



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## REVISÃO DE BIOMASSAS PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

Roseanne Batista Rodrigues da Silva <sup>1</sup>; Juan Carlos Valdés Serra <sup>2</sup>

### RESUMO

---

A necessidade de um novo padrão energético e a configuração de um arranjo produtivo baseado no uso de biomassa vem impulsionando uma série de pesquisas e inovações. A possibilidade de produzir etanol de resíduos lignocelulósicos é um grande atrativo para os produtores rurais brasileiros, pois dificuldades tais como a necessidade de aumentar a área plantada para incremento da produção e alto custo de matéria-prima passam a ser contornadas. Diante disso, o presente trabalho foi guiado por uma pesquisa exploratória cujas ideias e hipóteses apontaram os caminhos atuais mais promissores para a produção de etanol, a partir de lignocelulose.

**Palavras-chave:** Etanol de segunda geração; celulose; lignina; hidrólise enzimática.

### REVIEW OF BIOMASSES FOR THE SECOND GENERATION ETHANOL PRODUCTION

#### ABSTRACT

The need for a new energy standard and the configuration of a productive arrangement based on the use of biomass has been driving a series of research and innovations. The possibility of producing ethanol from lignocellulosic wastes is a great attraction for researchers, because difficulties, such as the need to increase the planted area to increase production and the high cost of raw material, cease to exist. The present work was guided by an exploratory research whose ideas and hypotheses pointed out the most promising current paths for the production of ethanol from lignocellulose.

**Keywords:** Second generation ethanol; cellulose; lignin; enzymatic hydrolysis.

---

<sup>1</sup> Engenheira Ambiental, Universidade Federal do Tocantins – UFT, Campos Palmas. E-mail: batista@gmail.com

<sup>2</sup> Professor da Universidade Federal do Tocantins – UFT, Campos Palmas. Avenida NS 15, Norte, 109 - Plano Diretor Norte, Palmas – TO. E-mail: juancs@uft.edu.br

## 1. INTRODUÇÃO

A proximidade do fim das reservas de petróleo, que representa a principal fonte energética mundial, adicionada às preocupações da sociedade com a preservação ambiental, são os maiores motivadores que levaram os governos a pesquisarem e procurarem mudanças de estratégias para o aumento da produção e do consumo de combustíveis renováveis e sustentáveis (NYKO *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2012).

A conexão entre desenvolvimento e meio ambiente possui diversas redes de interação, o eixo que relaciona as mudanças climáticas e produção energética é o mais desafiador quanto à busca de seu ponto ótimo (MENDES E RODRIGUES FILHO, 2012). Para encontrar soluções efetivas, as ações de mitigação das alterações no clima deverão passar por uma redução gradual da emissão dos gases do efeito estufa – GEE, gerados a partir da produção e uso de combustíveis fósseis (DE GOVELLO, 2010).

Na década de 1970 o conceito de desenvolvimento sustentável surgiu com o nome de ecodesenvolvimento e desde então é aperfeiçoado (ROMEIRO, 2012). A capacidade de manutenção dessa sustentabilidade aliada à economia de um país é regida por diversos fatores, dos

quais a sua competência de promover o desenvolvimento de sua matriz energética destaca-se e torna-se base para os demais pilares (TOLMASQUIM, 2012).

Segundo Milanez *et al.* (2015) o ramo de combustíveis brasileiro passou por inúmeras mudanças os últimos 20 anos, especialmente pelo crescimento do consumo de combustíveis líquidos devido ao aumento da frota de veículos combustível duplo, que tem a capacidade de ser reabastecido e funcionar com mais de um tipo de combustível, misturados no mesmo tanque e queimados na câmara de combustão simultaneamente, cujo atendimento é feito em sua grande maioria pelo aumento da produção interna de etanol da cana-de-açúcar. Esse monopólio causou uma falta de competitividade no mercado e estagnação que acarretou na falta de etanol, voltando assim o aumento das importações de combustíveis fósseis (MILANEZ *et al.*, 2012).

O potencial do biocombustível no Brasil fortifica a sua posição como potência regional com influência global e é um dos pontos que o leva a ser o líder político da América Latina. Os mais recentes desenvolvimentos no setor de biocombustíveis mostram que o Brasil passa por um processo abrangente de transformação, conduzindo não somente a enormes consequências econômicas, mas

também na política interna levando a mudanças sociais, socioculturais e ecológicas (KOHLHEPP, 2010).

