p. 45-57, jan./jun. 2017.

Morais, P. P.; Pascoal, P. V.; Rocha, E. de Sá; Martins, E. C. A.

*Etanol de 2 geração: atual produção e perspectivas*

consolidadas no mercado industrial de biocombustíveis e com equilibradas estimativas em longo prazo.

## REFERÊNCIAS

BALAT, M.; BALAT, H.; OZ, C. Progress in Bioethanol Processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 34, p. 551-573, 2008.

BARROS NETO, J. P.; FENSTERSEIFER, J. E.; FORMOSO, C. T. Os critérios competitivos da produção: um estudo exploratório na construção de edificações. *Revista de administração contemporânea*, v. 7, n. 1, p. 67-85, 2003.

BECHARA, R.; GOMEZ, A.; SAINT-ANTONIN, V.; SCHWEITZER, J. M.; MARÉCHAL, F. Methodology for the optimal design of integrated first and second generation ethanol production plant combined with Power cogeneration. *Bioresource Technology*, v. 214, p. 441-449, 2016.

BNDS – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. *Bioetanol de cana-de-açúcar*. Energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro, 316 p., 2008.

CONESA, C.; SEGUÍ, L.; LAGUARDA-MIRÓ, N.; FITO, P. Microwaves as a pretreatment for enhancing enzymatic hydrolysis of pineapple industrial waste for bioethanol production. *Food and Bioproducts Processing*, p. 1-34, 2016.

DIAS, M. O. S.; JUNQUEIRA, T. L.; JESUS, C. D. F.; ROSSELL, C. E. V.; MACIEL, R. F.; BONOMI, A. Improving second generation ethanol production through optimization of first generation production process from sugarcane. *Energy*, v. 43, p. 246-252, 2012.

DRABER, K. M. M. *Etanol de segunda geração já é realidade*. Monografia, USP, 54 p., 2013.

EHTESHAMI, S. M. M.; VIGNESH, S.; RASHEED, R. K. A.; CHAN, S. H. Numerical investigations on ethanol electrolysis for production of pure hydrogen from renewable source. *Applied Energy*, v. 170, p. 388-393, 2016.

EMBRAPA. Micro-organismos na embrapa agroenergia: da prospecção aos bioprocessos. *Informativo EMBRAPA*, p. 1-6, 2012.

JONKER, J. G. G.; JUNGINGER, H. M.; VERSTEGEN, J. A.; LIN, T.; RODRÍGUEZ, L. F.; TING, L. F.; FAAIJ, A. P. C.; VAN DER HILST, F. Supply chain optimization of sugarcane first generation and eucalyptus second generation ethanol production in Brazil. *Applied Energy*, v. 173, p. 494-510, 2016.

LEITE, R. C. C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. *SciELO Brasil*, CEBRAP, v. 78, p. 15-21, 2007.

LEITE, R. C.; CORTEZ, L. A. B. *O etanol combustível no Brasil*. Disponível em: <[http://sistemas.mre.gov.br/kitweb/datafiles/NovaDelhi/pt-br/file/Biocombustiveis\\_04-etanolcombustivelnobrasil.pdf](http://sistemas.mre.gov.br/kitweb/datafiles/NovaDelhi/pt-br/file/Biocombustiveis_04-etanolcombustivelnobrasil.pdf)>. Acesso em 27 de julho de 2015.

MATSUOKA, S.; KENNEDY A. J.; SANTOS, E. G. D.; TOMAZELA, A. L.; RUBIO, L. C. S. Energy Cane: Its Concept, Development, Characteristics, and Prospects. *Advances in Botany*, 13 p., 2014.

**bioenergia em revista: diálogos, ano 7, n. 1, p. 45-57, jan./jun. 2017.**

Morais, P. P.; Pascoal, P. V.; Rocha, E. de Sá; Martins, E. C. A.

*Etanol de 2 geração: atual produção e perspectivas*

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; VALENTE, M. S.; SOUSA, L. C.; BONOMI, A.; JESUS, C. D. F.; WATANABE, M. D. B.; CHAGAS, M. F.; REZENDE, M. C. A. F.; CAVALETTI, O.; JUNQUEIRA, T. L.; GOUVÊIA, V. L. R. 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*, n. 41, p. 286-289, 2015.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; VALENTE, M. S.; SOUSA, L. C.; BONOMI, A.; JESUS, C. D. F.; WATANABE, M. D. B.; CHAGAS, M. F.; REZENDE, M. C. A. F.; CAVALETTI, O.; JUNQUEIRA, T. L.; GOUVÊIA, V. L. R. 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* 41, p. 237-294, 2015.

MORO, D. R. *Pré-tratamento da biomassa de cana de açúcar por extrusão com dupla rosca*. Dissertação, 107 p., 2015.

MOSQUEIRA-SALAZAR, K. J.; PALACIOS-BERECHE, R.; CHÁVEZ-RODRÍGUEZ, M.; SEABRA, J.; NEBRA, S. A. Reduction of water consumption in an integrated first – and second-generation ethanol plant. *Energy for Sustainable Development*, v. 17, p. 531-535, 2013.

