



ESTUDOS COMPARATIVOS NO PROCESSO INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE BIOETANOL A PARTIR DO MELAÇO E CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Scarlett O'hara de Oliveira Moraes¹, Wellington da Silva Rodrigues², Kelson Carvalho
Lopes³, Fábio de Melo Resende⁴

¹Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira
scarlett_moraes@hotmail.com

²Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira,
wellingtonsev@gmail.com

³Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira,
kelsoncarvalholopes@yahoo.com.br

⁴Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira,
fabiomresende@ig.com.br

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o processo fermentativo na produção de bioetanol de uma usina de álcool e açúcar. Os parâmetros observados foram: o brix, o art e a pureza, e como eles podem influenciar na produtividade do teor alcoólico no processo fermentativo. Os dados foram coletados dos boletins de análises extração e fermentação e para sua análise foi adotado o mês de setembro de 2014, (neste mês a oferta de matéria foi mais disponível e o processo industrial sofreu poucas flutuações). A Usina estudada fica na macrorregião paraibana produtora de álcool de 1º geração, e o melaço foi proveniente da unidade produtora de açúcar, ambas do mesmo grupo. Podemos concluir que para três dos quatro parâmetros avaliados, houve médias significativamente maiores para o melaço, sendo seus resultados 15,75, 11,84 e 7,72, enquanto que o caldo obteve as médias de 12,16, 10,6 e 6,57 para brix, art e teor alcoólico respectivamente. Porém a pureza mais elevada é a do caldo de cana, sua média de 85,2, enquanto que a pureza do melaço ficou com média de 53,43. Isto ocorre porque o melaço é o mel final esgotado da produção de açúcar, são açúcares que não foram cristalizados, assim o °brix e art serão maiores. Mas os compostos do brix não são apenas sacarose, glicose e frutose, então sua pureza será menor. O teor alcoólico elevado do melaço é explicado pela quantidade de art, pois a produção por via fermentativa é feita pela conversão de açúcares em álcool e CO₂.

Palavras-chave: Etanol, melaço, art, pureza, brix.

1. INTRODUÇÃO

A produção de álcool de primeira geração (bioetanol) a partir da cana-de-açúcar dar-se-á através de processos de fermentação microbológica, onde os açúcares são convertidos em álcool e CO₂.

“Álcool: [...] Líquido incolor, volátil, com cheiro e sabor característicos, obtido por fermentação de substâncias

açucaradas ou amiláceas ou mediante processos sintéticos” [FERNANDES, 2003, p. 36]

O presente artigo busca avaliar dados do processo fermentativo de usina de álcool de primeira geração que utiliza caldo e melaço vindo para produção de bioetanol.

1.1. Etapas de produção do Bioetanol.



A cana-de-açúcar colhida no campo é transportada para a usina através de caminhões, na recepção a cana é pesada para que haja um controle do peso em toneladas, logo após é retirada uma amostra para as análises de POL, PUREZA, PCC, FIBRA e AR.

Após a etapa de recepção a cana deverá ser conduzida para a mesa alimentadora, onde é lavada para retirada de compostos inorgânicos, principalmente areia, como mostrado na figura 01, então a cana é levada em uma esteira transportadora e vai para os picadores, depois passa por um desfibrador, e através de uma esteira de borracha chega às moendas.



Figura 01 – Lavagem de Cana

Nos ternos de moendas a cana é esmagada para que haja a separação do caldo com o bagaço, logo após é embebida com água para que haja uma melhor extração dos açúcares redutores totais, este processo de embebição se repete três vezes. A figura 02 mostra um terno de moenda. O caldo final é denominado de caldo misto, este é enviado para as dornas de fermentação, onde é adicionado o fermento (leite tratado) pelo processo Mellé-Boinot (levedura *Saccharomyces cerevisiae*),

passando a ser chamado de mosto fermentado.



Figura 02 – Terno de Moenda

1.1.1. Melaço

No processo de fabricação de açúcar, logo após as moendas o caldo passará por alguns processos de clarificação do caldo.

