



A PRODUÇÃO DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Fernanda de Araújo Martins (EPA, UNESPAR-FECILCAM/CAMPO MOURÃO, Brasil)
fer_amartins@hotmail.com

Thamara Martim (EPA, UNESPAR-FECILCAM/CAMPO MOURÃO, Brasil) thama-
ra_martim_@hotmail.com

Andressa Maria Corrêa (EPA, UNESPAR-FECILCAM/CAMPO MOURÃO, Brasil) andmari-
ah@hotmail.com

Faberson Ferreira de Oliveira (EPA, UNESPAR-FECILCAM/CAMPO MOURÃO, Brasil) faber-
son_ferreira@hotmail.com

Resumo: O presente artigo foi realizado na Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) que tem por objetivo descrever o processo para a produção do etanol de segunda geração, conhecido também como etanol 2G, feito a partir do bagaço da cana-de-açúcar, em que visa o desenvolvimento econômico, social e ambiental do país. Tendo em vista que o país está investindo em tecnologia para o desenvolvimento do etanol 2G para minimizar principalmente o uso de combustíveis fósseis, e queimadas que antes era praticado com o bagaço e a palha da cana-de-açúcar. O Brasil tem um grande potencial para este renovado e sustentável “combustível limpo”, pois já é um grande produtor em larga escala e baixo custo desta cultura, que se adaptou muito bem ao solo brasileiro. Sendo assim o país precisa investir em tecnologia para produzir o etanol de segunda geração com o custo mais baixo para se tornar viável a produção em larga escala.

Palavras-chave: Biocombustível. Sustentável. Biomassa.

1. Introdução

No início do século XX, ocorreram as primeiras ações de introdução do etanol na matriz energética brasileira. Em 1925 surgiu a primeira experiência brasileira com etanol combustível (BASTOS, 2007).

Segundo Leite e Cortez (S.D) em 1975 foi lançado o Programa Nacional do Álcool (Pro-álcool), cujo objetivo maior era a redução da

dependência nacional em relação ao petróleo importado, a partir dessa data, ocorreu a substituição da gasolina pelo etanol no Brasil (BASTOS, 2007).

O etanol, também denominado álcool etílico é produzido desde os tempos antigos pela fermentação dos açúcares encontrados em produtos vegetais. Ainda hoje, grande parte do eta-



nol industrial é obtido pelo mesmo processo, embora também possa ser produzido a partir de eteno (hidrocarboneto com ligação dupla), derivado do petróleo (BASTOS, 2007).

A partir do etanol feito da cana-de-açúcar (*Saccharum*) o bagaço era denominado resíduo, sendo ele queimado nas caldeiras para gerar energia, na qual é prejudicial ao ambiente e a saúde humana, devido a poluição gerada (NOGUEIRA, 2008).

Segundo Ramos e Luchiar Jr (2008) a queima do bagaço da cana-de-açúcar nas caldeiras, traz consequências para a população que mora nas proximidades da indústria onde ocorre este processo, causando problemas respiratórios devido à poluição gerada poluição pelas queimadas, sobretudo em crianças e idosos, uma vez que o período de queimada coincide com o período em que a umidade relativa do ar está mais baixa, sendo assim notou-se que o bagaço poderia ser reaproveitado de outra maneira, então realizou-se testes e pesquisas para a elaboração do etanol de segunda geração.

O etanol de segunda geração também conhecido como etanol celulósico pode ser feito a partir do bagaço ou palha da cana-de-açúcar, sorgo, milho, beterraba, entre outros, porém, o mais comum é o feito a partir do bagaço e da palha da cana-de-açúcar (NOGUEIRA, 2008).

É visto como uma alternativa para ampliar a produção do álcool no Brasil, sem ter de investir diretamente em aumento da área e de matéria-prima, por conta do aproveitamento de resíduos como, por exemplo, a palha e o bagaço da cana (UNICA, 2013).

Segundo a Braskem (2013), a cana-de-açúcar é

um exemplo de cultura renovável e versátil, que pode ser utilizada como fonte de energia limpa e matéria-prima de produto. O Brasil hoje é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. A modernização das 430 usinas em operações no país, com a doação de novas tecnologias, desde o plantio até a produção de açúcar, etanol e bioeletricidade, fortalecem o setor, reconhecido mundialmente por seu pioneirismo e sua eficiência produtiva.

