

UNIVERSIDADE SAGRADO CORAÇÃO

RONALDO DE SOUZA CARVALHO

**APROVEITAMENTO DA CELULOSE NA FERMENTAÇÃO
PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL POR HIDRÓLISE,
COMPARADO AO PROCESSO CONVENCIONAL**

BAURU
2009

RONALDO DE SOUZA CARVALHO

**APROVEITAMENTO DA CELULOSE NA FERMENTAÇÃO
PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL POR HIDRÓLISE,
COMPARADO AO PROCESSO CONVENCIONAL**

Monografia apresentada ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Química, sob a orientação da Prof^a. Dr^a Márcia Aparecida Zeferino

BAURU
2009

C3311o

Carvalho, Ronaldo de Souza

Aproveitamento da celulose na fermentação
para a produção de etanol por hidrólise, comparado
ao processo convencional

/ Ronaldo de Souza Carvalho -- 2009.
48 f.

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Aparecida
Zeferino.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação
em Química) - Universidade Sagrado Coração -
Bauru - SP.

1. Cana-de-açúcar. 2. Etanol. 3. Celulose. 4.
Hidrólise. I. Zeferino, Márcia. II. Título.

RONALDO DE SOUZA CARVALHO

APROVEITAMENTO DA CELULOSE NA FERMENTAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL POR HIDRÓLISE, COMPARADO AO PROCESSO CONVENCIONAL

Monografia apresentada ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Química, sob a orientação da Prof^a. Dr^a Márcia Aparecida Zeferino

Banca Examinadora:

Prof^a Dr^a Sirlei Roca (Titular)

Prof^a Ms Setsuko Sato (Titular)

Prof Ms. Dorival Roberto Rodrigues (Suplente)

Bauru, 08 de junho de 2009.

Dedico este trabalho,

*à minha família, que mesmo distante
sempre esteve comigo me dando apoio nos
momentos difíceis;*

*a Marina, que sempre esteve ao meu lado
por mais teimoso que eu tenha sido,*

*aos professores, que me incentivaram na
busca pelo conhecimento.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado a força e a coragem que tanto pedi para terminar este trabalho, e mais esta etapa na minha vida.

Agradeço imensamente a minha mãe que sempre esteve de braços abertos pronta para me dar apoio.

Meu querido pai, que sempre se mostrou forte, mas que é na verdade é bem mole e sempre preocupado e disposto a me ajudar e incentivar.

E também minha irmã Denise, que me apoiou e auxiliou bastante.

Agradeço muito a Marina, minha querida “parcerona” e grande amor, que me auxiliou com as metodologias, ouviu minhas reclamações, e que me acompanhou na elaboração desse trabalho.

A Ir Evanira por ter me proporcionado a vinda para Bauru e por ter aberto as portas de um futuro novo.

Aos meus queridos “pais postigos” (Thelma e Marcelo) que gentilmente me “adotaram” durante a caminhada em Bauru, foram eles que me acolheram nessa cidade, onde eu não conhecia nada e ninguém e que ainda me ajudam muito.

Não posso esquecer-me de agradecer minha orientadora, Márcia, que orientou e me ajudou de forma brilhante, cada segundo valeu muito a pena.

Sem deixar de lado também a todos os outros professores Afonso, Dorival, Mario, Setsuko, Sirlei e Vicente que tiveram participação nesse trabalho e na minha vida de forma direta ou indiretamente, tenho certeza que deixo esse curso completamente diferente de como cheguei mais maduro e mais preparado para a vida que escolhi.

“Se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes”.

(Isaac Newton)

RESUMO

A utilização da cana-de-açúcar para obtenção do etanol teve início no tempo do Brasil Colônia onde seus produtos eram destinados apenas para a exportação, pois na Europa possuía um grande valor comercial. No início do século XX foi desenvolvido o primeiro álcool para ser utilizado como combustível, em 1931 foi assinado um decreto para que 5% de etanol fosse misturado a gasolina importada. Em 1970 o governo brasileiro lançou o Programa Nacional do álcool - PNA, após 30 anos passados, o programa enfrentou muitas dificuldades até que em 2003 com o surgimento dos carros chamados de *Flex Fuel* o etanol volta com força total e com previsões para um futuro ainda melhor. A utilização do álcool combustível faz tanto sucesso que atualmente o vários países desejam utilizá-lo acrescentando uma porcentagem deste combustível a sua gasolina, e com isso o planeta também será beneficiado pois a combustão do etanol diminui a emissão de CO₂ na atmosfera. Para que seja possível a adição de etanol a gasolina do resto do planeta, é necessário um aumento considerável da produção de álcool etílico anidro. Organizações não governamentais e governos mostram uma preocupação, com um aumento desenfreado na plantação de cana-de-açúcar fazendo com que outras culturas deixem de ser cultivadas. Pesquisadores de várias partes do mundo procuram alternativas para aumentar a produção de etanol sem comprometer o cultivo de outras culturas que não seja a cana-de-açúcar, uma das possibilidades atualmente avaliada é a obtenção de álcool a partir da hidrólise ácida ou enzimática da celulose presente no bagaço da cana-de-açúcar, que também contém hemicelulose e lignina. Novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para que se retire a hemicelulose e a lignina do bagaço, deixando a celulose mais exposta para que seja possível a quebra da molécula nas respectivas hexoses, açúcar que após passar pelo processo de fermentação seguido de destilação obtém-se o etanol. Com esta possibilidade a produção de etanol pode quase dobrar sem alterar a área cultivada com a cana-de-açúcar.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, etanol, hidrólise, celulose

ABSTRACT

The sugar cane use for attainment of ethanol has been started at Brazil Colony where our products were destined only for exportation, because in the Europe it had a great commercial value. In the beginning of 20th century was developed the first alcohol to be used as combustible, in 1931 a decree was signed in order to 5% of ethanol were mixed the imported gas. In 1970 Brazilian government launched the Alcohol National Program - PNA, 30 years has passed, the program faced many difficulties until 2003 when the sprouting of cars known as *Flex Fuel*, ethanol returned with total force and forecasts for a future still better. The use of the alcohol combustible makes so much success that nowadays some countries desire add a percentage of this fuel into the gas, and with this the planet also will be benefited because the combustion of ethanol diminishes the CO₂ emission in the atmosphere. To make possible additioning ethanol into the gas on the remaining portion of the planet, a considerable increase of alcohol ethylic anidro production is necessary. Non governmental organizations and governments, however, have a concern, that with a wild increase in sugar cane plantation will make other cultures leave being cultivated. Researchers of some parts of the world look alternatives to increase the production of ethanol without compromise the culture of other cultures, one of the possibilities currently evaluated is the alcohol attainment from acid hydrolysis or enzymatic of the cellulose present in sugar cane bagasse, that also contains hemicelulose and lignina. New technologies are being developed in order to remove hemicelulose and lignina of the bagasse, leaving the displayed cellulose more so that it is possible the molecule in addition in respective hexoses, sugar that after to pass for process of distillation fermentation followed gets ethanol. With this possibility the production of ethanol can almost fold without modifying the cultivated area with the sugar cane.

Key Words: sugar cane, ethanol, hydrolysis, cellulose

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Projeção da moagem da cana no Brasil.....	14
Figura 2	Divisão mundial de produção de álcool em 2007.....	15
Figura 3	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> - levedura de cana, é um produto totalmente natural, não transgênico.....	16
Figura 4	Bagaço de cana gerado em uma usina.....	17
Figura 5	Molécula da Glicose.....	18
Figura 6	Forma estrutural da celulose.....	19
Figura 7	Cadeia polimérica da hemicelulose.....	20
Figura 8	Trocador de calor.....	25
Figura 9	Aparelho que mede a concentração do brix.....	25
Figura 10	Reação da sacarose.....	26
Figura 11	Dornas de fermentação.....	27
Figura 12	Processo de centrifugação.....	28
Figura 13	Colunas de destilação.....	29
Figura 14	Fluxograma da produção de açúcar e álcool.....	31
Figura 15	Evolução do consumo mundial de energia primária per capita.....	32
Figura 16	Celulose, glicose e hexose.....	37
Figura 17	Processo físico para obtenção do etanol.....	37
Figura 18	Finalidade do prétratamento.....	39
Figura 19	Hidrólise ácida em material celulósico.....	39
Figura 20	Fluxograma da hidrólise ácida.....	40
Figura 21	Hidrólise enzimática em material celulósico.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Informação nutricional do milho.....	34
Quadro 2	Informação nutricional da beterraba.....	35
Quadro 3	Composição da cana-de-açúcar.....	36
Quadro 4	Informação nutricional da cana-de-açúcar.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	HISTÓRIA.....	11
1.2	PRODUÇÃO DO ETANOL.....	15
1.2.1	Fermentação	15
1.2.2	Biomassa	16
1.2.3	Celulose	17
1.2.4	Hemicelulose	19
1.2.5	Lignina	20
1.3	NOVO MODELO ENERGÉTICO PARA O DESENVOLVIMENTO.....	21
2	OBJETIVOS	23
2.1	OBJETIVO GERAL.....	23
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	23
3	TECNOLOGIAS PARA OBTENÇÃO DO ETANOL	24
3.1	MÉTODO CONVENCIONAL DA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL.....	24
3.2	TRATAMENTO DO CALDO PRA A DESTILARIA.....	24
3.3	PREPARO DO MOSTO.....	25
3.4	PREPARO DO FERMENTO.....	26
3.5	CENTRIFUGAÇÃO DO VINHO.....	27
3.6	DESTILAÇÃO.....	28
3.6.1	Destilação	28
3.6.2	Retificação	29
3.6.3	Desidratação	29
3.7	ARMAZENAMENTO DO ÁLCOOL.....	30
4	PRODUÇÃO DE ÁLCOOL A PARTIR DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR	32
4.1	NECESSIDADE MUNDIAL DE NOVAS ALTERNATIVAS.....	32
	VANTAGENS DA CANA-DE-AÇÚCAR EM RELAÇÃO A OUTROS	
4.2	MEIOS DE CULTURA.....	33
5	HIDRÓLISE	37
5.1	REAÇÃO DE HIDRÓLISE NA CELULOSE.....	37
5.2	PRÉTRATAMENTO.....	38
5.3	HIDRÓLISE ÁCIDA.....	39
5.4	HIDRÓLISE ENZIMÁTICA.....	41
6	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

1.1 HISTÓRIA

O etanol, também conhecido como álcool etílico, é uma substância resultante da fermentação de açúcares e é encontrado em cervejas e vinhos. Nas indústrias pode ser utilizado em perfumarias. E no Brasil ele também é usado como combustível para automóveis.

