

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Processo alternativo ao sistema dorna volante – destilaria na produção do etanol

AUTORES:

Douglas Giglioti*, Luiz Fernando de Moura

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de São Carlos

* bolsista graduação PRH 44

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

PROCESSO ALTERNATIVO AO SISTEMA DORNA VOLANTE - DESTILARIA NA PRODUÇÃO DE ETANOL

Abstract

The increase of ethanol production and its consequent generation of vinasse, a waste with a high pollution potential and that is produced 13 liters per liter of ethanol produced, makes that ways to reduce the volume of vinasse become a priority in the ethanol industry. This study aimed at modeling a system capable of concentrating the wine from the fermentation in order to reduce the volume of generated vinasse at the same time it is concentrated. Another objective was providing the best operating parameters for subsequent construction of the system that can be an alternative in order to substitute the vat-distillery system at the ethanol industry. Preliminary studies indicated the need of using more moderates flow rates to avoid the sudden rise in the temperature of tank and also indicated that the proposed system, at least in your idealized studies, is feasible and its goal is achieved.

Introdução

A crescente preocupação com o desenvolvimento sustentável e equilíbrio ambiental do planeta, juntamente com as projeções de diminuição da oferta de combustíveis fósseis e seus derivados e períodos de instabilidade em suas produção e distribuição fizeram com que o mercado de combustíveis provenientes de fontes renováveis ganhasse força, principalmente em países com grandes extensões de terras agricultáveis como é o caso do Brasil, estando em destaque, dentre eles, o etanol.

Esse combustível, que possui viabilidade técnica e econômica na sua produção e menor poder poluente comparado aos combustíveis fósseis, é um dos que mais cresce em produção e consumo no mundo sendo que, segundo projeções, sua produção mundial em 2030 será de 115 milhões de m³, dos quais o Brasil será responsável pela produção de 66,6 milhões de m³, contra os 45 milhões de m³ mundialmente produzidos em 2007, o que representa um aumento de aproximadamente 155% [1].

Com isso tem-se buscado alternativas para o descarte ou utilização desse resíduo, bem como as vantagens e desvantagens de cada método [3], sendo a fertirrigação a mais difundida ultimamente no cenário brasileiro. Entretanto essa opção, quando há vinhaça em excesso apresenta limitações econômicas e ambientais, devido à possibilidade de salinização do solo e contaminação de lençóis freáticos [4].

Assim, tem-se encontrado um desafio tecnológico nas usinas a fim da redução do volume de vinhaça produzido ou formas alternativas de utilização. Sendo que o uso da vinhaça concentrada é uma alternativa de investimento para eliminar contaminação e evitar multas e impostos originados do não cumprimento das normas ambientais, permitindo, ainda, agregação de valor à produção de açúcar e álcool, já que o ônus orgânico gerado se transforma em energia, adubo e cinzas de potássio e fósforo, que podem ser adicionadas ao solo [5].

A obtenção de vinhaça concentrada, isto é, com uma maior porcentagem de sólidos em sua composição, pode ser devido à destilação de um vinho mais concentrado ou devido ao tratamento do resíduo após a operação de destilação.

A maioria dos métodos de concentração de vinhaça que se encontram disponíveis na literatura ou aplicados na indústria são processos que envolvem o tratamento do resíduo após o vinho ter sido destilado, o que só aumenta o consumo de utilidades e não reduz o volume de vinhaça produzido. Assim, a elevação do teor alcoólico do vinho deve ser uma das principais metas das usinas, visando aumentar a produtividade e reduzir os problemas de infecção do mosto. Além disso, essa medida faz com que a capacidade das colunas de destilação se eleve e reduza-se o volume de vinhaça

e de consumo de vapor [6], uma vez que esse vinho altamente diluído demandará um maior gasto energético não só pra aquecer o álcool como também a vinhaça residual contida nele.

Apesar de alguns métodos de concentração já estarem em processo de implementação, a maioria deles pecam em questões fundamentais como alto consumo energético, inviabilidade econômica e técnica e exigência de grandes áreas das instalações.