A produtividade média de cana-de-açúcar está em torno de 74.100 kg/ha (CONAB, 2013). Sendo que para cada tonelada de cana-de-açúcar tem-se em média 250 kg de bagaço. (UNICA, 2008). As vantagens atribuídas para o uso do bagaço e pontas de cana-de-açúcar são estimadas que eleve a produção de álcool em 30 a 40%, para uma mesma área plantada, portanto, não é necessário que se expanda as áreas de produção para o desenvolvimento do produto, por isso se torna viável a sua produção (PACHECO, 2011).

Segundo Pacheco (2011), o mercado consumidor de etanol crescerá ainda mais, tanto nacional quanto mundialmente, em um futuro próximo, devido às legislações ambientais que obrigam o uso de biocombustíveis em meios de transporte.

O Brasil tem potencial para produzir o etanol de segunda geração feito através do bagaço da cana-de-açúcar em larga escala, pois há matéria-prima em abundância com fácil acessibilidade, sendo capaz de competir com outros países. Desta forma tem-se necessidade de aprofundar-se nos estudos e pesquisas dos processos para obtenção deste novo biodiesel,

em que pode ser uma das alternativas mais promissoras e ambientalmente sustentáveis para a substituição de combustíveis fósseis. Logo, foram realizadas pesquisas com o intuito de descrever o processo de produção do etanol de segunda geração, feito a partir do bagaço da cana. Observou-se que são necessárias novas pesquisas para o aperfeiçoamento desta tecnologia. Essa nova geração representa uma alternativa para o uso energético da biomassa, tendo em vista que apresenta vantagens ambientais e econômicas, por ser o etanol produzido do bagaço, na qual há um reaproveitamento da matéria-prima e o aumento da produção sem a expansão da área de produção.

2. Metodologia

A pesquisa foi realizada na Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR/FECILCAM-Campus Campo Mourão), no período de agosto à setembro de 2013.

Sendo que o método de abordagem utilizado foi o qualitativo. A pesquisa caracteriza-se quanto aos fins como explicativa e quanto aos meios, como bibliográfica e virtual.

A revisão de literatura foi realizada consultando alguns dados da União da Indústria de Cana de açúcar (UNICA).

E alguns levantamentos sobre produção e produtividade na Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB).

Foram realizadas pesquisas sobre o mercado de consumidores potenciais do Etanol 2G no La-

boratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE, 2013).

Leite e Cortez explicam que o Brasil pode diminuir drasticamente o uso de combustíveis fósseis, por um combustível limpo diminuindo assim o aquecimento global.

Segundo a CTBE (2013), o Brasil e a Europa se unem para realizar pesquisas para o desenvolvimento de tecnologias que possam diminuir o custo da produção do álcool de segunda geração a partir da biomassa da cana-de-açúcar.

Dessa forma, o presente artigo será estruturado segundo as ideias dos autores e instituições citados anteriormente.

3. Processo da obtenção do etanol de segunda geração

As tecnologias avançadas de obtenção de etanol de segunda geração encontram-se em desenvolvimento. A rigor, não existe nenhuma unidade que produza em escala comercial (NOGUEIRA, 2008).

Segundo Santos et al. (2012) a composição química da biomassa lignocelulósica, geralmente contém 35-50% de celulose, seguido de 20-35% de hemicelulose, 10-25% de lignina e uma pequena quantidade de cinzas e extrativos. Esta composição química varia em função do tipo de biomassa, conforme mostra a Tabela 1.