“Para se obter um açúcar de qualidade é necessário clarificar com produtos alcalinos, oxidantes e de agentes flocculantes, para minimizar os efeitos destas substâncias no produto final” [ALBUQUERQUE, 2009, p. 25].

Depois da clarificação o caldo é encaminhado para filtração e em seguida para a evaporação, que tem como principal objetivo retirar a água do caldo para geração de vapor. Seguindo para cristalização, é nesta etapa que o açúcar é realmente produzido. Ao final desta etapa temos o açúcar que ainda seguirá para secagem, e o melaço, que é o mel final que contém os açúcares redutores totais que não foram cristalizados é enviado para dornas de fermentação.

“A quantidade de melaço produzida está normalmente na faixa de 3 a 4,5 ton /100 ton de cana, sendo fortemente dependente da quantidade de não sacarose contida no caldo bruto entrando na fábrica” [REIN, 2013, p. 584].

1.1.2. Fermentação



O processo de fermentação alcoólica ocorre nas dornas de fermentação. Nelas o caldo misto é misturado ao leite tratado (inóculo de *Saccharomyces cerevisiae*) no percentual de 20 á 30% que são responsáveis pela produção das enzimas capazes de hidrolisar, ou seja, promover a inversão dos açúcares não redutores (sacarose) em açúcares redutores (glicose e frutose) onde são convertidos em etanol e CO₂, as principais enzimas que dominam o processo são a invertase e zimase. Na figura 03 observa-se as dornas de fermentação da Usina em estudo.

Existem duas formas de condução de processos de fermentação alcoólica, classificadas em descontínuos (batelada) e contínuos, assim como os que reutilizam e os que não reutilizam o inóculo.



Figura 03 – Dornas de Fermentação

A Usina em estudo utiliza ambos os processos. O processo descontínuo (batelada) pode ser conduzido de diferentes modos. As operações de carga, fermentação, descarga do meio fermentado e limpeza são realizadas de modo intermitente. Já no processo contínuo a forma de condução é a alimentação do mosto (adição do substrato) e a retirada do meio fermentado se processa de modo contínuo e na mesma vazão.

1.1.3. Destilação.

Depois do processo de fermentação vem a destilação que é uma operação unitária que visa a separação de componentes do vinho (mosto fermentado), de acordo com a volatilidade relativa dos mesmos, o mais volátil desloca-se para a fase leve, enquanto que o menos volátil permanece preferencialmente na fase pesada (vinhaça ou restilo).

“A destilação é a operação de transferência de massa mais empregada na indústria química. A diferença de volatilidade existente entre os componentes da mistura é a força motriz efetiva da separação neste processo. O agente que promove essa separação é o calor, aliado aos internos do equipamento de separação” [CALDAS et al., 2007, p. 281].

O vinho é introduzido na parte superior da torre de destilação, enquanto que o vapor é introduzido na parte inferior, eles entram na torre já no ponto bolha e ponto orvalho, é o ponto em que o líquido está prestes a virar vapor e o vapor está prestes a virar líquido. A medida que o vapor sobe o vinho vai sendo esgotado, enriquecendo cada vez mais o vapor de álcool. A figura 04 ilustra as colunas de destilações da usina em estudo.



Figura 04 – Torres de Destilação



Industrialmente, a destilação é feita em equipamentos chamados de colunas ou torres de destilação, que podem ser de estágios (pratos ou bandejas) ou de contato (recheio).

Após a etapa de destilação o etanol é encaminhado ao armazenamento, ilustrado na figura 05, onde são realizadas análises de acordo com a ANP.



Figura 05 – Estoque de Alcool

2. METODOLOGIA

No presente estudo foram avaliados dados dos boletins de análise do acompanhamento na destilaria da Usina em estudo, que produz etanol 1G, e da unidade produtora de açúcar. Foi escolhido o mês de setembro de 2014, (por ser um mês em que a oferta de matéria é mais disponível e o processo industrial na destilaria) não sofre flutuações para a coleta de dados e análises feitas em laboratório industrial da referida usina.