Assim, motivado pela crescente produção de álcool e sua consequente geração de vinhaça, pelo alto potencial poluidor desse resíduo e pela convicção que a melhor maneira de concentrá-la é através do aumento do teor alcoólico do vinho a ser destilado, esse trabalho visa a modelagem de um sistema capaz de concentrar o vinho delevedurado proveniente da fermentação do mosto, afim de determinar suas melhores condições operacionais, para a sua posterior construção e realização de ensaios experimentais, visando a melhoria da eficiência na operação de destilação do vinho, a redução do volume de vinhaça produzida, sendo esta mais concentrada.

O sistema aqui proposto requer pouco espaço, pode ser acoplado a usinas existentes e tem custo relativo baixo no que tange a sua construção. Sua grande virtude é que as colunas de destilação passam a operar com misturas hidroalcoólicas apenas, reduzindo em muito a corrosão e produzindo água destilada que pode ser reutilizada no processo.

Metodologia

O sistema estudado é ilustrado na figura 1 e composto por um tanque que receberá o vinho proveniente do mosto, uma bomba de deslocamento positivo, responsável pela que pressurização do sistema e por induzir um caráter contínuo na operação, que é transiente, um trocador de calor que utilizará o vapor vegetal como fluido aquecedor a fim de elevar a temperatura do fluido até sua temperatura de bolha e um tambor flash, cuja corrente de saída líquida retornará ao tanque e a gasosa será uma solução hidroalcoólica já concentrada, que depois de condensada, estará apta para ser destilada de maneira mais eficiente, gerando um menor volume de vinhaça com maior teor de sólidos.

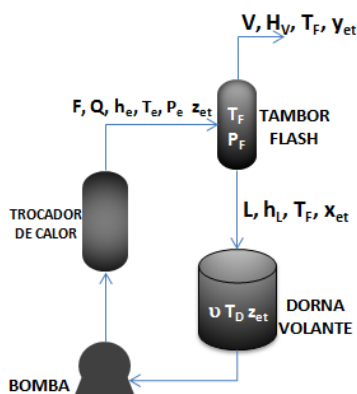


Figura 1 - Sistema estudado

A dorna volante possui capacidade inicial (v_0) de 100L e no início da operação se encontra totalmente carregada, com a temperatura inicial de 25°C (T_D) e composição inicial z_{et} de 2,6% de álcool em mol. Todas essas variáveis vão se alterar com o tempo uma vez que a dorna é alimentada pela corrente líquida que sai do separador flash, que possui uma vazão molar L , entalpia h_L , temperatura T_F e composição molar x_{et} .

A bomba do sistema é de deslocamento positivo e responsável por pressurizar o sistema a aproximadamente 5 bar (P_e) e gerar uma vazão de até 1,00 m³/h (Q) na entrada do flash. Já o trocador

de calor utilizará vapor com as características do vapor vegetal das usinas (vapor saturado com pressão igual a 1,7 kgf/cm²) para aquecer a temperatura da alimentação do flash até a temperatura T_e.

Com isso o tambor flash, cuja pressão P_D é igual a 1 bar, será alimentado com uma vazão molar F e gerará uma corrente de vapor, rica em etanol, com vazão molar V, entalpia H_V, temperatura T_F e composição molar y_{et}.

Assim tem-se que o balanço global para o sistema inteiro mostra que:

$$\frac{dN}{dt} = -V \quad (1)$$

Onde N é o número de mols no sistema. Ele representa a soma do número de mols na dorna N_d e o retido no sistema N_r ("holdup"). Aqui se desconsidera a variação do retido de tal forma que:

$$\frac{dN_d}{dt} = \frac{dN}{dt} \quad (2)$$

O balanço material para cada componente na dorna é dado pela equação 3, enquanto que o mesmo tipo de balanço para o tambor "flash" é observado na equação 4.

$$L.x - F.z = \frac{dN.z}{dt} \quad (3)$$

$$F.z = V.y + L.x \quad (4)$$

Onde x e y guardam a relação de equilíbrio dada pela equação 5 e que por sua vez obedem a relação de Rachford-Rice mostrada nas equações 6 e 7.