TABELA 1: COMPOSIÇÃO DA BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA (% EM BASE SECA)

	Eucalipto	Pinheiro	Switch-grass*	Bagaço
Celulose	49,5	44	32	37
Hemicelulose	13	22	25	28
Lignina	27,5	28	18	21
Outros	10	5,5	24	14

* Gramínea em estudo nos Estados Unidos (EUA)

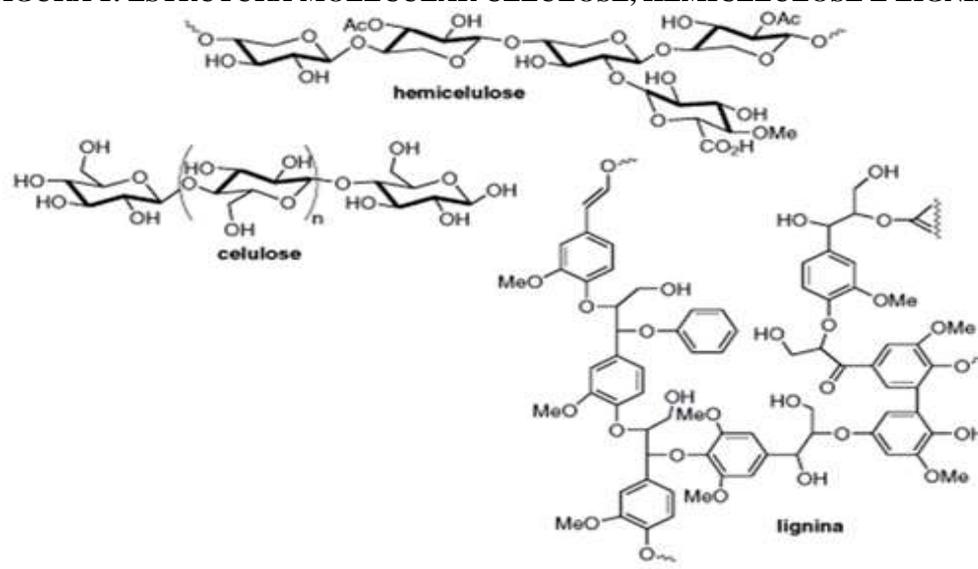
Fonte: Hamelinck et al. (2005)

Segundo Medeiros (1992) o bagaço de cana-de-açúcar in natura é definido como resíduo dos colmos da cana-de-açúcar, resultado da extração máxima do conteúdo celular rico em açúcares solúveis. Portanto, o bagaço de cana-de-açúcar reúne fragmentos grosseiros da parede celular e conteúdo celular não extraído na moagem da cana-de-açúcar. Cujo componente

principal é representado pelo açúcar não extraído durante o processo de moagem, aproximadamente 2 a 3%, e alto teor de componentes da parede celular (carboidratos estruturais), em torno de 70 a 85%, dos quais a celulose é o principal (44 a 50%), seguida da hemicelulose (24 a 30%) e da lignina (10 a 20%).

Sendo a lignina, celulose e hemicelulose estruturadas conforme a Figura 1.

FIGURA 1: ESTRUTURA MOLECULAR CELULOSE, HEMICELULOSE E LIGNINA



Fonte: Ferreira et al (2009)

- Celulose

A celulose (C₆H₁₀O₅) principal componente da parede celular da fibra vegetal é um polímero de cadeia longa composto de um só monô-

mero (glicose) e por isso classificado como homopolissacarídeo. É a matéria orgânica mais abundante sobre a Terra, consistindo aproximadamente em 50% de toda a biomassa e uma produção anual de cerca de 100 bilhões de toneladas (YANG et al., 2007).

- Hemicelulose

Outro componente essencial na parede celular das plantas são as hemiceluloses. Estas macromoléculas estão intimamente ligadas à celulose, definindo propriedades à parede celular e desempenhando funções de regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas (FENGEL; WEGENER, 1991; LIMA; RODRIGUES, 2007). As hemiceluloses são polissacarídeos formados por diferentes unidades de açúcares pertencentes aos grupos das pentoses, hexoses, ácidos hexourônicos e desoxiexoses.