O etanol é obtido de fonte renovável de origem agrícola. Quimicamente falando, o etanol é o mais comum dos alcoóis composto por $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$. As técnicas de obtenção do álcool vêm desde a antiguidade onde era apenas restrita a fermentação natural ou espontânea de alguns produtos vegetais como os açúcares. A partir da descoberta da destilação, um processo desenvolvido pelos Árabes, ocorre uma expansão na produção do etanol.

Segundo Santana (2009), no período Brasil Colônia vários foram os motivos para a escolha da cana, entre eles a existência do solo de massapê, propício para o cultivo da cana-de-açúcar, além de ser um produto muito bem cotado no comércio europeu - destinado unicamente à exportação e capaz de gerar valiosíssimos lucros, transformando-se no alicerce econômico da colonização portuguesa no Brasil entre os séculos XVI e XVII. Os engenhos eram formados por amplas propriedades de terras ganhas através da cessão de sesmarias - lotes abandonados cedidos pela coroa portuguesa a quem se compromettesse a aproveitá-los para o cultivo da cana de açúcar visando a produção de açúcar e mais tardar a produção de cachaça. Segundo informa Zancaner (2009), após anos de tratamento artesanal da colheita, a produção da cana de açúcar enfim começa a deixar de ser artesanal e no século XX o Brasil descobre no álcool uma opção energética atraente. Em 1927, a Usina Serro Grande de Alagoas lançou no Nordeste o álcool-motor "USGA", que em seguida foi copiado por produtores das principais regiões canavieiras do país na época (São Paulo, Rio de Janeiro, Pernambuco e do próprio estado de Alagoas). Em 1931, o governo brasileiro estabeleceu o decreto n° 19.717, que obrigou a mistura de 5% de álcool na gasolina importada consumida pelo país, já em 1938, o decreto-lei n° 737, estendeu a mistura de 5% de álcool à gasolina produzida no país, com a implantação da primeira refinaria nacional de petróleo, devido a uma grande

recessão mundial causada pelo II Guerra Mundial a porcentagem de álcool na gasolina teve seu ápice chegando a 42%. Com o fim da II Guerra Mundial a economia mundial voltou a se reerguer e os produtos petrolíferos ganharam força causando agora uma recessão do álcool combustível nacional, no início da década de 1970, atingindo um percentual da mistura de 2,9% em todo o país.

Zancaner (2009), ainda mostra que no fim da década de 1970 houve o chamado “choque do petróleo” e para amenizar o desequilíbrio da balança comercial o governo brasileiro lança vários programas como fontes alternativas ao petróleo importado, e um deles é o Programa Nacional do Álcool – Proálcool.

O Programa Brasileiro do Álcool, criado em *novembro de 1975 (Decreto Lei Nº 76.593)*, teve como motivação o aumento violento do preço do petróleo no mercado mundial e a necessidade de diminuir a dependência externa de combustíveis fósseis. O principal objetivo seria o de estimular a produção do álcool, visando o atendimento das necessidades do mercado interno e externo. Como mecanismo foi utilizado o incentivo à expansão da oferta de matéria prima, com especial ênfase a produção agrícola, a modernização e ampliação das refinarias existentes e a instalação de novas unidades produtoras e armazenadoras.

O Proálcool no Brasil passou por varias fases:

- Fase Inicial de 1975 a 1979

Esta fase inicial do Proálcool houve incentivo na produção de álcool anidro para mistura com gasolina; Crescimento da produção alcooleira de 600 milhões para 3,4 bilhões litros/ano; introdução do carro a álcool hidratado e a política de preços relativos álcool hidratado/gasolina (1979). (BERTELLI 2008)

- Fase de Afirmação de 1980 a 1986

Criação do suporte institucional CNAL e CENAL; pico produtivo de 12,3 milhões de litros; 76% automóveis de ciclo Otto (1986) usando álcool hidratado. (BERTELLI 2008).

- Fase de Estagnação de 1986 a 1995

“contrachoque do petróleo” coincide com um período de escassez de recursos públicos, resulta na diminuição de investimentos; crise de abastecimento afeta a credibilidade do PROÁLCOOL e a demanda por carros a álcool. (BERTELLI 2008)

- Fase de Redefinição de 1995 a 2000

Criação do Conselho Interministerial do Açúcar e Álcool-CIMA; constituição da chamada “Frota Verde” (incentivo de uso de álcool em carros oficiais e táxis) aumento de 22% para 24% o teor de álcool anidro na gasolina; incentivos e financiamentos para a fase agrícola e industrial da produção do álcool. (BERTELLI 2008).

- Fase Atual mais de 30 anos depois do PROÁLCOOL

Introdução no mercado em 2003 e a extraordinária aceitação pelos consumidores, dos carros bicombustíveis (Flex Fuel); forte expansão da fronteira agrícola de cana, ocupando áreas de deslocação da pecuária

- 40 novas usinas em fase de implantação
- Investimentos calculados em US\$ 3 bilhões
- Demanda estimada de 10 bilhões de litros de álcool em 2010

(BERTELLI 2008).

- 180 milhões de toneladas de Cana
- 2,5 milhões de hectares
- 350 mil empregos diretos e 900 mil empregos indiretos

Desde o início do Programa Nacional do Álcool lançada pelo governo a produção de moagem aumentou como mostra a figura 1 e o principal responsável por esse aumento é o etanol combustível com projeções para o futuro ainda maiores.

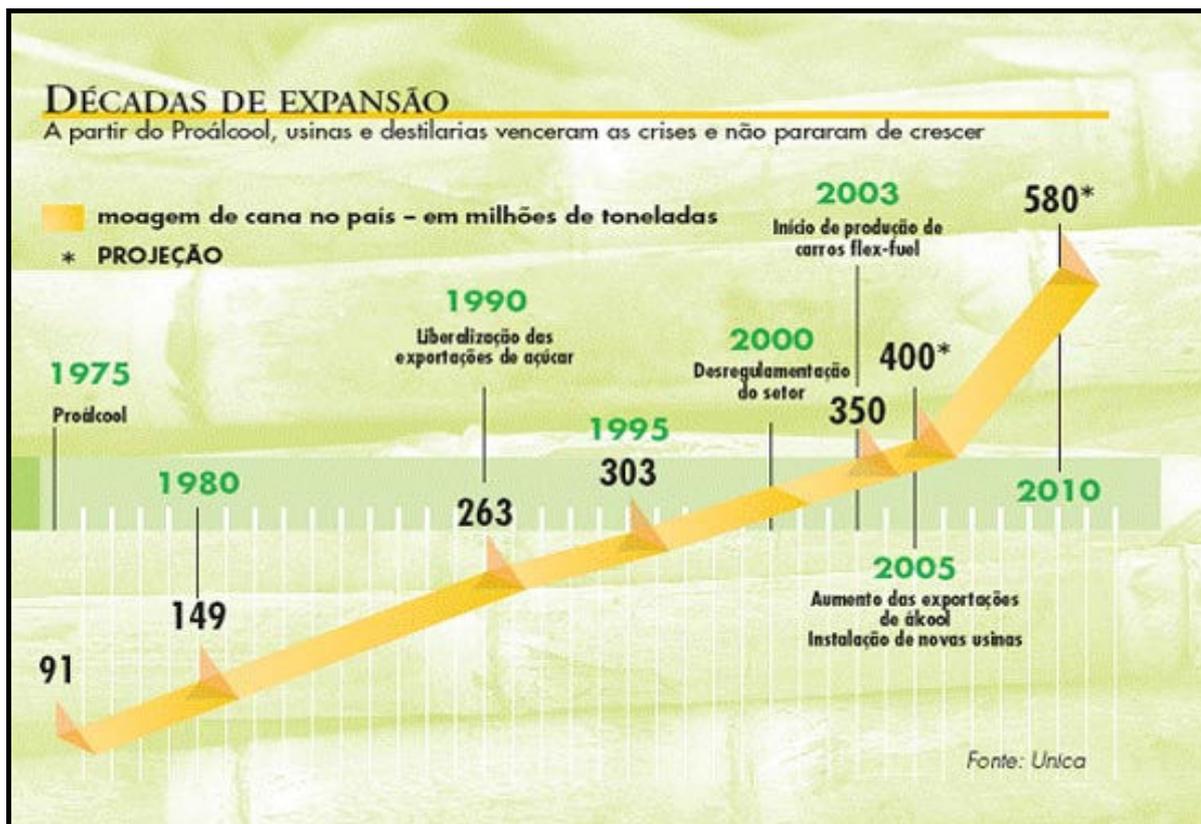


Figura 1- Projeção da moagem de cana no Brasil

Fonte: www.biodieselbr.com

Entre alternâncias de baixa produção e de alta produção o álcool combustível sobrevive; os custos de produção mais baixos e os recursos naturais abundantes tornam o Brasil o segundo maior produtor de álcool do mundo, o maior exportador, o segundo maior consumidor e o maior candidato ao papel de supridor mundial de etanol. A figura 2 mostra que em 2007 houve a seguinte divisão mundial de produção de etanol.

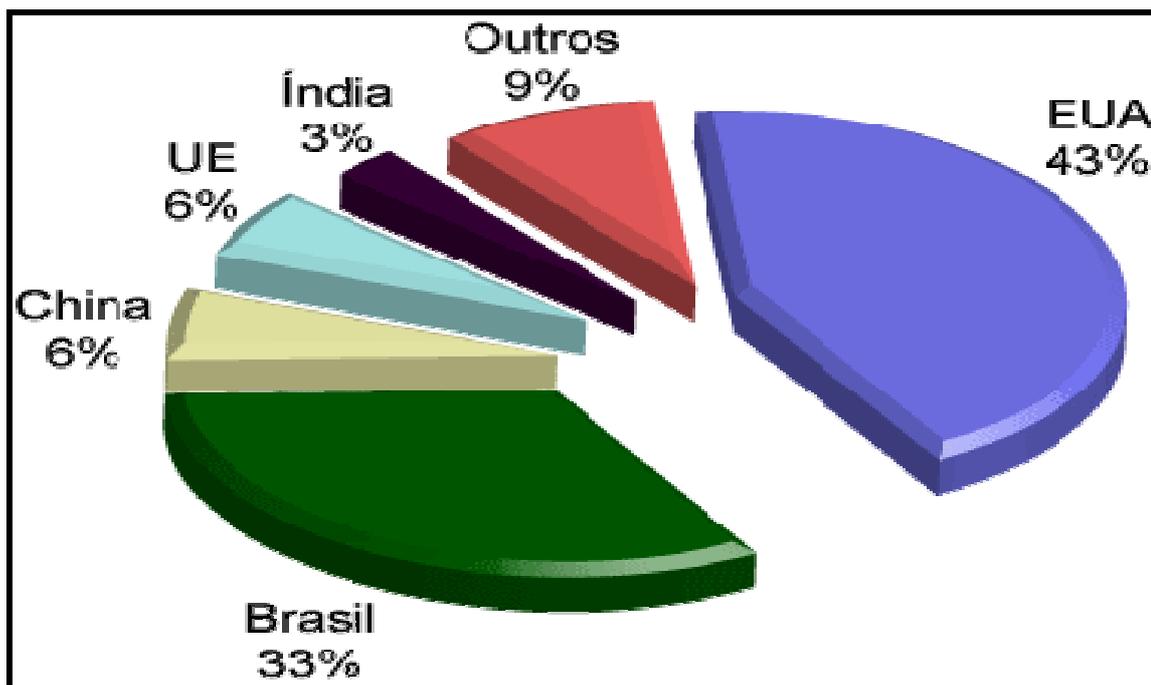


Figura 2 - Divisão mundial de produção de álcool em 2007
Fonte: www.infinitybio.com.br

1.2 PRODUÇÃO DO ETANOL

1.2.1 Fermentação

Grande parte do etanol industrial é produzido por meio de fermentação, embora também possa ser realizada sinteticamente a partir de fontes como o *eteno* derivado do petróleo. Atualmente, o álcool brasileiro é produzido a partir da garapa ou caldo de cana moída.