$$y_i = K.x_i \quad (5)$$

$$F.O. = \sum_i^C (y_i - x_i) = 0 \quad (6)$$

$$F.O. = \frac{(K_i - 1).z_i}{[f(K_i - 1) + 1]} \quad (7)$$

Além disso, existem os balanços de energia na dorna e no tambor flash, dados pelas equações 8 e 9, respectivamente.

$$L.h_L - F.h_e = \frac{d(N_d.H)}{dt} \quad (8)$$

$$F.h_e = V.H_V + L.h_L \quad (9)$$

E a relação entre Q e F é dada pela equação 10.

$$F = Q.\rho(t) \quad (10)$$

Onde ρ(t) é a densidade, que varia de acordo com a composição da corrente.

A vazão de vapor saturado necessário foi obtida a partir do balanço energético simplificado do trocador e é apresentado na equação 11.

$$S \cdot \Delta H^{\text{vap}} = F \cdot C_{pF} \cdot T_F - F \cdot C_{p0} \cdot T_0 \quad (11)$$

Com todas as equações pré-definidas, os cálculos para a obtenção das incógnitas do tambor de separação foram obtidos a partir do diagrama de blocos apresentado na figura 2.

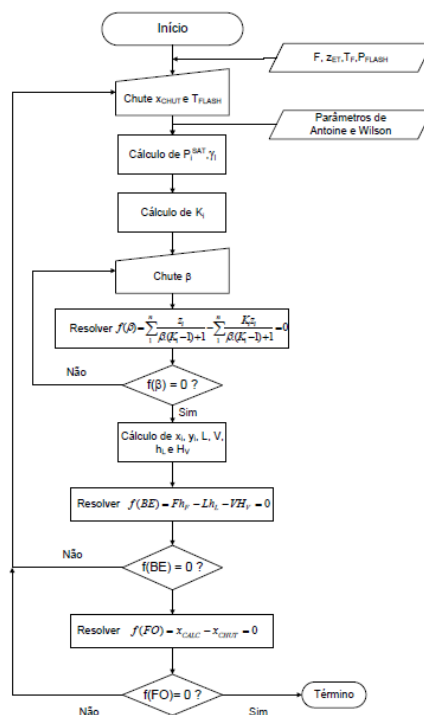


Figura 2 - Diagrama de blocos com os cálculos do flash

A partir das fórmulas e métodos apresentados, foram calculados as incógnitas do sistema a fim de prever o seu comportamento. Para uma melhor visualização, foram construídos gráficos e tabelas apresentados na próxima sessão.

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos através dos balanços mássico e energético no tanque são apresentados nas figuras 3, 4 e 5 e são gráficos obtidos através do programa *Microsoft Excel*®.

Tabela 1 - Dinâmica do tanque

L(kg/h)	x _{et} (%wt)	F(kg/h)	z _{et} ^{TANQ} (% vol)	t (min)	V(L)	T(°C)
0,00	0,036	900	0,080	0	100,0	25,0
801,7	0,035	900	0,075	0,85	98,6	30,4
800,1	0,032	900	0,069	1,12	98,1	36,3
801,1	0,029	900	0,063	1,21	98,0	42,0
802,1	0,026	900	0,057	1,33	97,8	47,2
803,1	0,023	900	0,051	1,47	97,6	52,3
804,0	0,020	900	0,045	1,66	97,3	56,7
805,0	0,018	900	0,039	1,91	96,9	60,6
805,9	0,015	900	0,033	2,25	96,4	64,1

806,8	0,012	900	0,026	2,76	95,6	67,2
807,6	0,010	900	0,020	3,62	94,3	69,8
808,5	0,007	900	0,013	5,35	91,6	72,0
809,3	0,005	900	0,007	11,88	81,6	73,8