- Lignina

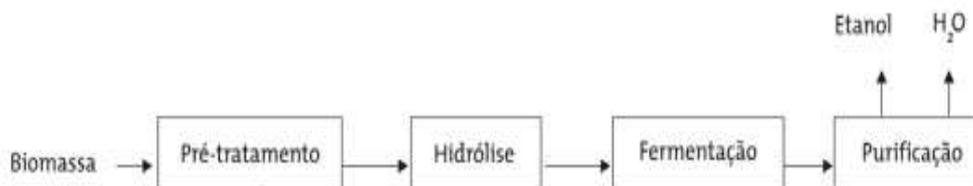
Uma das substâncias orgânicas macromoleculares naturais é a lignina, que ocupa cerca de 30% dos carbonos da biosfera (FENGEL; WEGENER, 1991). Sua estrutura é bastante heterogênea e consiste em uma rede de anéis aromáticos unidos, principalmente por ligações alquil-aril-éter, formando um arranjo amorfo com grandes quantidades de ligações cruzadas entre os anéis aromáticos (ARGYROPOULOS; MENACHEM, 1997).

As normativas para o etanol de segunda geração, não foram formuladas, pois o mesmo está em fase de teste, em que se estima que para 2016 será permitido a comercialização do etanol de segunda geração (RAPOSO, 2013).

4. Etapas para a obtenção do etanol a partir da biomassa

Para a obtenção do etanol segunda geração através da biomassa é preciso que o bagaço passe por alguns processos, sendo eles: pré-tratamento; hidrólise; fermentação; e purificação, obtendo o produto final. De acordo com a Figura 2, nota-se que na obtenção do etanol de segunda geração existem algumas etapas a mais que o etanol de primeira geração, sendo elas o pré-tratamento da biomassa, e a outra etapa é a hidrólise. Observa-se que o etanol de segunda geração obtido através do bagaço da cana-de-açúcar tem um custo maior do que o etanol convencional produzido do caldo da cana-de-açúcar.

FIGURA 2: FLUXOGRAMA PARA OBTENÇÃO DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DA BIOMASSA



Fonte: Hamelinck et al. (2005)

4.1.1. Pré-tratamento

A conversão da maioria dos materiais lignocelulósicos em álcool a partir da celulose requer pré-tratamento antes da hidrólise (como pode ser observado pela Figura 2). O objetivo do pré-tratamento é remover a hemicelulose e a lignina, reduzir a cristalinidade da celulose e aumentar a porosidade dos materiais; além disso, deve evitar a degradação ou perda de

carboidratos e a formação de bioprodutos que possam inibir os microrganismos fermentadores. Existem diversos tipos de pré-tratamentos, com diferentes rendimentos e efeitos distintos sobre a biomassa e consequente impacto nas etapas subsequentes (McMILLAN, 1994).

O Quadro 1 mostra as principais práticas de pré-tratamento, que estão sendo utilizadas e aperfeiçoadas.

QUADRO 1: MÉTODOS DE PRÉ- TRATAMENTO

Processo	Descrição	Tempo de reação (min)	Rendimento de xilose* (%)
FÍSICOS			
Explosão de Vapor	A biomassa é triturada e tratada com vapor (saturado 160°-260) seguindo de uma rápida descompressão.	1-10	45-65
Termo-hidrólise	Utiliza água quente a alta pressão (pressões acima do ponto de saturação) para hidrolisar a hemicelulose	30	88-98
QUÍMICOS			
Hidrólise ácida	Por meio do uso de ácidos sulfúrico, clorídrico ou nítrico, concentrados ou diluídos.	2-10	5-90
Organosolv	Uma mistura de um solvente orgânico (metanol, bioetanol e acetona, por exemplo) com um catalisador ácido (H ₂ SO ₄ , HCl) é usada para quebrar as ligações internas da lignina e da hemicelulose.	40-60	70-80

Fonte: Adaptado de Hamelinck et al. (2005); BNDES (2008), e Alvira et al. (2010)

4.1.2. Hidrólise da Biomassa

Existem basicamente três técnicas para a obtenção de açúcares fermentescíveis provenientes de matérias lignocelulósicos: hidrólise com ácido concentrado, hidrólise com ácidos diluídos e hidrólise enzimática.

A etapa de hidrólise (sacarificação) (Tabela 2) tem como objetivo a redução das macromolé-

culas de celulose e de hemicelulose, através da adição de ácido sulfúrico aos resíduos, para que seja feita uma hidrólise ácida, ou por meio da ação de enzimas, hidrólise enzimática para obter açúcares fermentescíveis.