O caldo é levado para as dornas, onde é adicionado um fermento com microorganismos, mostrados na figura 3, (*Sacharomyces*) que transformam a *sacarose*, um tipo de açúcar presente no caldo de cana, em etanol. Depois este é destilado para purificação em um processo que visa separar a água de outras substâncias.



Figura 3 - Saccharomyces Cerevisiae - Levedura de cana, é um produto totalmente natural, não transgênico.
Fonte: <http://www.colegiosaofrancisco.com.br/alfa/leveduras/leveduras-5.php>

1.2.2 Biomassa

Segundo Orlando (2007), a biomassa é uma matéria de origem animal ou vegetal passível de ser usada como energético, ou convertida através de algum processo, em outras fontes energéticas mais adequadas, para um fim qualquer desejado, tais como o álcool, o biodiesel e o carvão vegetal.

Um dos subprodutos das usinas de açúcar é o bagaço, uma importante biomassa, proveniente da moagem da cana-de-açúcar que pode ser usada como fonte de energia. Como para a produção em grande escala de açúcar e álcool necessita de muita cana, a produção deste bagaço é bastante elevada, assim como a palha da cana que fica no campo. Estes subprodutos são constituídos por celulose, hemicelulose e lignina. Atualmente o bagaço produzido é utilizado para a geração de energia elétrica através da queima deste, tornando assim as usinas que possuem esta utilização, auto-sustentáveis energeticamente. A figura 4 exemplifica a quantidade de bagaço produzida em usina.



Figura 4 - Bagaço de cana gerado em uma usina

Fonte: ethanolbrasil.blogspot.com/2008_08_11_archive

Pesquisadores têm mostrado que este bagaço pode ser útil também como matéria prima na produção de etanol, por meio da hidrólise ácida ou enzimática nos quais as frações celulose e hemicelulose são convertidas a hexoses e pentoses que, após processos de purificação, podem ser fermentadas para a produção do etanol. (ROSSELL, 2006a).

Novas tecnologias estão em desenvolvimento para a produção do etanol onde pesquisadores estão fazendo a quebra de celulose do bagaço. Em geral, um pé-de-cana tem um terço de açúcar, os outros 70% são pura fibra de celulose, essas pesquisas têm como potencial mudar o mapa de produção deste combustível, acrescentando novas matérias-primas para o processo e ampliando o leque de países produtores.

Para que se consiga uma utilização eficiente das hidrólises independentemente se for à de ácido ou enzimático é necessário o rompimento da hemicelulose e da lignina para se chegar à celulose.

1.2.3 Celulose

Klock (2008a) mostra que a celulose é o composto orgânico mais comum na natureza. Ela constitui entre 40 e 50% de quase todas as plantas. A celulose é um polímero composto por um grande número de unidades repetidas. Posteriormente foi

provado que estas unidades derivam-se da condensação da D-glucose, (um açúcar simples – monossacarídeo, hexose de fórmula $C_6H_{12}O_6$).

A celulose está presente também em bactérias e algas, mas em pequenas proporções, e esta localizada principalmente na parede secundária das células vegetais. A figura 5 mostra as formas de representação das moléculas de glucose:

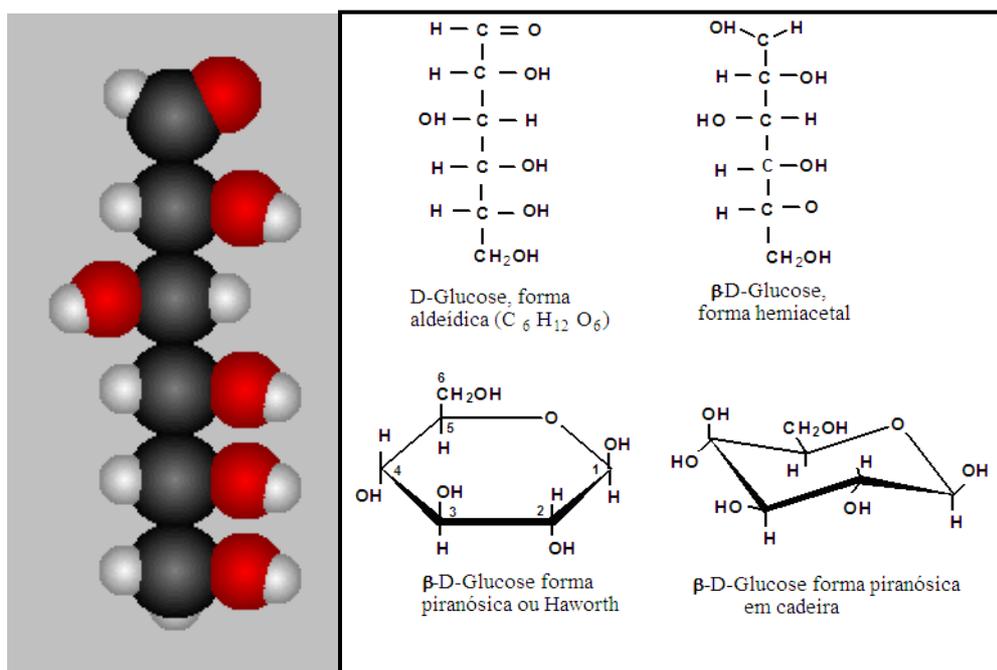


Figura 5 - Molécula da Glicose

Fonte: www.madeira.ufpr.br

Celulose é um polissacarídeo que se apresenta como um polímero de cadeia linear com comprimento suficiente para ser insolúvel em solventes orgânicos, água, ácidos e álcalis diluídos, à temperatura ambiente, consistindo única e exclusivamente de unidades de β - D, que se ligam entre si através dos carbonos 1-4, possuindo uma estrutura organizada e parcialmente cristalina. A figura 6 mostra as fórmulas de representação da celulose.

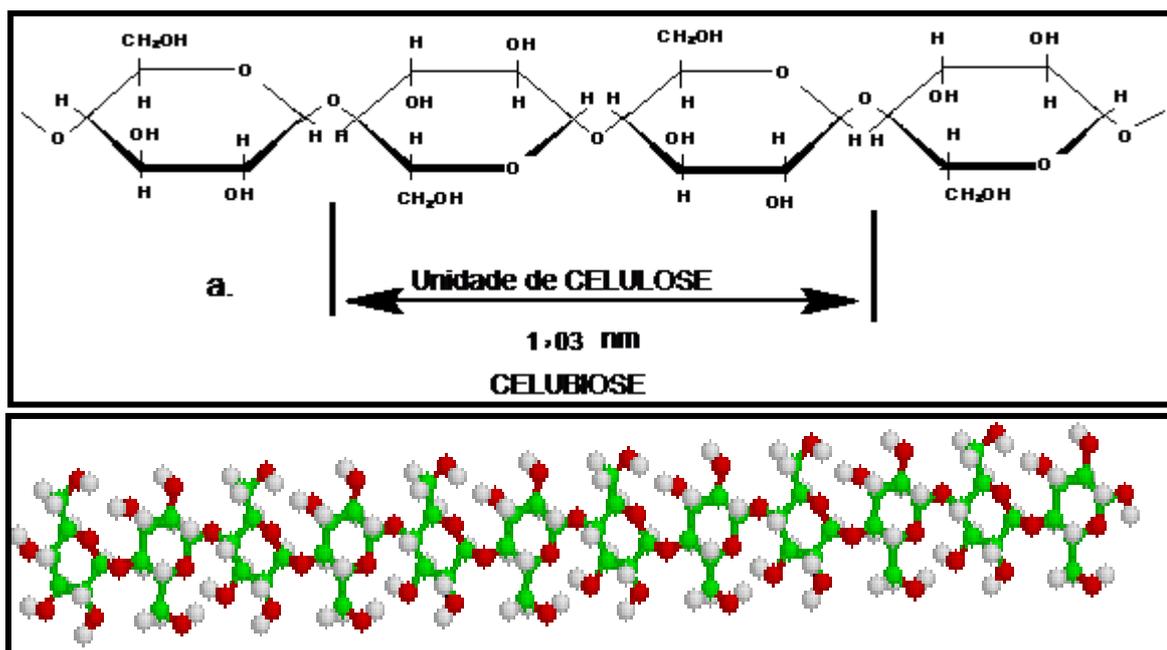


Figura 6. Forma estrutural da celulose

Fonte: www.madeira.ufpr.br

1.2.4 Hemicelulose (Polioses)

O termo hemicelulose refere-se a uma mistura de polímeros polissacarídeos de baixa massa molecular, os quais estão intimamente associados com a celulose nos tecidos das plantas como mostra figura 7.