Nos boletins de análises foram acompanhados os seguintes parâmetros: Brix, Art e pureza do caldo misto e do melação diluído. Já nos boletins de análise fermentação da destilaria foi observado o seguinte parâmetro: teor alcoólico do vinho expresso em Graduação alcoólica (°GL) produzido a partir do processo de

fermentação do caldo misto e do melação diluído. O teor de álcool final nas dornas de fermentação é quantificado por ebuliometria.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O melação proveniente da fabricação de açúcar chega com uma concentração de 78° Brix e Art de 60 mg/L porém o mesmo é diluído em 20% com água.

Nas tabelas 01, 02 e 03 estão expostos os valores para os parâmetros brix, art e pureza respectivamente para o melação diluído e o caldo misto, retirados dos boletins de análises no mês de setembro de 2014.

Tabela 01: °Brix do melação diluído e do caldo misto da cana-de-açúcar.

Data	Brix	
	Melação	Caldo
01/09/2014	15,64	11,40
02/09/2014	16,04	11,36
03/09/2014	15,84	12,70
04/09/2014	16,12	12,52
05/09/2014	16,04	13,57
06/09/2014	16,08	11,82
07/09/2014	15,92	12,38
08/09/2014	15,96	12,25
09/09/2014	16,00	11,78
10/09/2014	16,00	11,73
11/09/2014	14,96	11,78
12/09/2014	15,00	12,21
13/09/2014	15,40	12,00
14/09/2014	15,60	11,56
15/09/2014	15,68	11,13
16/09/2014	15,76	11,87
17/09/2014	15,60	12,55



18/09/2014	15,96	12,45
19/09/2014	15,36	12,47
20/09/2014	15,68	12,72
21/09/2014	15,96	12,56
22/09/2014	15,6	13,18
23/09/2014	15,44	12,53
24/09/2014	15,68	11,80
25/09/2014	16,04	11,41
26/09/2014	16,16	12,02
27/09/2014	15,52	12,68
28/09/2014	16,32	11,82
29/09/2014	15,66	11,82
30/09/2014	15,6	12,85
MÉDIA	15,75	12,16

A tabela 01 mostra que existe uma diferença entre a média do brix do melação diluído e o brix do caldo misto.

O gráfico 01 a seguir ilustra a diferença existente entre o processo fermentativo levado a cabo com melação e caldo misto. Observa-se que o ajuste do brix torna-se maior quando a dorna é preparada com melação.

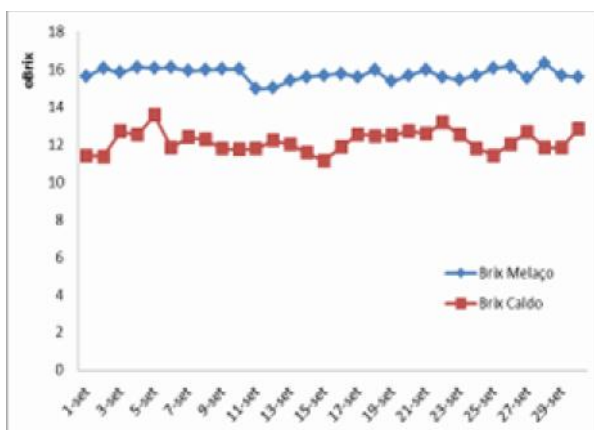


Gráfico 01 - Brix nas dornas

Tabela 02: ART do melação diluído e do caldo misto da cana-de-açúcar .