TABELA 2: PROCESSOS DE HIDRÓLISE (SACARIFICAÇÃO) DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO

Processo	Insumo	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Sacarificação (%)
Ácido diluído	< 1% H ₂ SO ₄ ,	215	3	50-70
Ácido concentrado	30%-70% H ₂ SO ₄ ,	40	120-360	90
Enzimático	Celulase	70	2160	75-95

Fonte: BNDS (2008)

O processo com ácido diluído utiliza altas temperaturas e pressões, com tempos de reação de segundos a minutos, o que facilita o uso de processos contínuos. Já os processos com ácido concentrado são conduzidos em condições mais brandas de temperatura, mas com tempos de reação mais longos (GRAF; KOEHLER, 2000).

No processo enzimático, a hidrólise é catalisada por um complexo de enzimas caracterizado comercialmente como celulases compostas por *endoglucanases* (que agem especificamente na catálise da hidrólise das cadeias de celulose produzindo polissacarídeos de menor comprimento), *exoglucanases* (que catalisam especificamente as extremidades não redutoras dessas cadeias mais curtas, originando a *celobiose*) e *β-glucosidases* (que catalisam a hidrólise da *celobiose* e outros oligômeros à glicose) (NOVOZYMES, 2002).

O processo de hidrólise pela via enzimática é conduzido em condições brandas de processo, com pH 5,0 e temperatura por volta de 50°C, o que reduz os custos operacionais, além de conferir maior rendimento, possibilitar a fermentação simultânea à sacarificação (processo SSF – *simultaneous saccharification and fermenta-*

tion) e apresentar baixo custo de manutenção das instalações.

Por conta de seu grande potencial de evolução e menor custo, muitos especialistas indicam a hidrólise enzimática como a mais promissora para a produção de *bioetanol*, com um custo competitivo em longo prazo (DIPARDO, 2000).

A hidrólise com ácido concentrado apresenta rendimentos pouco maiores, mas a necessidade de recuperação do ácido e o uso de equipamentos resistentes à corrosão comprometem o desempenho econômico do processo (BNDS, 2008).

3.1.3. Fermentação

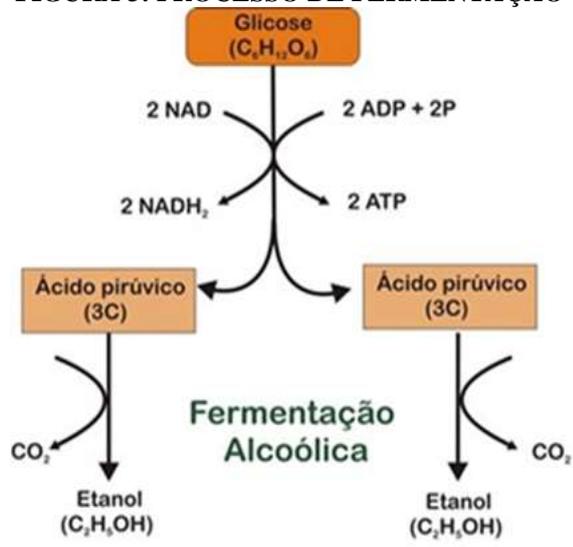
Existem dois tipos de fermentação, a fermentação do material lignocelulósico, e a fermentação dos carboidratos. Ambos obtidos a partir da hidrólise.

4.1.3.1. Fermentação alcoólica dos carboidratos obtidos da hidrólise

Para as glicoses o processo de fermentação é feito com a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Nesse processo obtêm-se dois tipos de açúcares, a glicose e as pentoses. As leveduras

fermentam açúcares, produzindo álcool etílico e gás carbônico (CO₂), processo denominado fermentação alcoólica. Na fermentação alcoólica, as duas moléculas de ácido pirúvico produzidas são convertidas em etanol, com a liberação de duas moléculas de CO₂ e a formação de duas moléculas de ATP, conforme a Figura 3.

FIGURA 3: PROCESSO DE FERMENTAÇÃO



Fonte: Só biologia (S.D.)

A dificuldade na etapa de fermentação consiste na biotransformação das pentoses. A transformação das pentoses em bioetanol é fundamental para a eficiência do processo a partir da lignocelulósica.