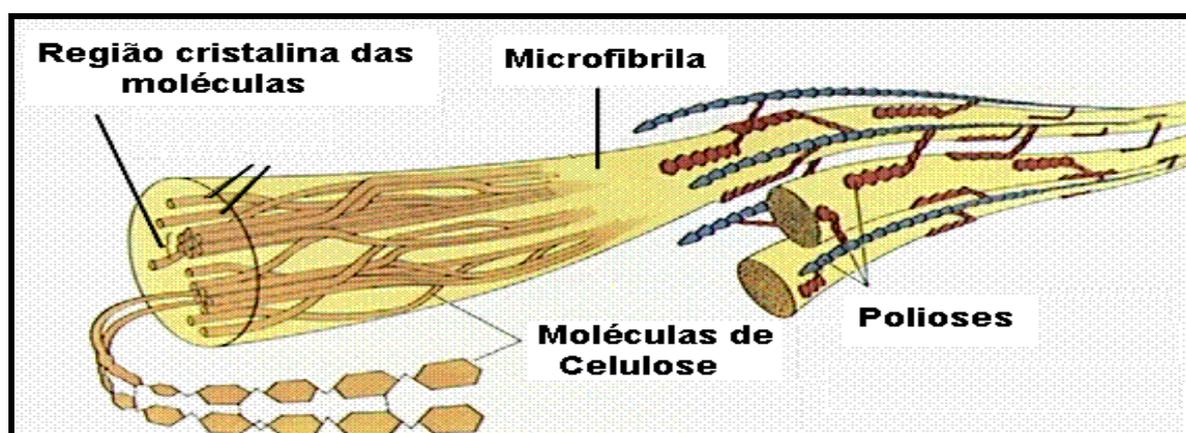


Figura 7- Cadeia polimérica da hemicelulose

Fonte: www.madeira.ufpr.br

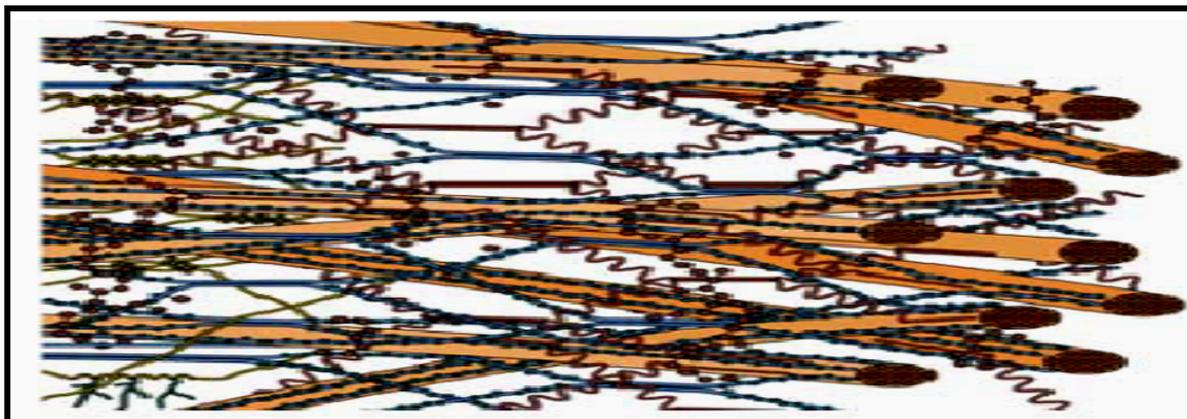


Figura 7- Cadeia polimérica da hemicelulose

Fonte: www.madeira.ufpr.br

Enquanto a celulose, como substância química, contém exclusivamente a D-glucose como unidade fundamental, as hemiceluloses são polímeros, em cuja composição podem aparecer, condensados em proporções variadas, as seguintes unidades de açúcar: xilose, manose, glucose, arabinose, galactose, ácido galactourônico, ácido glucourônico e ácido metilglucourônico. A celulose é formada pela repetição da mesma unidade monomérica, nas hemiceluloses aparecem várias unidades de açúcares diferentes, de cinco ou seis átomos de carbono.

As hemiceluloses são responsáveis por diversas propriedades importantes das pastas celulósicas. Devido à ausência de cristalinidade, sua baixa massa molecular e sua configuração irregular e ramificada, as hemiceluloses tendem a absorver água facilmente.

A presença de hemicelulose é indesejável na fabricação de derivados de celulose, pois as velocidades de reação diferem também a solubilidade dos derivados correspondentes, normalmente com formação de gel, de turvação e dificuldades de filtração dos derivados de celulose. (KLOCK, 2008b).

1.2.5 Lignina

Segundo Klock (2008c) a lignina é o terceiro componente fundamental em importância da planta, ocorrendo entre 15 e 35% de seu peso e são constituintes da parede celular, sua natureza é polimérica e tridimensional, extremamente complexa, formadas pela polimerização desidrogenativa, catalisada por enzimas via radical livre, dos precursores do ácido cinamílico. É constituída de unidades de fenil-

propano unidas por ligações C-O-C e C-C e com diferentes teores de grupos alcóolicos e metoxílicos dependendo da planta.

Em contraste com a celulose, que é formada por todas as plantas, a formação da lignina só ocorre em plantas vasculares que desenvolvem tecidos especializados em funções tais como transporte de soluções aquosas e suporte mecânico.

A lignina é bastante resistente à hidrólise ácida, porém quando aquecida em meio ácido sob condições específicas, pode ocorrer hidrólise, principalmente nas ligações éter.

Uma condição específica para a hidrólise da lignina é a presença de outros agentes químicos. Como exemplo tem-se a fragmentação da lignina na reação de sulfonação em meio ácido. O ácido sozinho pode causar hidrólise da lignina, mas normalmente não é suficiente para dissolvê-la.

1.3 NOVO MODELO ENERGÉTICO PARA O DESENVOLVIMENTO

Na Europa, na África do sul, nos Estados Unidos, no Canadá e no Brasil há um esforço de pesquisa e desenvolvimento com o objetivo de dominar a tecnologia de quebra eficiente da hemicelulose e lignina para a produção do álcool de celulose e torná-la comercial. A disponibilidade de matéria prima coloca o etanol celulósico brasileiro mais próximo da realidade, ou seja, da produção comercial. (ROSSELL, 2006a).

O lado positivo para utilização do bagaço, segundo Fávoro (2004), estima-se a existência de 2 trilhões de toneladas de biomassa no globo terrestre, a participação da biomassa na matriz energética brasileira é de 27% e dentro desses dados está incluído o bagaço de cana de açúcar com 12,6%.

Fávoro (2004) ainda nos fala que só a cana-de-açúcar move 307 centrais energéticas existente no Brasil, 128 das quais estão em São Paulo, utilizando cana que cobre 2,35 milhões de hectares de terra.

Outros países estão caminhando neste mesmo sentido da produção de etanol através de fontes renováveis, mas suas matérias primas são mais caras, tendo que chegar a um processo muito aperfeiçoado para produzir o máximo de etanol para compensar o investimento. Segundo Rossell (2006a) no Brasil é diferente, o bagaço está quase pronto para entrar em hidrólise e em grande quantidade, devido às muitas usinas que aqui existem e muitas outras que estão por surgir, a cana já foi

passada por facas de cortes e por desfibriladores, processos que reduzem os tamanhos das partículas. E na parte de logística, processos como estocagem, transporte e escoamento, são facilitados pois a estrutura já se encontra dentro da usina.

A entrevista concedida Veloso (2007), mostra que, outro fator de vantagem para o Brasil é o baixo custo da matéria prima a começar pelo preço aos produtores de quarenta e dois centavos (R\$ 0,42) o litro do etanol da cana, enquanto que o do milho é de cinquenta e quatro centavos (R\$ 0,54) o litro. O processo de produção é praticamente o mesmo. Ambos são feitos por meio da fermentação. No caso do milho é necessário quebrar as moléculas de amido antes de fermentá-lo até se transformar em açúcar, o que requer mais tecnologia para a produção.

A cana de açúcar não pode ser estocada devido a ação de microorganismos que vão consumir o açúcar perdendo assim a produtividade, já o milho tem a vantagem de poder ser estocado em silos. Apesar de a tonelada de milho render 380 litros de etanol e a da cana, apenas 70 litros, a área explorada pela cana é menor. "Como as áreas são pequenas e a produtividade é alta (planta-se mais vezes no ano), o impacto na agricultura é menor." No Brasil, cada hectare gera de 60 a 120 toneladas de cana, dependendo da fertilidade e do cultivo. Já para o milho, um hectare produz cerca de três toneladas. Nos Estados Unidos, essa quantidade salta para dez toneladas "Para o Brasil, de maneira geral, a cana é uma melhor opção devido a sua maior produtividade de etanol por hectare (cerca de 8 mil litros ante 4 mil litros do milho), e por seu balanço energético muito mais favorável que o milho". (PEDROZO, 2007).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Fazer um levantamento bibliográfico de uma nova tecnologia para obtenção de álcool etílico a partir de biomassa, bagaço de cana-de-açúcar, utilizando o processo de hidrólise da celulose.

Fazer uma comparação com o processo convencional atualmente utilizado em todo Brasil, como também avaliar os impactos causados na produção de etanol com esta nova perspectiva de mercado.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Apresentar a inicialização do consumo de álcool no Brasil;
- Demonstrar a produção convencional da produção de álcool;
- Apresentar a necessidade de novas alternativas de combustível;
- Reutilizar o bagaço através da hidrólise;
- Demonstrar a necessidade de um prétratamento no bagaço;
- Utilizar a hidrólise ácida e hidrólise enzimática para conversão de glicose em hexose

3 TECNOLOGIA PARA OBTENÇÃO DO ÁLCOOL

3.1 MÉTODO CONVENCIONAL DA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL

No Brasil, além do açúcar e do melaço, que é um subproduto da produção do açúcar, o caldo da cana é utilizado também na produção de álcool. Após a colheita a cana é posta em caminhões que vão diretamente à indústria. Para um melhor aproveitamento na produção, a cana não pode passar de 24h da colheita ao início do processo, pois os microorganismos existentes na própria cana irão alterar o açúcar ali presente diminuindo assim o teor de açúcar e afetando os níveis de produção.

3.2 TRATAMENTO DO CALDO PARA A DESTILARIA

Após passar pelo tratamento primário de peneiramento, o caldo é submetido a um tratamento mais completo que implica na adição de cal, aquecimento e posterior decantação, tratamento semelhante àquele utilizado na fabricação de açúcar. Em geral, o resfriamento do caldo é realizado em duas etapas:

- Fazendo-se passar o caldo quente já esterilizado por um trocador de calor em contracorrente com o caldo misto frio, onde o caldo misto é aquecido e o caldo para destilaria é resfriado à 60°C como mostra a figura 8.
- Resfriamento final até aproximadamente 30°C, normalmente realizado em trocadores de placas utilizando água em contracorrente, como fluido de resfriamento. Devidamente esterilizado, o caldo está pronto para ser encaminhado para fermentação. (COPERSUCAR, 2003).

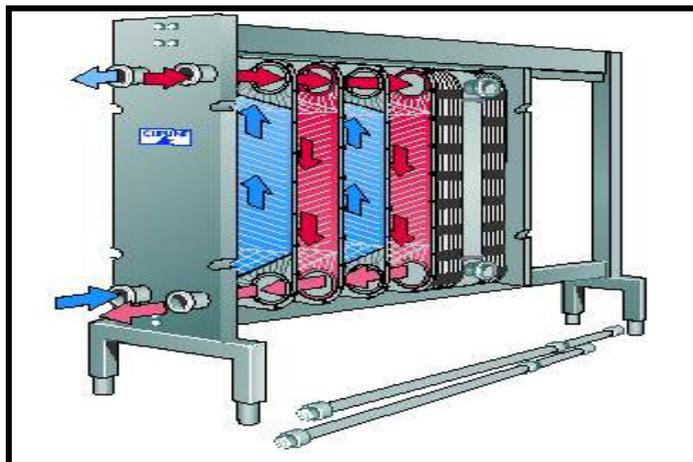


Figura 8. Trocador de calor
Fonte: www.ufrgs.br

3.3 PREPARO DO MOSTO

O mosto é uma solução de açúcar cuja a concentração foi ajustada de forma a facilitar a sua fermentação. É constituída de uma mistura de méis e caldo, com uma concentração de sólidos de aproximadamente 19-22º Brix, a figura 9 mostra um aparelho que mede o Brix (ºBrix equivale a aproximadamente 1 grama de sólidos dissolvido em 100 gramas do suco, quanto mais alto, maior a doçura e a qualidade do caldo). (COPERSUCAR, 2003).