Data	ART	
	Melaço	Caldo
01/09/2014	12,16	10,85
02/09/2014	12,04	09,89
03/09/2014	12,10	11,06
04/09/2014	12,15	09,72
05/09/2014	12,10	09,17
06/09/2014	12,16	10,88
07/09/2014	12,10	11,22
08/09/2014	12,21	11,25
09/09/2014	11,98	10,33
10/09/2014	11,98	09,69
11/09/2014	11,76	10,43
12/09/2014	11,65	09,93
13/09/2014	10,89	10,02
14/09/2014	11,76	09,49
15/09/2014	11,81	10,04
16/09/2014	11,70	09,88
17/09/2014	11,76	10,91
18/09/2014	11,70	11,41
19/09/2014	11,43	10,71
20/09/2014	11,54	10,79
21/09/2014	11,54	11,13
22/09/2014	11,76	11,76
23/09/2014	11,76	11,36
24/09/2014	11,76	10,40
25/09/2014	11,98	10,28
26/09/2014	11,82	10,38
27/09/2014	11,92	11,67
28/09/2014	12,04	10,42
29/09/2014	11,92	10,71
30/09/2014	11,65	12,10



MÉDIA	11,84	10,60
-------	-------	-------

A tabela 02 também mostra uma média maior para o art do melaço diluído.

Tabela 03: Pureza do melaço diluído e do caldo misto da cana-de-açúcar.

Data	Pureza	
	Melaço	Caldo
01/09/2014	53,50	80,17
02/09/2014	52,74	78,52
03/09/2014	52,19	81,18
04/09/2014	52,41	75,48
05/09/2014	53,76	80,98
06/09/2014	54,72	79,53
07/09/2014	51,96	80,69
08/09/2014	52,87	81,06
09/09/2014	52,94	79,79
10/09/2014	52,94	78,18
11/09/2014	56,61	79,20
12/09/2014	55,33	75,84
13/09/2014	55,97	80,16
14/09/2014	55,44	80,96
15/09/2014	53,34	80,41
16/09/2014	52,16	80,79
17/09/2014	52,97	80,31
18/09/2014	53,36	82,57
19/09/2014	54,84	80,75
20/09/2014	53,29	52,55
21/09/2014	52,79	79,85
22/09/2014	53,29	81,64
23/09/2014	53,44	79,41
24/09/2014	54,84	79,07
25/09/2014	52,30	78,88

26/09/2014	52,41	79,95
27/09/2014	52,64	80,83
28/09/2014	52,00	77,07
29/09/2014	52,74	82,31
30/09/2014	52,82	81,79
MÉDIA	53,42	79,00

A tabela 03 mostra que existe uma média de pureza significativamente maior para o caldo misto.

O teor alcoólico do vinho é de extrema importância no processo de fabricação do álcool, pois é ele que será esgotado nas colunas ou torres de destilação, porém o mesmo não pode ser alto demais para não prejudicar as leveduras. A tabela 04 mostra os dados dos teores alcoólicos do vinho, provenientes da fermentação com melaço diluído e com caldo misto, retirados dos boletins de Análise Fermentação do mês de setembro de 2014.

Tabela 04: Teor alcoólico do vinho (°GL)

Data	Teor Alcoólico	
	(°GL)Melaço	(°GL)Caldo
01/09/2014	7,20	6,00
02/09/2014	8,40	6,08
03/09/2014	8,30	6,25
04/09/2014	8,93	6,90
05/09/2014	7,85	7,11
06/09/2014	8,10	6,79
07/09/2014	7,46	6,70
08/09/2014	7,90	6,22
09/09/2014	6,90	6,20
10/09/2014	7,30	6,23
11/09/2014	8,30	6,25



12/09/2014	8,00	6,39
13/09/2014	7,90	6,22
14/09/2014	7,46	6,60
15/09/2014	7,68	6,38
16/09/2014	7,30	6,33
17/09/2014	7,70	6,50
18/09/2014	7,80	6,57
19/09/2014	7,95	6,95
20/09/2014	9,35	6,79
21/09/2014	7,55	6,95
22/09/2014	8,10	6,88
23/09/2014	7,35	6,96
24/09/2014	7,50	6,69
25/09/2014	7,70	6,80
26/09/2014	6,95	6,55
27/09/2014	7,00	6,85
28/09/2014	7,30	6,41
29/09/2014	7,05	6,85
30/09/2014	7,40	6,72
MÉDIA	7,72	6,57

Na tabela 04 é possível observar que a média para o teor alcoólico do vinho proveniente da fermentação do melação diluído é maior que o teor alcoólico proveniente da fermentação do caldo misto.