As linhas de pesquisa em andamento estão centradas em: seleção e melhoramento de leveduras que fermentem naturalmente as pentoses a etanol; desenvolvimento de linhagens recombinantes de *Saccharomyces cerevisiae*; seleção de bactérias termofílicas (*Thermoanaerobacter ethanolicus*); seleção de bactérias mesófilas (*Zymomonas mobilis*, *Escherichia colie* e *Klebsiella*).

Três espécies de leveduras são identificadas como as de maior potencial para a fermentação alcoólica das pentoses, são elas: *Pichia stipitis*, *Candida shehatae* e *Pachysolen tannophilus*, porém com desempenho até o momento muito limitado.

4.1.3.2. Fermentação alcoólica do material lignocelulósico resultante da hidrólise

Os materiais lignocelulósicos, quando hidrolisados produzem hexoses oriundas da celulose que são facilmente fermentadas pelos microorganismos (leveduras). Já a hidrólise da hemicelulose fornece pentoses (xilose e arabinose), que não são diretamente fermentadas por leveduras industriais convencionais, sendo a biotransformação dessas pentoses, a etanol um dos desafios mais importantes a resolver no âmbito científico e tecnológico (ROSSELL, 2000).

A hidrólise da hemicelulose produz também hexoses tais como glicose, manose e galactose, sendo que esta última exige linhagens de levedura específicas para produção de etanol.

Em função das altas temperaturas e condições ácidas em que se desenvolvem os pré-tratamentos e a hidrólise ácida da matéria-prima lignocelulósica, originando compostos cuja natureza e a concentração depende do tipo de matéria-prima, do pré-tratamento utilizado, das condições do processo (temperatura e tempo de reação) e do emprego de catalisadores ácidos, que irão atuar como inibidores da fermentação (LUDVIG, 2012).

5. Purificação

É uma operação que permite a separação de misturas de líquidos em componentes puros próximos de pureza e que se realiza a vaporização e condensação sucessivas à operação em questão é exequível quando se verifica uma diferença de volatilidade entre os componentes do líquido (RASOVSKY, 2009).

A destilação fracionada ocorre por meio de vaporização e condensações sucessivas por meio das diferentes volatilidades das substâncias (RASOVSKY, 2009). A alimentação é introduzida no meio da coluna descendo até atingir o refeedor (trocador de calor aquecido por vapor), onde entrará em ebulição. Este vapor ascenderá à coluna em contra corrente com a alimentação atingindo o condensador onde será liquefeito (RASOVSKY, 2009).

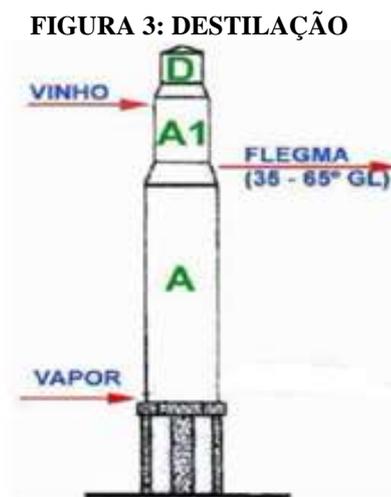
5.1. Tronco de destilação A

É caracterizado pela sobreposição das 03 colunas descritas a seguir:

Coluna A – conhecida como coluna de esgotamento do vinho, possui de 15 a 20 bandejas, produzindo uma flegma de 35 a 65° GL e como subproduto a vinhaça. Nesta coluna figura III é admitido o vapor para o aquecimento do tronco de destilação (EBA CONSULTORIA, 2008).

Coluna A1 – composta por 08 bandejas, onde é feita a elevação do teor alcoólico e a epuração do vinho que consiste na evaporação dos produtos mais voláteis. Nesta coluna o vinho é admitido no aparelho (EBA CONSULTORIA, 2008).

Coluna D – composta de 06 bandejas sobrepostas à coluna A1 e separada por uma bandeja cega. A interligação destas colunas é feita por uma tubulação em forma de “U”. Sua função é concentrar o álcool de segunda (EBA CONSULTORIA, 2008).