Figura 9. Aparelho que mede a concentração do Brix.
Fonte: <http://www.jaelsa.com>

3.4 PREPARO DO FERMENTO

O fermento utilizado no processo corrente de obtenção de álcool etílico é constituído por microrganismos do gênero *Sacharomyces*, que metabolizam os açúcares, produzindo etanol e gás carbônico. Cada lote de fermento é utilizado várias vezes no ciclo de produção do álcool, e, portanto, uma característica típica do processo industrial é a recuperação da levedura através da centrifugação do caldo já fermentado.

É nesta fase que os açúcares são transformados em álcool. As reações ocorrem em tanques denominados dornas de fermentação. Os açúcares (sacarose) são transformados em álcool, segundo a reação simplificada de Gay Lussac representado na figura 10. (COPERSUCAR, 2003).

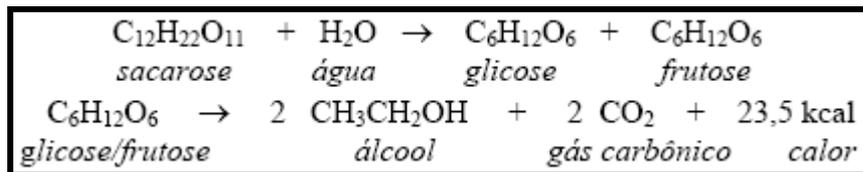


Figura 10 - Reação da sacarose

Fonte: www.b2i.us/.../logos/1173/processo_port.gif

Durante a reação, ocorre intensa liberação de gás carbônico e calor; a elevação da temperatura leva à formação de alguns produtos secundários como: alcoóis superiores, glicerol e aldeídos.

O tempo de fermentação pode variar de 4 a 10 horas. Ao final deste período praticamente todo o açúcar já foi consumido, com a conseqüente redução da liberação de gases.

Ao término da fermentação, o teor médio de álcool nestas dornas é de 7% a 10%. Como ocorre grande liberação de calor durante o processo fermentativo, conforme mostra a reação da figura 10, há a necessidade do resfriamento do vinho para minimizar a formação de compostos indesejáveis, bem como, manter a integridade dos microrganismos presentes. Este processo de resfriamento é feito circulando água em serpentinas internas às dornas, ou em trocadores de calor, por onde o vinho é bombeado continuamente com água em contracorrente.

Atualmente, este processo de fermentação é realizado de forma descontínua ou contínua, em dornas abertas ou fechadas como mostra a figura 11. (COPERSUCAR, 2003).



Figura 11- Dornas de fermentação.
Fonte: www.sermatec.com.br

3.5 CENTRIFUGAÇÃO DO VINHO

Após a fermentação, o vinho é enviado às centrífugas para a recuperação do fermento. O concentrado do fermento recuperado, denominado “leite de levedura”, retorna às cubas para o tratamento. A fase leve da centrifugação, ou vinho “delevedurado”, é enviada para as colunas de destilação. A figura 12 mostra o processo de uma centrífuga. (COPERSUCAR, 2003).

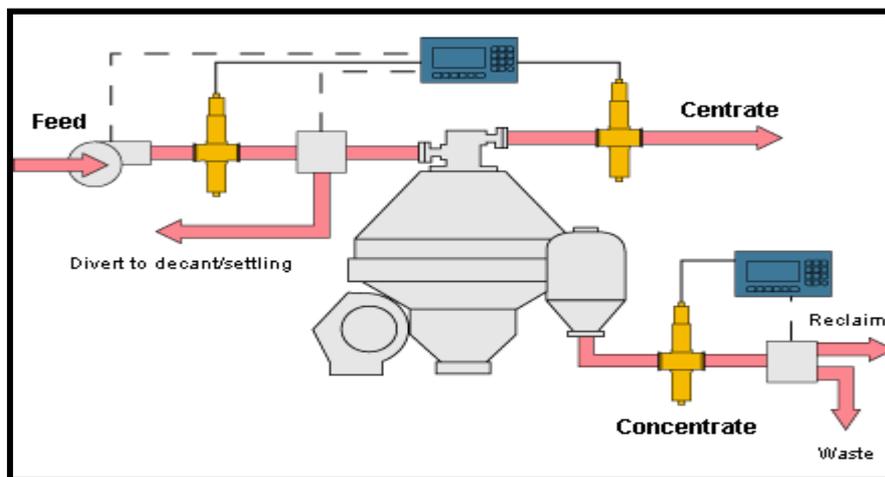


Figura 12 - Processo de centrifugação

Fonte: www.optek.com

3.6 DESTILAÇÃO

O vinho que vem da fermentação é composto basicamente por componentes em fase líquida, dentre os quais se destacam o álcool (7 a 10 °GL) e a água (89 a 93%). Os demais componentes como glicerina, álcoois homólogos superiores, furfural, aldeído acético, ácidos succínico e acético, bagacilho, leveduras e bactérias, açúcares fermentescíveis, sais minerais, matérias albuminóides, CO₂ e SO₂ são encontrados em quantidades bem menores.

Para a separação do álcool, utiliza-se o processo de destilação no qual os diferentes pontos de ebulição dos componentes da mistura são responsáveis pela separação. A operação é realizada em três etapas: destilação propriamente dita, retificação e desidratação. Em todas elas o aquecimento é feito a partir do vapor, de forma direta ou indireta. (COPERSUCAR, 2003).

3.6.1 Destilação

Nessa etapa, o etanol é separado do vinho. O vinho, inicialmente com 7 a 10 °GL, é decomposto em duas correntes: flegma (vapores com 40 a 50 °GL) e vinhaça (que segue para a lavoura como fertilizante com menos de 0,03 °GL). Essa etapa de destilação elimina ainda impurezas como aldeídos e ésteres.

3.6.2 Retificação

A etapa de retificação visa concentrar o flegma proveniente da destilação de forma a obter um grau alcoólico de 96 °GL à saída é retirar impurezas como alcoóis homólogos superiores, aldeídos, ésteres, aminas, ácidos e bases.

3.6.3 Desidratação

O álcool a 96 °GL é chamado álcool hidratado. Para a produção de álcool anidro, a 99,7 °GL, é preciso utilizar ciclo-hexano como desidratante. Essa necessidade surge do fato de que o álcool hidratado constitui uma mistura azeotrópica. Uma mistura azeotrópica é uma mistura em que os componentes não são separados por um processo de destilação simples. A adição do ciclo-hexano forma uma mistura ternária com a água e o álcool cujo ponto de ebulição é menor do que o da mistura binária inicial. Após a separação, o desidratante é recuperado e reaproveitado. Algumas Usinas utilizam um sistema conhecido como peneira molecular para fazer a desidratação. (COPERSUCAR, 2003). A figura 13 mostra as colunas de destilação



Figura 13 - Colunas de destilação.

Fonte: <http://labvirtual.eq.uc.pt>

3.7 ARMAZENAMENTO DO ÁLCOOL

Os alcoóis produzidos, hidratado e anidro, são quantificados através de medidores de vazão ou tanques calibrados e enviados para armazenagem em tanques de grande volume, onde aguardam sua comercialização e posterior remoção por caminhões.

Há outros métodos de produção, mas o capítulo II descreve um método que é o mais utilizado pelas indústrias. (COPERSUCAR, 2003). E a figura 14 mostra um fluxograma de toda a produção do açúcar e do etanol.

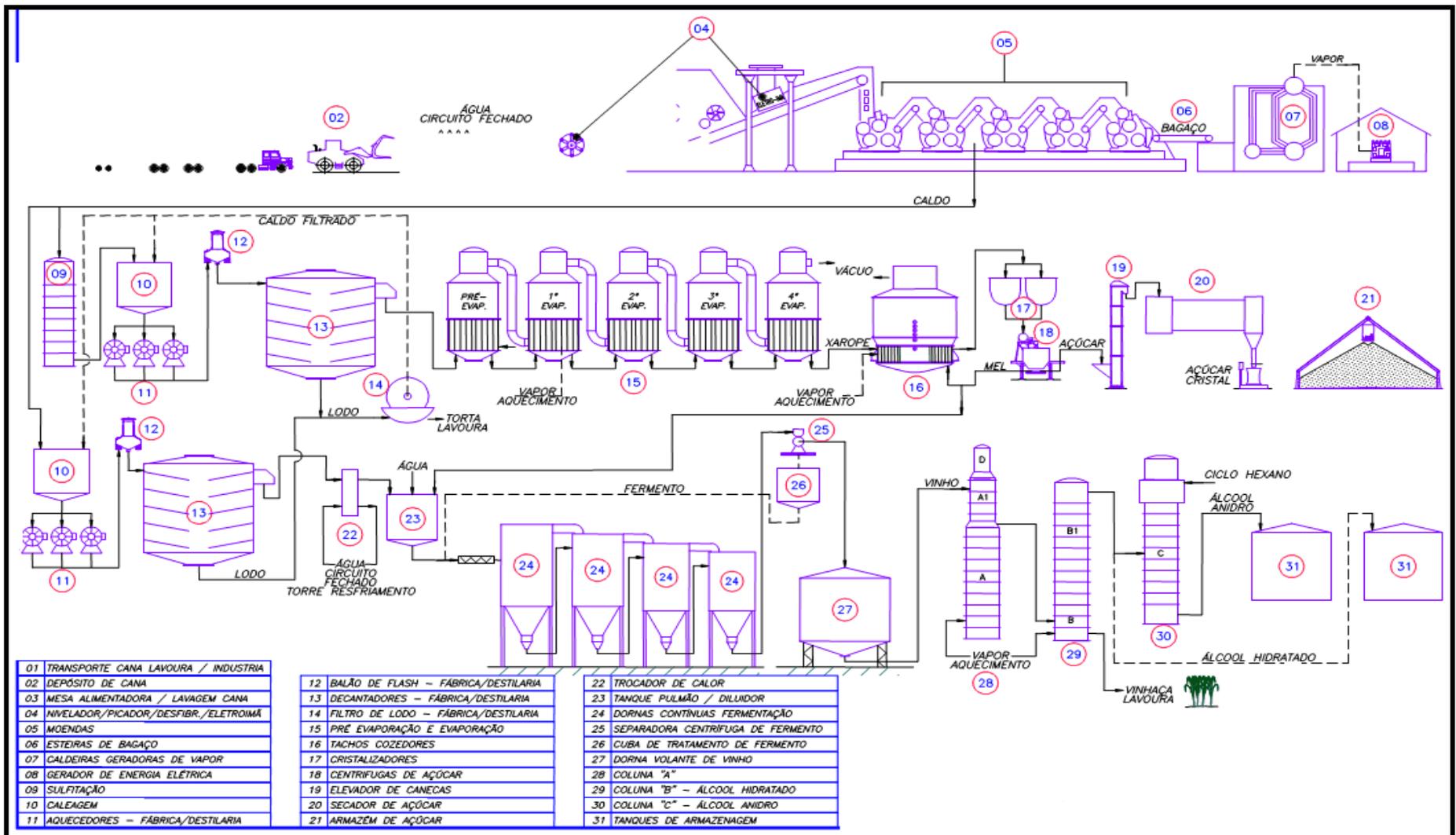


Figura 14 - Fluxograma da produção de açúcar e álcool

Fonte: http://www.b2i.us/Profiles/businessframed/Uploaded/logos/1173/img_produtivo_gd.gif