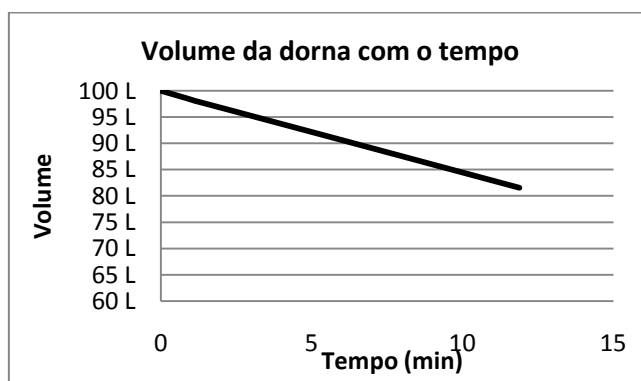


Figura 3 - Variação de volume do tanque com o tempo

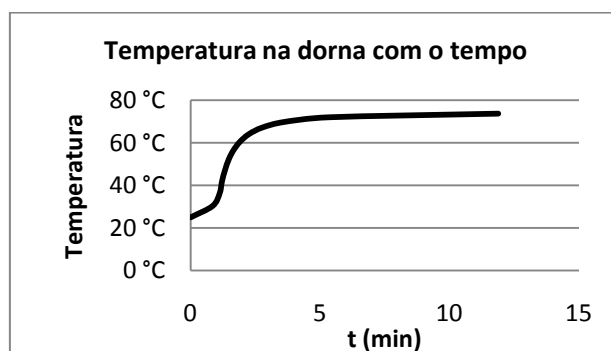


Figura 4 - Variação de temperatura no tanque com o tempo

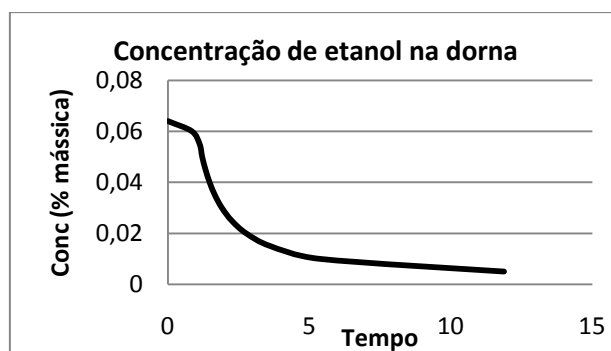


Figura 5 - Variação de etanol no tanque com o tempo

Pode-se observar o comportamento linear da variação de volume com o tempo, o que era de se esperar uma vez que a vazão F, corrente que sai do tanque para alimentar o tambor flash, é constante e a variação da vazão com o tempo de L, corrente líquida do flash que recicla, é muito baixa podendo-se considerar constante também.

A variação de temperatura com o tempo é abrupta, devido principalmente a alta vazão de saída F, que alimenta o flash e consequentemente gera uma alta vazão de L, que alimenta o tanque só que está porém, a uma temperatura muito mais elevada. Rapidamente ela atinge a temperatura de entrada do fluido em L, variando muito pouco.

Por fim, pode-se perceber a rápida retirada de etanol do sistema, sendo este fechado, através da corrente de vapor que sai do tambor flash. O tempo estimado para o sistema obter uma ótima separação é de menos de quinze minutos. Pela observação da figura 4 e 5, pode-se notar que nos momentos iniciais, há um condicionamento do sistema até ele adquirir o comportamento esperado.

Os resultados da vazão de vapor necessária para aquecer a alimentação do flash em sua temperatura de bolha são mostrados na tabela 3.

Tabela 2 - Resultados para o trocador de calor

t (min)	F(kg/h)	T(°C)	T _{bolha} (°C)	S (kg/h)
0,0	900	25,0	143,1	227,5
0,8	900	30,4	144,0	219,2
1,1	900	36,3	144,5	208,8
1,2	900	42,0	145,0	198,8
1,3	900	47,2	145,6	189,7
1,5	900	52,3	146,2	180,9
1,7	900	56,7	146,8	173,4
1,9	900	60,6	147,5	166,7
2,2	900	64,1	148,2	160,8
2,8	900	67,2	148,9	155,7
3,6	900	69,8	149,7	151,5
5,3	900	72,0	150,5	148,2
11,9	900	73,8	151,4	145,9

Pode-se observar a decrescente necessidade vapor devido ao aumento da temperatura de entrada do trocador, enquanto que a temperatura de bolha não acompanha essa variação. Pode-se também observar a alta demanda de vapor, o que é justificada pela alta vazão de F utilizada.