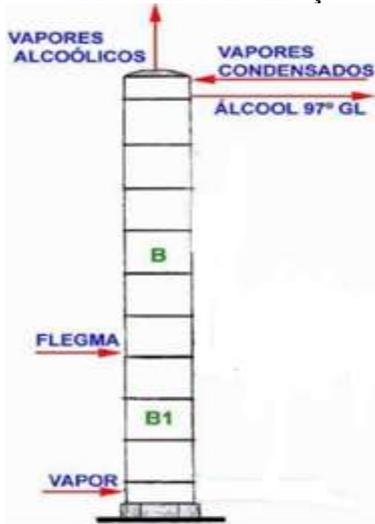


Fonte: EBA Consultoria (2008)

5.2. Tronco de retificação B

O tronco retificador se caracteriza por apresentar uma coluna de esgotamento (B1) e uma coluna de concentração (B). Nesta coluna (Figura 4) o flegma é concentrado de 86-97°GL. A admissão de vapor é feita na base da coluna B1, garantindo a pressão e temperatura necessárias em todo o tronco (EBA CONSULTORIA, 2008).

FIGURA 4: Retificação



Fonte: EBA CONSULTORIA (2008)

5. Considerações Finais

Como o etanol é um combustível renovável, que tem participação relevante em relação aos combustíveis fósseis, assim aumentando a sua procura. Com o crescimento desse combustível no mercado uma maior produção tem que ser levada em conta, para suprir eventuais demandas e substituir os combustíveis fósseis, e uma das alternativas é o etanol de segunda geração. Ele é feito através de biomassa da cana-de-açúcar ou de outras fontes de matérias que tenha celulose.

O etanol de segunda geração é uma alternativa que proporcionará um desenvolvimento econômico, social e ambiental. Pois, no Brasil a produção da cana-de-açúcar é elevada, e aproveitando este privilégio o país está investindo em novas tecnologias, para o que antes era considerado resíduo ou usado como fonte energia para as caldeiras se torne uma nova fonte de energia limpa, reaproveitando o baga-

ço e a palha da cana-de-açúcar, para a produção do etanol 2G. Porém essa tecnologia tem que ser mais elaborada, desenvolvida e pesquisada, pois a mesma tem um custo elevado, mas é viável pelos benefícios quanto à sustentabilidade e quanto à matéria-prima que se tem em grande escala.

Este biocombustível não está sendo produzido em escala comercial, pois ainda está em fase de testes, portanto ainda não há normativas específicas para o mesmo. Sendo assim é usado como parâmetro as normativas do etanol de primeira geração.

Referências

- BRASKEM. I'm green. **A cana de açúcar**, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.braskem.com.br/site.aspx/Cana-de-Acucar#rio06>> Acesso em: 24 ago. 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Resolução do ANP N° 7, de 9.2.2011** – DOU 10.2.2011 – RETIFICADA DOU 14.4.2011. Disponível em:<http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2011/fevereiro/ranp%207%20-%202011>. Acesso em 31 ago. 2013.
- ALVIRA, P.; TOMÁS-PEJÓ, E.; BALLESTEROS, M.; NEGRO, M. J. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: a review. **Biore-source Technology**, v. 101, n. 13, p. 4851-486, 2010.
- ARGYROPOULOS D. S. & MENACHEM S. B. Lignin. **Advances in Biochemical Engineering Biotechnology**, v. 57, p. 127-158, 1997.
- BNDS. Banco Nacional De Desenvolvimento Econômico E Social. Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro, 2008, 316p.
- BASTOS, V. D. **Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias**. BNDES/Setorial, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://homologa.ambiente.sp.gov.br>>. Aces-