Segundo João *et al.* (2012) embora o Brasil domine a tecnologia de produção de etanol de primeira geração, esse está ameaçado devido à possibilidade de se produzir etanol celulósico em escala comercial competitivamente. O etanol de segunda geração se apresenta como uma tecnologia capaz de fazer frente aos desafios energéticos internacionais contemporâneos: alta do preço do petróleo nos mercados internacionais, dependência dessa fonte por determinados países, aquecimento global e a demanda crescente de etanol de primeira geração tanto no mercado nacional quanto internacional (ARAUJO; NAVARRO; SANTOS, 2013).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A partir do supracitado será realizada uma compilação de dados dos valores de lignina, celulose, cinzas e rendimento de álcool contido nas principais biomassas utilizadas para a produção de etanol; em seguida descreve-se os principais métodos realizados nas bibliografias consultadas.

### 2.1 Teor de Lignina

A lignina, após a celulose, é o material orgânico de origem vegetal mais abundante. Tem um importante papel no transporte de água, nutrientes e metabólitos, sendo responsável pela resistência mecânica de vegetais, além de proteger os tecidos contra o ataque de microrganismos (RAZERA, 2006).

Os baixos valores encontrados de lignina na bioamassa favorecem o seu uso para produção de etanol de segunda geração. A lignina atua como uma cola entre a celulose e a hemicelulose, principais elementos estruturais da parede celular, sendo necessário sua retirada para conversão da celulose e da hemicelulose em açúcares e em seguida a fermentação destes e produção do bioetanol (BARROS, 2017).

O teor de Lignina é determinado de acordo com metodologias realizadas pelo Centro Nacional de Pesquisa do Algodão, Campina Grande, PB (MORAIS; ROSA, 2010). Toma-se 1,0 g da amostra seca em estufa a aproximadamente 60 °C e moída em moinho de facas tipo Willye. Em seguida o material é colocado em um almofariz e adicionado de 17,0 ml de ácido sulfúrico 72,0 % (m/m), resfriado em geladeira de 10 a 15 °C, antes do uso. Agita-se vigorosamente o material com o pistilo, até total homogeneização,

formando-se uma pasta. A digestão da amostra ocorre por 24 horas.

Após a digestão, o ácido sulfúrico é diluído a 4,0%, e todo o conteúdo transferido para um balão de 1.000 ml. A amostra fica mantida sob-refluxo por 4 horas. Todo o conteúdo do balão é filtrado e levado à estufa a  $105 \pm 2$  °C até massa constante. Após secagem em estufa a mesma deve ser levada à mufla, para determinação do teor de cinzas.

O teor de Lignina é calculado utilizando-se as seguintes equações:

$$\text{Teor de Cinza \%} = \frac{MFC-MF}{MA} \times 100 \quad (01)$$

$$\text{Teor de Lignina \%} = \left( \frac{MFL-MF}{MA} \times 100 \right) - TC \quad (02)$$

Onde:

MF: massa do funil limpo e seco (g);

MA: massa da amostra (g);

MFL: massa do funil + lignina após secagem em estufa (g);

MFC: massa do funil + cinzas após calcinação em mufla (g);

TC: teor de cinzas (%).

## 2.2 Teor de Celulose

A celulose é o polímero natural e orgânico de maior ocorrência no mundo, possui elevada resistência à tensão, é insolúvel em água e em uma grande

quantidade de outros solventes. A celulose, durante o processo de produção de etanol de segunda geração, é transformada em açúcar para a fermentação, portanto sua maior porcentagem é preferível.

O teor de celulose é determinado, segundo metodologia utilizada pela Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS (RODRIGUES, 2015). Pesa-se em tubo de ensaio 1,0 g da amostra seca em estufa a aproximadamente 60 °C e moída em moinho de facas tipo Willye, em seguida foi adicionado 16,5 ml de reagente ácido, previamente preparado com ácido acético glacial (72,73 %), água destilada (18,18 %) e ácido nítrico (9,09 %).

Para a etapa de digestão das proteínas a amostra coloca-se em banho-maria, em ebulição, por trinta minutos. Após a digestão, adiciona-se 20 ml de álcool etílico, em seguida todo o material é filtrado e lavado com 20 ml de etanol quente, adicionou-se na filtração 20 ml de benzeno quente e, finalmente, 20 ml de éter sulfúrico, a 65 °C.