NAABB (National Alliance for Advanced Biofuels and Bioproducts Synopsis). Full final report section II, p. 133-134, 2014.

NYKO, D. A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada. *BNDES Setorial*, v. 32, p. 5-48, 2015.

NYKO, D. A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada. *BNDES Setorial*, v. 32, p. 5-48, 2010.

PANDEY, A.; SOCCOL, C. R.; NIGAM, P.; SOCCOL, V. T., Biotechnological potential of agro-industrial residues: sugarcane bagasse. *Biosource Technology*, v. 74, p. 69-80, 2000.

PAULO, H.; PAULA, A. F. D.; PÓVOA, B.; RELVAS, S. Energy from Lignocellulosic Biomass: Supply Chain Modeling to Maximize Net Energy Production. *Elsevier B.V.*, v. 33, p. 481–486, 2014.

PERRONE, O. M. *Avaliação térmica e estrutural do bagaço de cana de açúcar pré-tratado com ozônio, ultrassom e micro-ondas para produção de etanol celulósico por hidrólise enzimática*. Dissertação, UNESP, 65 p., 2015.

RAELE, R.; BOAVENTURA, J. M. G.; FISCHMANN, A. A.; SARTURI, G. Scenarios for the second generation ethanol in Brazil. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 87, p. 205-223, 2014.

RAJAGOPAL, D.; RASUL, M. G.; KHAN, M. M. K.; ASHWATH, N.; AZAD, A. K.; HAZRAT, M. A. Challenge of biofuel: filling the tank without emptying the stomach? *Environmental Research Letters*, v. 2, 30 p., 2007.

RODRIGUES, J. A. Do engenho à biorrefinaria, a usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis. *Química Nova*, vol. 34, n. 7, p. 1242-1254, 2011.

ROSA, S. E. S.; GARCIA, J. L. F. O etanol de segunda geração: limites e oportunidades. *BNDES*, v. 32, p.118- 156, 2009.

SANTOS, A. F.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para a produção de etanol. *Química Nova*, v. 35, p. 1004-1010, 2012.

**bioenergia em revista: diálogos, ano 7, n. 1, p. 45-57, jan./jun. 2017.**

Morais, P. P; Pascoal, P. V; Rocha, E. de Sá; Martins, E. C. A.

*Etanol de 2 geração: atual produção e perspectivas*

SANTOS, D. S. *Produção de etanol de segunda geração por Zymomonas mobilis naturalmente ocorrente e recombinante, empregando biomassa lignocelulósica*. Tese, UFRJ, 288 p., 2012.

SILVA, N. L. C. *Produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassa residual da indústria de celulose*. Disponível em: <<http://www.ladebio.org.br/download/bioetanol-2a-geracao-de-biomassa-residual>>. Acesso em 31 de julho de 2016.

VAZ JÚNIOR, S. *Biorrefinarias: Cenários e Perspectivas*.pdf. Disponível em: <[http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/10778/EMBRAPA\\_Biorrefinarias-Cen%C3%A1rios-e-Perspectivas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/10778/EMBRAPA_Biorrefinarias-Cen%C3%A1rios-e-Perspectivas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em 05 de agosto de 2016.

WAHONO, S. K., ROSYIDA, V. T., DARSIH, C., PRATIWI, D., & FREDIANSYAH, A. Optimization of Simultaneous Saccharification and Fermentation Incubation Time Using Cellulose Enzyme for Sugarcane Bagasse on the Second-generation Bioethanol Production Technology. *Energy Procedia*, v. 65, p. 331-336, 2015.

ZANONI, P. R. S.; SCHROEDER, B. G.; HEINZ, K. G. H.; HANSEL, F. A.; TAVARES, L. B.; MAGALHÃES, W. L. E. Produção de etanol: uma opção para aproveitamento de resíduos gerados nas indústrias de reciclagem de papel. *EMBRAPA Florestas*, 25 p., 2015.

1 Moraes, Polliana Peixoto. Graduanda do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia pela Universidade Federal do Tocantins;

2 Pascoal, Patrícia Verdugo. Mestranda do curso de Biotecnologia pela Universidade Federal do Tocantins.

3 Rocha, Emmeline de Sá. Mestranda do curso de Biotecnologia pela Universidade Federal do Tocantins

4 Martins, Eláiny Cristina Alves. Graduada em Ciências Biológicas (Licenciatura e Bacharelado) pela Universidade Federal do Tocantins. É Mestre em Agroenergia pela mesma instituição. Tem Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia (Rede BIONORTE). Possui experiência nas áreas de: Biocombustíveis, com ênfase na produção de etanol a partir da batata-doce; Genética, com ênfase em Genética molecular, incluindo estudos em Biodiversidade e Conservação Vegetal; Microbiologia do Solo, com ênfase na diversidade da comunidade fúngica utilizando técnicas independentes de cultivo. Atualmente docente do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia pela Universidade Federal do Tocantins.