- so em 5 set. 2013.
- CONAB. **Companhia Nacional De Abastecimento**. Cana-de-açúcar, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_08_09_39_29_boletim_cana_portugues_-_abril_2013_1o_lev.pdf> Acesso em: 10 ago. 2013.
- DIPARDO, J. **Outlook for biomass ethanol production and demand**. Washington, D. C.: U. S. Department of Energy - Energy Information Administration, 2000. p.12.
- EBA CONSULTORIA. **Treinamento e processos de fabricação do etanol**. Usina Da Mata. 2008.
- FENGEL, D. & WEGENER, G. **Wood and cellulosic chemistry**. New York, p. 189-200, 1991.
- FERREIRA, V. F.; ROCHA, D. R. da.e SILVA, F. de C. da. **Potencialidades e oportunidades na química da sacarose e outros açúcares**. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422009000300007&script=sci_arttext#nt>. Acesso em: 2 set. 2013.
- GERON, L. J. V. et al. Composição química, valor de ph e temperatura do bagaço de cana-de-açúcar in natura e hidrolisado com cal (cao) conservados em mini silos. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, n., p.59-68, 2010.
- GRAF, A.; KOEHLER, T. **Oregon cellulose-ethanol study**: an evaluation of the potential for ethanol production in Oregon using cellulose-based feedstocks. Salem: Oregon Office of Energy, 2000.
- HAMELINCK, C. N. et al. Etanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short, middle and long term. *Biomass and Bioenergy* 28 (2005), 384-410. Disponível em: <http://www.star-in-fo/pdf/bdocs/transport/Bioethanol_Biomass.pdf>.
- HORTA NOGUEIRA, L. A. et al. **Bioetanol de cana-de-açúcar**: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.
- CTBE. Laboratório Nacional De Ciência E Tecnologia Do Bioetanol. Brasil e Europa se unem pelo etanol de segunda geração, 2013. Disponível em: <<http://www.bioetanol.org.br/noticias/detalhe.php>>. Acesso em 17 de ago. 2013.
- LEITE, C. R. et al. **O etanol combustível no Brasil**. Acesso em: 21 ago. 2013.
- LIMA, A. O. S. & RODRIGUES, A. L. Sacarificação de resíduos celulósicos com bactérias recombinantes como estratégia para redução do efeito estufa. **Revista de ciências ambientais**, v. 1, n. 2, p. 5-18, 2007.
- LUDVIG, D. **Produção de álcool combustível a partir de hidrolisados enzimáticos de bagaço de cana-de-açúcar por leveduras industriais e leveduras fermentadoras de xilose**. Florianópolis-SC, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/94591>>. Acesso em: 4 set. 2013.
- McMILLAN, J. D. In **Enzymatic Conversion of Biomass for Fuels Production**. HIMMEL, M. E.; BAKER, J. O.; OVEREND, R. A. eds., ACS Symposium Series 566, American Chemical Society, Washington, DC, p. 411-437, 1994.
- NOVOZYMES. **Fuel ethanol production**: technological and environmental improvements. [S. l.]: Novozymes & BBI International, 2002.
- PACHECO, F. T. **Produção de etanol: primeira ou segunda geração?**. Circular Técnica. Abril 2011. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/886571/1/CITE04.pdf>> Acesso em: 13 ago. 2013.
- RAMOS, N. P.; LUCHIARI, J. **A árvore do conhecimento**. Cana-de-Açúcar: Impactos ecológicos. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONT1.html>>. Acesso em: 30 ago. 2013.
- RAPOSO, P. **Etanol 2G para exportação**. Pernambuco, 2013. Disponível em: <<http://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/etanol-2g-sera-para-exportacao-110913/#>>. Acesso em: 02 set. 2013.
- RASOVSKY, E. M. **Álcool: Destilarias, Instituto**

do Açúcar e do Alcool. Rio de Janeiro: Coleção Canavieira, 2009.

ROSA, S. E. S. da; GARCIA, J. L. F.. O etanol de segunda geração: limites e oportunidades. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, n. 32, p.117-156, 07 ago. 2009. Dezembro. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev3204.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2013.

ROSSELL, C. E. V., **Fermentação do Hidrolisado.** Campinas-SP, 2000. Disponível em: <www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/PPaper_sao_3_Rossell.pdf>. Acesso em: 3 set. 2013.

SANTOS, F. A; QUEIRÓZ, J. H. de; COLODETTE, J. L. et al. **Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol.** São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000500025>. Acesso em: 3 set. 2013.

SILVA, P. R. **Produção de etanol a partir da biomassa florestal.** Embrapa, pesquisa agropecuária, inovação e qualidade de vida, 2012.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D., H.; ZHENG, C. Characteristics of hemicelluloses, cellulose, and lignin pyrolysis. **Fuel**, v. 86, p. 1781-1788, 2007.