No gráfico 02 a seguir observa-se que o maior rendimento no processo de fermentação nas dornas, acontece quando a matéria-prima de produção é o melação. Isso acontece em virtude de se ter um controle maior sobre o brix de alimentação das dornas. Como o melação tem um brix de 78° o mesmo pode ser corrigido para um valor que permita um

maior rendimento de etanol no vinho final.

Isso mostra que o processo fermentativo de produção do etanol de primeira geração a partir do melação, traz um ganho significativo para a Usina em estudo.

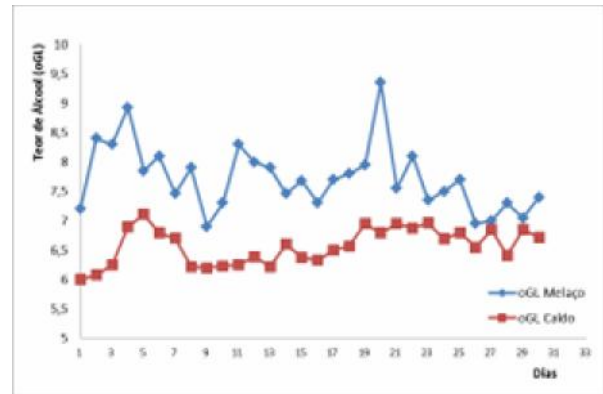


Gráfico 02 - Teor de álcool nas dornas

4. CONCLUSÕES

No mês em questão houve um total de cana moída de 134.471,94 toneladas e uma produção de álcool de 11.445.362 litros, que dá um total de aproximadamente 85 litros de álcool para cada tonelada de cana moída.

Os valores mais elevados de Brix e Art para o melação podem ser explicados pelo fato do melação conter os açúcares que não foram cristalizados. De forma que o caldo de cana terá sempre valores mais baixos para os parâmetros em questão.

A pureza do caldo é maior que a do melação graças ao teor de Brix, pois o mesmo não possui apenas sacarose, glicose e frutose.

Segundo Caldas [2005] a definição de brix em fábricas sucroalcooleiras pode ser aperfeiçoada para porcentagem aparente de sólidos dissolvidos em solução. Pois a mesma não mostra apenas a quantidade de açúcares, mas também de impurezas contidas na solução.



Portanto quanto maior o Art e brix no início da fermentação, maior será o teor alcoólico no vinho.

Nos dados apresentados é possível observar que é mais vantajoso a produção de álcool a partir do melaço.

É utilizado o melaço em usinas que produzem álcool e tem um anexo que produz açúcar ou que sejam do mesmo grupo ou que tenham parcerias, pois no melaço existe um alto índice de açúcares que não foram cristalizados, e para que estes açúcares não sejam perdidos são reutilizados nas usinas de álcool, para que sejam fermentados e convertidos.

As usinas que são produtoras apenas de álcool compram o melaço tendo como vantagem o baixo preço deste subproduto da produção de açúcar.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Fernando Medeiros de. ***Processo de Fabricação do Açúcar.*** Recife: Editora Universitária UFPE, 2009.

CALDAS, Celso. ***Teoria Básica das Análises Sucrialcooleiras.*** Central Analítica, Julho de 2005.

CALDAS, Jorge Navaes. et al. ***Internos de Torres: Pratos e recheios.*** 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência: Petrobras, 2007.

FERNANDES, Antonio Carlos. ***Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar.*** 2.ed. Piracicaba, STAB – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2003.

REIN, Peter. ***Engenharia do Açúcar de Cana.*** Berlin: Bartens, 2013.