4 NECESSIDADE MUNDIAL DE NOVAS ALTERNATIVAS

No momento, o mundo utiliza grande quantidade de energia não renovável, de origem animal, como o petróleo. Isto causa grandes preocupações pelo preço instável do barril, pelo esgotamento desta fonte não renovável e seu alto consumo, que cresce junto com a evolução da tecnologia.

Os níveis de poluição gerados pela queima dos combustíveis fósseis são os principais responsáveis pelos gases causadores do efeito estufa. A figura 15 mostra a evolução no consumo de energia per capita nas ultimas décadas.

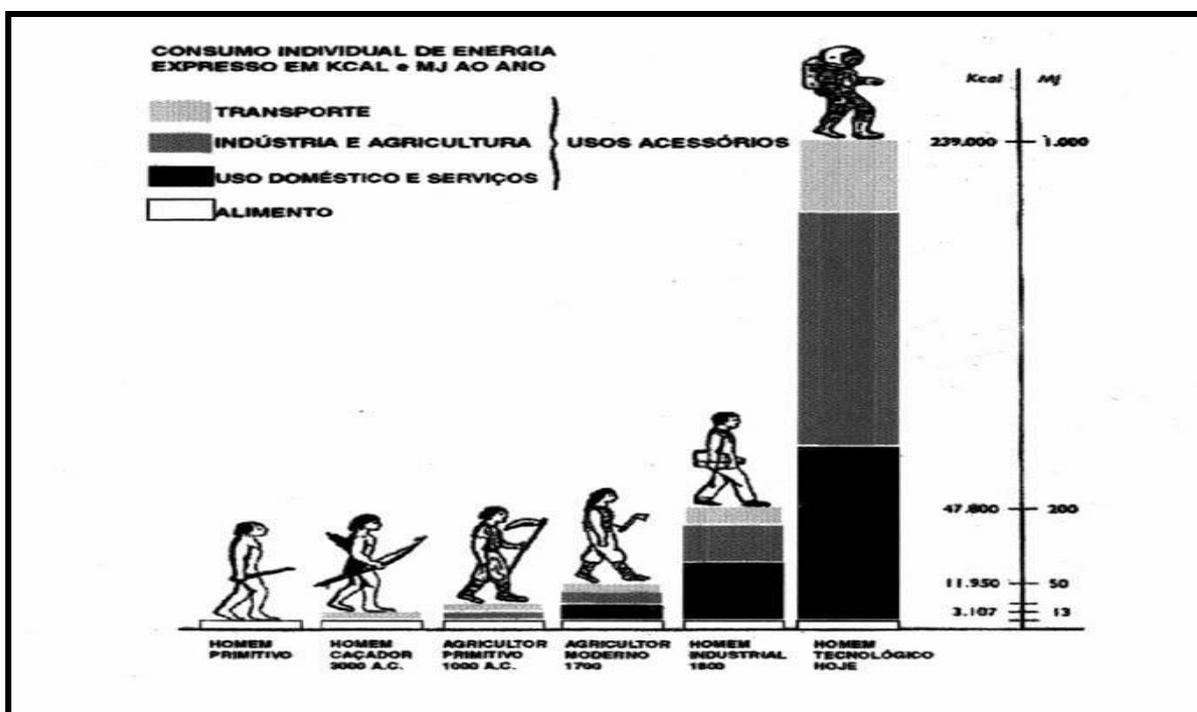


Figura 15 - Evolução do consumo mundial de energia primária per capita

Fonte: <http://outramargem-alf.blogspot.com/2008/10/energia-moeda-forte.html>

Para os países industrializados comprometidos com as metas do Protocolo de Kyoto, o uso de biocombustíveis representa uma das formas mais efetivas de reduzir as emissões líquidas de gases de efeito estufa.

Agora é proposta uma corrida biológica entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento para minimizar ou estancar os efeitos devastadores por eles produzidos, com este objetivo universal cresce cada vez mais a busca por novas fontes de energias alternativas.

O Brasil tem uma grande trajetória com utilização do álcool como combustível, com tecnologia própria e de qualidade a partir da fermentação do açúcar da cana.

Agora essa atenção também se volta para o álcool combustível celulósico como caminhos para a ampliação da produção sem aumentar a área produzida e evitando o desaparecimento de outras atividades agrícolas.

4.1 VANTAGENS DA CANA-DE-AÇÚCAR EM RELAÇÃO A OUTROS MEIOS DE CULTURA

O atual processo de utilização da cana na obtenção de álcool e açúcar negligencia o material celulósico para este fim. Este material é utilizado como fonte de energia térmica para as usinas. A hidrólise ácida e enzimática deste material tem sido estudada como mecanismo complementar para o aumento de produtividade do etanol.

Uma das maiores preocupação das organizações mundiais, é com a extinção de algumas culturas, como o milho e beterraba, que também são fontes de etanol porém ricos em outros nutrientes. No quadro 1 encontramos as informações nutricionais do milho, produto que é bastante utilizado na alimentação dos seres humanos e em alguns países, tal como nos Estados Unidos é também empregado como principal matéria prima para a produção do etanol.

Quadro 1 - Informação nutricional do milho

Milho verde grãos inteiros	
Quantidade	1 xícara
Água (%)	77
Calorias	165
Proteína (g)	5
Gordura (g)	1
Ácido Graxo Saturado (g)	0,2
Ácido Graxo Monoinsaturado (g)	0,3
Ácido Graxo Poliinsaturado (g)	0,5
Colesterol (mg)	0
Carboidrato (g)	41
Cálcio (mg)	11
Fósforo (mg)	134
Ferro (mg)	0,9
Potássio (mg)	391
Sódio (mg)	571
Vitamina A (UI)	510
Vitamina A (Retinol Equivalente)	51
Tiamina (mg)	0,09
Riboflavina (mg)	0,15
Niacina (mg)	2,5
Ácido Ascórbico (mg)	17

Fonte: www.emedix.com.br, 2008

O quadro 2 mostra as informações nutricionais da beterraba, outro produto rico em importantes nutrientes e bastante utilizado para a produção de açúcar pelos europeus que também pode vir se tornar uma fonte de etanol.

Quadro 2 - Informação nutricional da beterraba

Beterraba cozida	
Quantidade	1 xícara
Água (%)	91
Calorias	55
Proteína (g)	2
Gordura (g)	Traços
Ácido Graxo Saturado (g)	Traços
Ácido Graxo Monoinsaturado (g)	Traços
Ácido Graxo Poliinsaturado (g)	Traços
Colesterol (mg)	0
Carboidrato (g)	11
Cálcio (mg)	19
Fósforo (mg)	53
Ferro (mg)	1,1
Potássio (mg)	530
Sódio (mg)	83
Vitamina A (UI)	20
Vitamina A (Retinol Equivalente)	2
Tiamina (mg)	0,05
Riboflavina (mg)	0,02
Niacina (mg)	0,05
Ácido Ascórbico (mg)	9

Fonte: www.emedix.com.br, 2008

No ponto de vista em que o alimento é algo primordial aos seres humanos, o Brasil sai ganhando em relação aos outros países, pois a extração do etanol é feita através da cana-de-açúcar, um produto que é rico em açúcar e água e muito pobre em nutrientes. Pelos valores mostrados no quadro 3 pode-se comprovar que a cana é constituída basicamente por água, açúcares, fibras e sólidos solúveis.

Quadro 3 - Composição da cana-de-açúcar

Composição média da cana-de-açúcar	
Composição	Teor (%)
Água	65 – 75
Açúcares	11 – 18
Fibras	8 – 14
Sólidos solúveis	12 – 23

Fonte: copersucar.com.br, 2006

Os constituintes da cana-de-açúcar estão relacionados no quadro 4, mostrando diversos açúcares, sais e proteínas presentes.

Quadro 4 - Informação nutricional da cana-de-açúcar

Principais constituintes da cana-de-açúcar	
Constituintes	Sólidos solúveis (%)
Açúcares	75 a 93
Sacarose	70 a 91
Glicose	2 a 4
Frutose	2 a 4
Sais	3,0 a 5,0
De ácidos inorgânicos	1,5 a 4,5
De ácidos orgânicos	1,0 a 3,0
Outros	0,5 a 0,6

Fonte: copersucar.com.br, 2006

5 HIDRÓLISE

5.1 REAÇÃO DE HIDRÓLISE NA CELULOSE

Existem vários tipos de hidrólises, que não é ponto de interesse deste levantamento. A hidrólise da celulose é o processo que busca extrair glicose do material celulósico (bagaço) através da hidrólise ácida ou hidrólise enzimática para se chegar as hexoses como mostra a figura 16.