Leva-se o conteúdo filtrado à estufa a  $105 \pm 2$  °C até peso constante e à mufla, para determinação do teor de cinzas. O teor de Celulose foi calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$\text{Teor de Celulose \%} = \left( \frac{M_i-MP-M_f}{MA} \right) \times 100 \quad (03)$$

Onde:

MA: Massa da amostra (g);

Mi: Massa do cadinho + amostra após secagem (g);

MP: Massa do papel filtro (g);

Mf: Massa do cadinho + cinzas (g).

### 2.3 Teor de Cinzas

Brand e Muñiz (2012) classificam o teor de cinza de uma planta como componentes acidentais e se constituem de sais minerais que participam da nutrição da planta e resultam como resíduo após a combustão completa da biomassa.

O teor de cinzas é determinado com a amostra utilizada na análise de celulose, no qual leva-se o conteúdo filtrado à estufa a  $105 \pm 2^\circ \text{C}$  até peso constante e à mufla, para determinação do teor de cinzas.

### 2.4 Produção de Etanol Lignocelulósico

Dentre as várias biomassas utilizadas para produção de energia, a lignocelulose tem se mostrado como uma matéria-prima promissora por se tratar de um resíduo de produção abundante e barato.

A utilização integral desse resíduo mostra-se como uma alternativa para aumentar a produção de etanol

combustível, menos poluente que os combustíveis fósseis, sem a necessidade de aumentar a área plantada de cana. A produção do etanol lignocelulósico passa pelas seguintes etapas:

#### - *Hidrólise Enzimática:*

Visando avaliar o potencial para produção de etanol de uma maneira mais simples e de baixo valor, inicia-se o processo de hidrólise enzimática celulolítica adicionando-se 1,00 g de biomassa seca a 50 ml de água destilada em um balão volumétrico sob agitação durante uma hora.

Em seguida corrige-se o pH para 5 (cinco) e adiciona-se então a enzima comercial Cellic Htec2 (Novozymes) à temperatura de  $50-55^\circ \text{C}$  sob agitação constante por 72 horas.

#### - *Fermentação:*

Após a hidrólise enzimática, a fase líquida é fermentada com a levedura comercial *Saccharomyces cerevisiae* (Fleischmann®), para tanto, ajusta-se o pH das amostras e adiciona-se aproximadamente 0,09 g da levedura, em 20 ml de amostra hidrolisada, permanecendo em reação a aproximadamente  $30^\circ \text{C}$  por 24 horas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 resume os resultados encontrados na pesquisa realizada:

**Tabela 1.** Teor de Lignina, Celulose, Cinzas e Rendimento de Álcool de biomassas lignocelulósicas.

Biomassa Lignocelulósica	% Lignina	Biomassa Lignocelulósica	% Celulose
Palha de cana	22-25	Palha de cana	40-44
Bagaço de cana	23-32	Bagaço de cana	32-48
Madeira dura	16-24	Madeira dura	43-47
Madeira mole	25-31	Madeira mole	40-44
Talo de milho	35	Talo de milho	35
Espiga de milho	15	Espiga de milho	45
Algodão	0,3	Algodão	95
Palha de trigo	15	Palha de trigo	30
Sisal	11	Sisal	73,1
Palha de arroz	16,3	Palha de arroz	43,3
Forragem de milho	7-21	Forragem de milho	38-40
Fibra de coco	41-45	Fibra de coco	36-43
Fibra de bananeira	5-10	Fibra de bananeira	60-65
Palha de cevada	14-19	Palha de cevada	31-45
Biomassa Lignocelulósica	% Cinzas	Biomassa Lignocelulósica	Rendimento de Álcool
Forragem de milho	3,6 – 7	Bagaço da cana-de-açúcar	54
Fibra de coco	2,7 – 10,2	Palha de cana-de-açúcar	58
Fibra de bagaço	1,5 – 5	Panicum virgatum	14
Fibra de bananeira	4,7	Capim Gambá	15
Palha de trigo	6 – 8	Capim Elefante	53
Palha de arroz	14 – 20		
Palha de cevada	2-7		

#### 3.1 Teor de Lignina

Após consulta a literatura, das quais as biomassas lignocelulósicas, apresentadas na Tabela 1, apontaram serem as mais estudadas para a produção de etanol de segunda geração (etanol lignocelulósico).

A estrutura da lignina não é homogênea, possui regiões amorfas e

estruturas globulares. A composição e a organização dos constituintes da lignina variam de uma espécie para outra, dependendo da matriz e celulose-hemicelulose (SANTOS *et al.*, 2012).