Tabela 3 - Resultados referentes ao tambor flash

F (kmol/h)	z_{et}^F (% mol)	β (V/F)	x_{et}^L (%mol)	y_{et}^V (%mol)	T (°C)	L (kmol/h)	V (kmol/h)	BE	$\Sigma x - \Sigma y$	$x_{calc} - x_{chut}$
48,0	0,026	0,09	0,014	0,144	95,7	43,5	4,45	0,00	0,00	0,00
48,1	0,024	0,09	0,013	0,135	95,9	43,6	4,51	0,00	0,00	0,00
48,3	0,022	0,09	0,012	0,125	96,2	43,7	4,53	0,00	0,00	0,00
48,4	0,020	0,09	0,010	0,114	96,5	43,9	4,54	0,00	0,00	0,00
48,6	0,018	0,09	0,009	0,103	96,9	44,0	4,57	0,00	0,00	0,00
48,7	0,016	0,09	0,008	0,092	97,2	44,1	4,59	0,00	0,00	0,00
48,9	0,014	0,09	0,007	0,081	97,5	44,3	4,62	0,00	0,00	0,00
49,0	0,012	0,09	0,006	0,070	97,8	44,4	4,65	0,00	0,00	0,00
49,2	0,010	0,10	0,005	0,058	98,1	44,5	4,68	0,00	0,00	0,00
49,3	0,008	0,10	0,004	0,047	98,4	44,6	4,71	0,00	0,00	0,00
49,5	0,006	0,10	0,003	0,035	98,7	44,7	4,75	0,00	0,00	0,00
49,6	0,004	0,10	0,002	0,024	99,0	44,8	4,79	0,00	0,00	0,00
49,8	0,002	0,10	0,001	0,012	99,3	44,9	4,84	0,00	0,00	0,00

Pode-se observar nas três últimas colunas da tabela 4, as três funções objetivo que devem ser zeradas a fim de obter as composições e vazões das correntes de saída, bem como a temperatura no flash. Esses resultados são de suma importância uma vez que deles derivam o cálculo para a próxima composição na dorna, uma vez que há o reciclo no sistema.

Conclusões

Os estudos preliminares indicam a necessidade da diminuição da vazão de alimentação a fim de evitar o aumento repentino da temperatura no tanque, o que pode desestabilizar o sistema. O sistema, ao menos em seus estudos idealizados se mostrou viável, sendo seu objetivo, a separação de etanol e água, satisfeito. Assim se pode afirmar que a construção do sistema tem uma boa parametrização inicial e que após serem realizados os ensaios experimentais, a modelagem deve ser refeita a fim de inserir o distanciamento entre comportamento experimental e teórico nas equações utilizadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP e do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT.

Referências Bibliográficas

- [1] Brasil. Ministério de Minas e Energia. Matriz Energética Nacional 2030 / Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética . Brasília : MME : EPE, 2007.
- [2] SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. 2007. Uso de Vinhaça e Impactos nas Propriedades do Solo e Lençol Freático. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.11, 1, p.108–114, 2007.
- [3] LUKSENBERG, J.M.; SÁ, A.; DURSO, M.N., Processo para a produção de álcool combustível, sem vinhoto. Relatório Descritivo de Invenção, Dyna Engenharia S.A., 1980.
- [4] PIACENTE, E. A. ; PIACENTE, F. J. . Desenvolvimentos Sustentável na Agroindústria Canavieira: uma discussão sobre os resíduos. In: 1º SEMINÁRIO INTERNACIONAL CIÊNCIA E TECNOLOGIA NA AMÉRICA LATINA, 2004, Campinas. 1º SEMINÁRIO INTERNACIONAL CIÊNCIA E TECNOLOGIA NA AMÉRICA LATINA, 2004.
- [5] O Novo Ciclo da Cana : Estudo sobre a Competitividade do Sistema Agroindustrial da Cana-de-açúcar e Prospecção de Novos Empreendimentos. Brasília: IEL/NC; SEBRAE, 2005.
- [6] CAMARGO,C.A (coord.). Conservação de energia na indústria de açúcar e do álcool. IPT, 1990. 796p