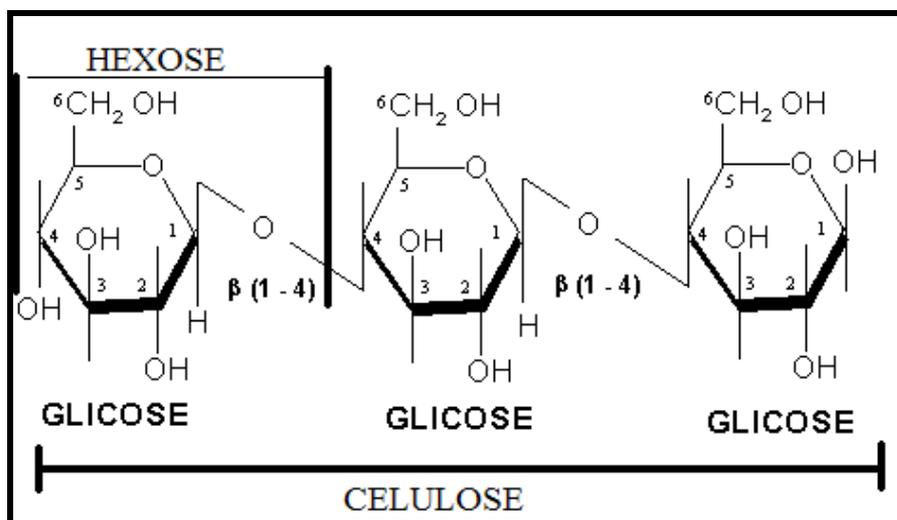


Figura 16 - Celulose, Glicose e Hexose

Fonte: http://www.geocities.com/edu043869/Cursobio_cap1.htm

Depois, da obtenção das hexoses, a mesma é transferida para os processos físicos convencionais de fermentação e destilação, como mostra a figura 17.

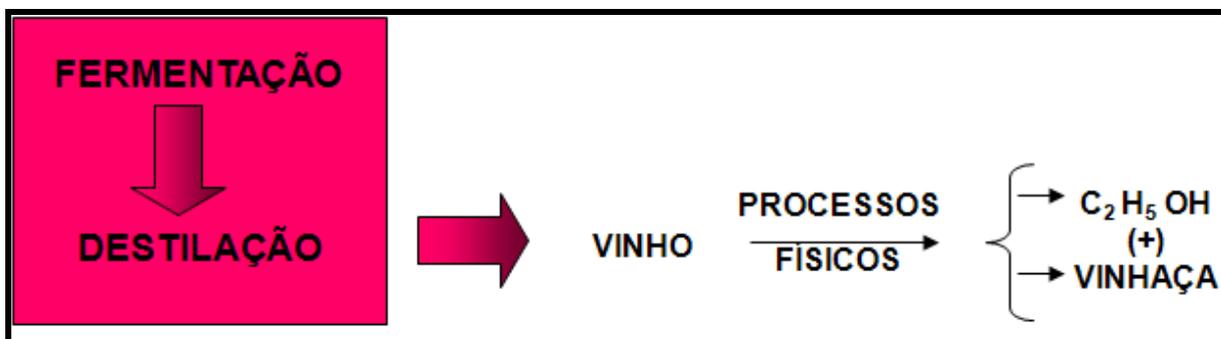


Figura 17- Processo físico para obtenção do etanol

Fonte: Dedini S/A

Rossell (2007b) afirma que após a separação da glicose da hemicelulose e lignina, dá início a um novo desafio, que está em conseguir transformar esse material prétratado em hexoses.

5.2 PRÉTRATAMENTO

O prétratamento da biomassa é uma importante etapa do processo, para possibilitar a exposição das fibras, tornando-as mais acessíveis aos agentes hidrolizantes. Uma das etapas é a lavagem do bagaço, que visa a remoção das impurezas, que é uma efetiva impregnação, e o ajuste da quantidade de água. Também é fundamental para que a hidrolise tenha:

- um tempo de reação menor;
- eficiência e bom rendimento;
- que mantenha constante a quantidade de enzimas no complexo enzimático;
- que controle a concentração dos ácidos utilizados.

Dentre os processos de prétratamento do bagaço existe o de explosão a vapor e segundo Bon (2007), relata que este processo conta com certas vantagens como, baixo custo de capital, facilidade na operação, baixo risco operacional e reduzida geração de efluentes. Há uma outra alternativa para diminuição do processo que seria a integração do prétratamento com vapor em presença com catalisador no caso seria a água quente e ácido diluído, no momento essa combinação no prétratamento seria uma alternativa tecnológica promissora, as maiores dificuldades que se tem para com um processo desse nível no atual estágio é o monitoramento das reações de transformação, separação e recuperação de hemiceluloses, lignina e celulose.

O prétratamento mais adequado e que se encaixa melhor na realidade brasileira em termos de estrutura física e financeira, é o de explosão a vapor, pois evita o aumento de fases na produção. Com o prétratamento já realizado, no caso da adição de ácidos, evita-se reações paralelas com as substâncias que são encontradas na hemicelulose e na lignina.

A adição de enzimas permite que parte da hemicelulose se liquefaz e os chamados carbonos C5 que a formam seriam liberados em um licor, porém o uso de enzima seria excessivo para romper a lignina e iria ocorrer um descontrole nas velocidades de transformações das reações da hemicelulose e da celulose. A figura 18 ilustra como ficaria a celulose, hemicelulose e lignina antes e depois da explosão a vapor. Todos estes fatores encarecem e dificultam este processo.

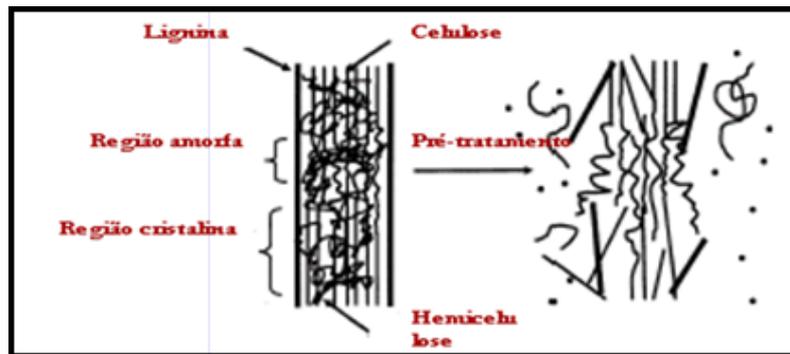


Figura 18 - Finalidade do pré-tratamento
Fonte: www.madeira.ufpr.br

5.3 HIDROLISE ÁCIDA

É realizada com diversas classes de compostos orgânicos: ésteres, açúcares, amidas, na presença de ácidos inorgânicos. A figura 19 mostra a reação de hidrólise ácida em um material celulósico.

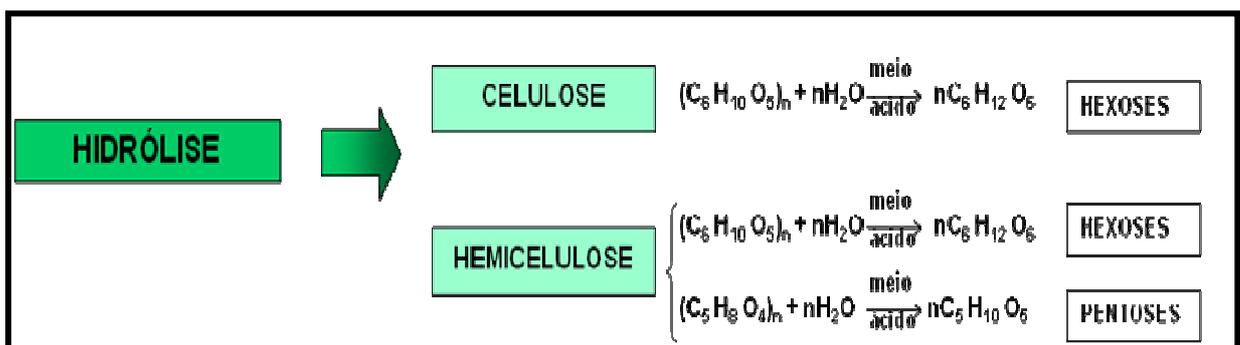


Figura 19 - Hidrólise ácida em material celulósico
Fonte: Dedini S/A

Os ácidos fortes inorgânicos clorídrico e sulfúrico são os mais utilizados, porém já existem alguns ácidos orgânicos sendo pesquisados, como os ácidos

fórmico e tricloroacético, que apresentam um menor rendimento mas produzem reações mais limpas e os ácidos oxálico e benzeno-sulfônico são mais ativos que o ácido sulfúrico. (BARCZA,2005).

Com a exposição da celulose feito através do prétratamento na próxima fase adicionando o ácido este licor terá que ser imediatamente resfriado, impedindo as reações secundárias de decomposição dos carboidratos e, em seqüência, submetido a ácidos para que ocorra a quebra da glicose em hexoses dando origem a um novo licor final, contendo os açúcares redutores. Este licor é recuperado, clarificado e conduzido à destilaria, para ser fermentado com os mostos açucarados.

Ponto desfavorável para a utilização da hidrólise ácida é que ela ainda não é comercialmente viável, hoje o processo implica em custos muito altos, no caso da hidrólise ácida; o catalisador é um ácido que precisa ser muito bem controlado para não levar a reações paralelas indesejáveis ou incontroláveis e construções de equipamentos que tenham uma vida útil longa, pois esses equipamentos estarão trabalhando com ácidos.

No esquema mostrado, na figura 20 tem-se a única planta industrial atualmente comercializada no Brasil, do grupo DEDINI de Piracicaba, com tecnologia 100% nacional. Este processo é conhecido como, Processo DHR – Dedini Hidrolise Rápida.

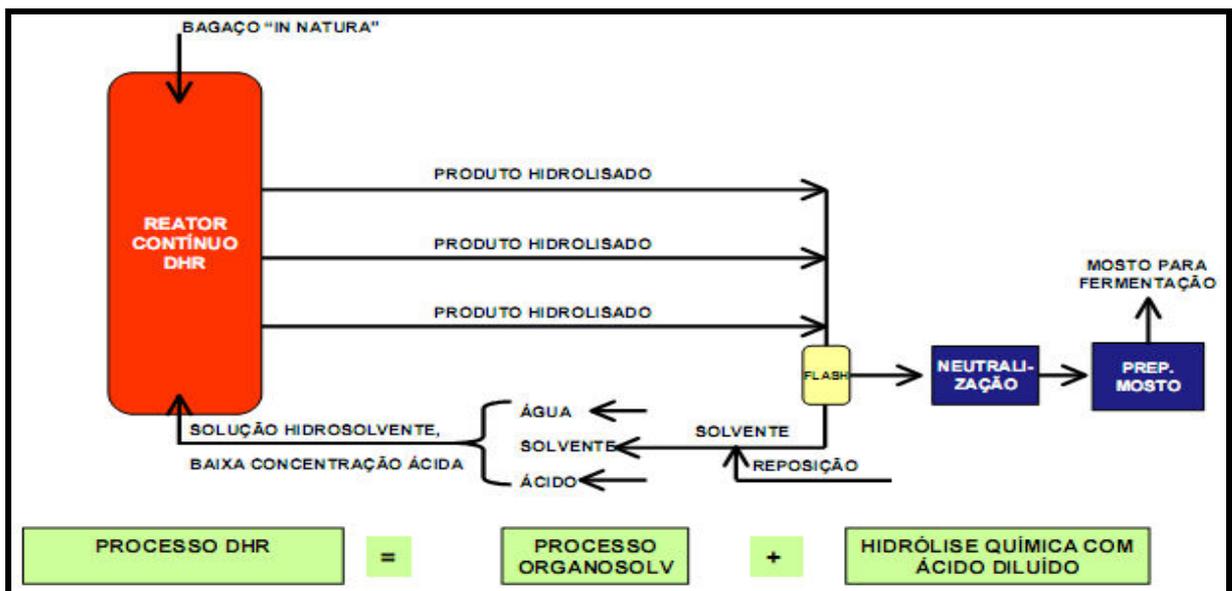


Figura 20. Fluxograma da hidrólise ácida

Fonte: Dedini S/A

5.4 HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

Processos de hidrólise são realizados em fase líquida ou vapor. A maioria dos processos industriais utiliza a fase líquida. Exemplo típico da utilização de enzima está na indústria cervejeira. A fermentação do malte é uma hidrólise por ação da amilase. BARCZA (2005). A figura 21 mostra a reação da hidrólise enzimática em um material celulósico.