A lignina é conhecida por impedir a conversão da lignocelulose em etanol devido a sua toxicidade e inibição da hidrólise enzimática. Torna-se de grande interesse econômico o desenvolvimento de metodologias para sua redução na biomassa (CUNHA; SEVERO FILHO, 2010).

As matérias lignocelulósicas que apresentaram os resultados mais baixos foram o algodão, a fibra de bananeira, o sisal e a espiga de milho; tal resultado aponta que essas biomassas podem ser as mais viáveis para o processo, levando-se em consideração apenas a porcentagem de lignina, pois a principal dificuldade para essa produção é o fracionamento dos componentes químicos sem que os mesmos sejam degradados.

Os baixos valores encontrados de lignina na bioamassa favorecem o seu uso para produção de etanol de segunda geração (SANTOS *et al.*, 2012).

#### 3.2 Teor de Celulose

A Tabela 1 mostra uma seleção das principais biomassas lignocelulósicas

estudadas para a produção de etanol de segunda geração e as relaciona ao seu conteúdo de celulose.

O interesse pela melhoria dos métodos de obtenção do etanol de celulose vem aumentando, conforme mencionado anteriormente, isso vem ocorrendo devido ao fato da celulose corresponder à substância de maior concentração na biomassa e por apresentar uma alta eficiência para produção de etanol quando submetido a reações de hidrólise.

A Celulose é poli-carboidrato que através de uma reação pode ser transformado em um monômero, a hexoses, isso ocorre a partir da adição de água à molécula. Tal reação é denominada como hidrólise e é realizada com a utilização de um catalisador (SOARES, 2009).

Tendo em vista isto as melhores biomassas para a produção de etanol, quando relacionado ao conteúdo de celulose, são a fibra de bananeira, o sisal, a madeira em geral e o algodão.

### 3.3 Teor de Cinzas

As cinzas presentes na biomassa correspondem à matéria inorgânica, compostos minerais contidos na planta. Uma menor quantidade de cinzas garante uma menor produção de resíduos sólidos

ao final do processo de produção de etanol de segunda geração, as biomassas lignocelulósicas que se destacam nesse caso são a fibra do milho e a palha da cevada. A tabela 1 relaciona os teores das principais biomassas lignocelulósicas aplicadas na produção de energia.

As biomassas que apresentam melhores características para a produção de etanol de segunda geração, quanto ao conteúdo de cinzas são a forragem de milho e a fibra de coco, por conter um valor baixo de cinzas que serão resíduos do processo.

### 3.4 Produção de Etanol Lignocelulósico

Atualmente, a transformação de materiais lignocelulósicos em etanol ainda é complexa, com baixo rendimento na conversão da matéria-prima, balanço energético negativo e custo de produção elevado.

A Tabela 1 faz um apanhado da porcentagem da produção de álcool a partir dos açúcares fermentáveis, produzidos no processo de hidrólise, em biomassas lignocelulósicas.

Pode-se observar um maior rendimento de álcool a partir da utilização de bagaço e palha da cana-de-açúcar e do capim elefante, tais biomassas destacaram-

se em todos os quesitos demonstrando o seu grande potencial para esse fim.

A palha de cana de açúcar já vem sendo utilizada para produção de etanol e também para cogeração de energia. Logo, os valores obtidos em experimentos, no que tange à produção de etanol a partir da palha da cana de açúcar já são considerados como promissores, visto que, para 1 tonelada de palha de cana de açúcar, estima-se uma produção de 287 litros de etanol (SANTOS *et al.*, 2012).

#### 4. CONCLUSÕES

A partir das análises realizadas em uma ampla rede bibliográfica constatou-se que o desenvolvimento da produção comercial do bioetanol lignocelulósico é uma eficiente alternativa para o aumento de produção de energia e isso pode ocorrer sem necessidade de expansão de terras agricultáveis e, no caso do Brasil, sem a necessidade de novas instalações para produção, podendo ser acoplado ao processo de produção de etanol de primeira geração.

O Brasil tem investido muito em pesquisas para aprimorar as técnicas de produção, mas muitos estudos ainda precisam ser feitos em cada etapa do processo produtivo para que o bioetanol

lignocelulósico torne-se realidade viável economicamente.

Contudo, faz-se necessária a realização de trabalhos para desenvolver tecnologias mais eficientes, em todas as etapas do processo de produção, desde a obtenção da matéria prima, pré-tratamentos do material e hidrólise, até a fermentação do hidrolisado obtido.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ARAUJO, G. J. F. de; NAVARRO, L. O. F. S.; SANTOS, B. A. S. O etanol de segunda geração e sua importância estratégica ante o cenário energético internacional contemporâneo. *Anap*, [s.l.], v. 9, n. 5, p.1-2, 10 nov. 2013. **ANAP - Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista**. <http://dx.doi.org/10.17271/19800827952013492>.
- BARROS, T. D. **Etanol lignocelulósico**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CON T000g63ym1ge02wx5ok0o71pxtm 0b852y.html>>. Acesso em: 04 dez. 2017.
- BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B. de. Influência da Época de Colheita e da Estocagem na Composição Química da Biomassa Florestal. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p.66-78, jan. 2012. Disponível em: <<http://www.floram.org/files/v19n1/v19n1a8.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2016.



- CUNHA, S. P.; SEVERO FILHO, W. A. Avanços tecnológicos na obtenção de etanol a partir de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 14, n. 2, p.69-75, 2010. Disponível em: <file:///C:/Users/Roseanne/Documents/Eng.Ambiental/10º período/TCC2/Artigos/1523-5306-1-PB.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2016.
- DE GOUELLO, C. et al. **Brazil Low-carbon Country Case Study**. Washington: The World Bank Group, 2010. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/BRAZILEXTN/Resources/Brazil\_LowcarbonStudy.pdf>.
- JOÃO, I. S.; PORTO, G. S.; GALINA, S. V. R. A posição do Brasil na corrida pelo etanol celulósico: mensuração por indicadores C&T e programas de P&D. **Revista Brasileira de Inovação, Campina**, v. 11, n. 1, p.105-136, jun. 2012. Disponível em: <http://ocs.ige.unicamp.br/ojs/rbi/article/view/463/332>. Acesso em: 03 set. 2016.
- KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 24, n. 68, p.223-253, 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142010000100017>.
- MENDES, T. de A.; RODRIGUES FILHO, S. Antes do pré-sal: emissões de gases de efeito estufa do setor de petróleo e gás no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p.203-2017, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v26n74/a14v26n74.pdf>. Acesso em: 05 set. 2016.
- NYKO, D. et al. A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 32, p. 5-48, set. 2010.
- MILANEZ, A. Y. et al. O déficit de produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões de política. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 35, p. 277-302, mar. 2012.
- MILANEZ, A. Y. et al. De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar – uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 1, p.237-294, mar. 2015. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4283/1/BS41-De promessa a realidade\_como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar.pdf>. Acesso em: 04 set. 2016.
- MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. de F.; MARCONCINI, J. M. **Procedimentos para Análise Lignocelulósica**. Documentos 236, Centro Nacional de Pesquisa do Algodão, Campina Grande-PB, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/883400/1/DOC\_236.pdf>. Acesso em: 06 de dez. 2017.
- RAZERA, I. A. T. Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofeólica. Tese (**Doutorado** em Ciências Físicas - Químicas) Instituto de Química de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

- RODRIGUES, R. C. **Métodos de Análises Bromatológicas de Alimentos: Métodos Físicos, Químicos e Bromatológicos**. Documentos 306, Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2010. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/40059/1/documento-306.pdf>>. Acesso em: 10 de Set. 2015.
- ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômicoecológica. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 74, n. 26, p.65-92, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v26n74/a06v26n74.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2016.
- SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H. de; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012. DOI: 10.1590/S0100-40422012000500025.
- SANTOS, F. A. et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p.1004-1007, 2012. Disponível em: <[http://quimicanova.sbq.org.br/imagetbank/pdf/Vol35No5\\_1004\\_24-V11835\\_cor.pdf](http://quimicanova.sbq.org.br/imagetbank/pdf/Vol35No5_1004_24-V11835_cor.pdf)>. Acesso em: 05 set. 2016.
- SOARES, P. A. **Conversão da Celulose pela tecnologia Organosolv**. 3. ed. São Paulo: Naippe, 2009. 29 p. Disponível em: <[http://www.naippe.fm.usp.br/arquivos/livros/Livro\\_Naippe\\_Vol3.pdf](http://www.naippe.fm.usp.br/arquivos/livros/Livro_Naippe_Vol3.pdf)>. Acesso em: 04 dez. 2017.
- TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 249-260, 2012. Disponível em: <<http://periodicos.usp.br/eav/article/view/10636/12378>>. Acesso em: 29 ago. 2016.