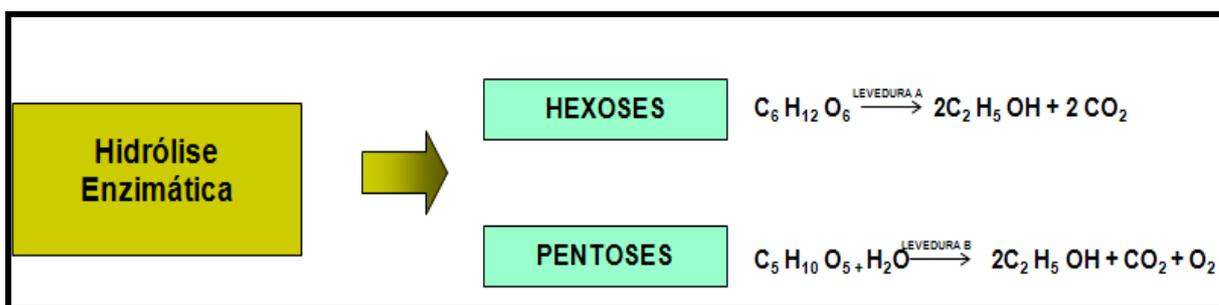


Figura 21 - Hidrólise enzimática em material celulósico

Fonte: Dedini S/A

Pelo método de adição de enzimas, a fermentação da glicose é um processo completamente estabelecido. Não existe microorganismo mais apropriado que a levedura *Sacharomyces cerevisiae*, empregada intensivamente na fermentação industrial. Está já passou por um processo de seleção natural, apresentando os melhores desempenhos em conversão de glicose a etanol, produtividade e tolerância alcoólica. Este processo só ocorre desde que os impactos negativos dos inibidores sejam controlados assim a fermentação acontece sem maiores problemas. (ROSSELL, 2007b)

Para a hidrólise enzimática se tornar mais atraente se faz necessário reduzir o número de passos no processo de conversão, diminuindo os custos finais do processo, o que permitiria que o etanol de celulose se torne comercialmente competitivo. Para que isto seja viável é necessário diminuir o número de etapas no processo com novas enzimas, capazes de transformar as pentoses existentes na hemicelulose em etanol. Existem poucos microorganismos com essa capacidade como: *Pichia stipitis*, *Candida shehatae* e *Pachysolen tannophilus*, o desempenho das mesmas é muito limitado. O metabolismo das pentoses exige a presença de um nível mínimo de oxigênio, que deve ser rigorosamente controlado.

Uma das possibilidades para realizar a fermentação alcoólica do licor contendo pentoses e hexoses é a fermentação simultânea. Na fermentação simultânea dois microorganismos que fermentem respectivamente a glicose e a xilose se faz necessário. Hoje é inviável a utilização dessas enzimas simultaneamente, considerando que para esta reação ocorrer a temperatura ótima de hidrólise enzimática está próxima dos 50 °C e que as leveduras produtoras de etanol convencionais operam em torno dos 28-34 °C. (ROSSEL, 2007b).

Outro ponto desfavorável na hidrólise enzimática é que o catalisador enzimático é um biocatalisador, ou seja, uma molécula biológica que tem a particularidade de promover certas reações num meio específico, ele faz o trabalho certo, com o máximo de eficiência, mas o ataque é mais lento. Ele é mais propenso a bloqueios e às inibições, por isso o desenvolvimento da tecnologia é mais complexo.

6 CONCLUSÃO

Segundo Leite (2007), estima-se que em 2025 a demanda mundial de gasolina para veículos leves será de 1,7 trilhão de litros por ano, um crescimento de 48% em relação aos 1,15 trilhão de litros em 2005. Para substituir 10% desta demanda, o Brasil terá de produzir 205 bilhões de litros/ano de etanol, viabilizando tecnologias que elevem a produtividade e expandindo a área de cultivo da cana-de-açúcar para 85 milhões de hectares.

Ainda Leite (2007) fala que no Estado de São Paulo, nosso melhor parâmetro, possui uma área plantada de 3 milhões de hectares, fazendo com que o etanol responda por uma parcela de aproximadamente US\$ 10 bilhões do PIB brasileiro; no cenário futuro, este acréscimo no PIB saltaria para algo entre US\$ 250 bilhões e US\$ 300 bilhões.

Para que se alcance esses números expressivos é necessário que se aumente a produção, há outras tecnologias para atingir esse objetivo sem aumentar o tamanho da área plantada é através das hidrólises utilizando o bagaço da cana.

Enquanto o mundo procura obsessivamente por combustíveis renováveis, o Brasil goza de uma peculiaridade muito favorável, de acordo com o pesquisador Rossell (2007b). “A agroindústria canavieira explora os açúcares, mas junto com eles vem toda essa biomassa de vegetais para a usina. Outra parte fica no campo, onde é mal aproveitada ou queimada para facilitar o corte da cana. Como a queima está para ser extinta, por força de legislações estaduais e federais, significa que sobrarão mais um grande volume de biomassa, material lignocelulósico” presente na palha da cana-de-açúcar.

Pontos favoráveis para utilização das hidrólises é que as usinas possuem um sistema eficiente de produção da biomassa, o que nós temos de sobra podendo assim multiplicar a capacidade de produzir etanol a baixo custo. A matéria-prima é o que mais pesa na geração de *commodities* e representa um diferencial muito significativo para o Brasil. Rossell (2007b) ressalta que outro aspecto favorável, é a existência de um sistema que já funciona bem na produção, distribuição e utilização do etanol e a alta sustentabilidade de energia hoje gerada pela queima do bagaço.

A possibilidade de aumentar a produção sem aumentar o tamanho da área plantada é vista com bons olhos pela indústria. Segundo Szwarc (2008), “Nossa produção é de sete mil litros por hectare. Acreditamos que poderemos chegar a 13

mil litros por hectare. Isso aumenta a produtividade com efeitos interessantes para o País.”

O bagaço da cana é utilizado para gerar energia elétrica, o que, em alguns casos, chega a ser o segundo negócio da empresa. Mas, o interesse não é em geral uma possível concorrência e sim uma outra alternativa para o usineiro. Quando esse etanol existir em escala comercial, o mercado determinará a produção em outras palavras, o produtor produzirá aquilo que for mais rentável. Quando toda a tecnologia da hidrólise através do bagaço estiver desenvolvida, poderemos aproveitar a palha da cana. Um material pouco usado pelas usinas.

Segundo Szwarc (2008), nos Estados Unidos, país que desembolsou em 2007 US\$ 1 bilhão em pesquisas para a produção do etanol de celulose, a estimativa é de que até 2011 o produto seja uma realidade. Naquele país, as pesquisas caminham em diversas frentes, usando resíduos de diferentes produtos.

No Brasil, essa previsão ainda é vaga, porém uma coisa é certa: tudo dependerá dos investimentos estaduais e federais para o financiamento de novas pesquisas e também do interesse de empresários. Temos totais condições de vencer essa corrida, mas apenas se tivermos apoio.

REFERÊNCIAS

- BARCZA, M. V. **Processos unitários orgânicos**. 2005. Disponível em: <www.dequi.eel.usp.br/~barcza/Introducao.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2008.
- BERTELLI, L. G. **Evolução do Programa Nacional de Álcool**. 2008. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool.htm>>. Acesso em: 25 abr. 2009.
- BON, E. **Melhores organismos para hidrólise enzimática do bagaço da cana-de-açúcar**. 2007. Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/report/noticias/index.php?cod=111>>. Acesso em: 17 jan. 2008.
- Álcool**. 2006. Disponível em: <<http://www.copersucar.com.br/institucional/por/academia/alcool.asp>>. Acesso em: 20 jan. 2007.
- FÁVARO, T. **Biomassa já é 27% da matriz energética**. 2004. Disponível em: <<http://www.incamp.unicamp.br/noticias/biomassa.htm>>. Acesso em: 17 set. 2007.
- KLOCK, U. **Química da madeira: celulose**. 2008a. Slides. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/>>. Acesso em: 12 jan. 2009
- _____. **Química da madeira: hemicelulose**. 2008b. Slides. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/>>. Acesso em: 12 jan. 2009
- _____. **Química da Madeira: Lignina**. 2008c. Slides. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/>>. Acesso em: 12 jan. 2009
- LEITE, R. C. **O futuro energético do país esta no bagaço**. 2007. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/jornalPDF/ju350pag03.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2009.
- ORLANDO, C. S. **Biomassa como Fonte de Energia**. In: IV SEMANA DA QUÍMICA. Centro Nacional de Referência em Biomassa. Universidade de São Paulo, Bauru-SP, nov. 2007. Slides.
- ROSSELL, C. E. V. **Quais as vantagens do Brasil e como mantê-las**. 2006a. Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/>>. Acesso em: 25 jul. 2007.
- _____. **Fermentação do Hidrolisado**. 2007b. Disponível em: <http://www.inovacao.unicamp.br/etanol/report/news-IIIworkshop_hidrolise.php>. Acesso em: 12 jun. 2008.
- SANTANA, M. I. **Ciclo da cana-de-açúcar**. 2009. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/historia/ciclo-da-cana-de-acucar/>>. Acesso em: 23 jan. 2009.
- SZWARC, A. Produzido a partir do bagaço da cana, "novo" combustível pode revolucionar a produção de álcool no Brasil. **Istoé**, n. 45, jul. 2008.

VELOSO, J. F. **Diferenças entre álcool de milho e de cana**. Entrevistadora: Soraia Abreu Pedrozo. 2007. Disponível em: <<http://invertia.terra.com.br/carbono/interna/0,,OI1690777-EI8940,00.html>>. Acesso em: 5 nov. 2008.

ZANCANER, L. G. **Próalcohol**: Programa Brasileiro de Álcool. 2008. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/proalcohol/pro-alcohol.htm>>. Acesso em: 20 abr. 2009.