

Decisão ótima para usinas de etanol de cana em São Paulo: vale a pena transformá-las em flex?

Palavras-Chave: etanol, usina flex, rentabilidade econômica

Autores(as):

Victor Augusto da Silva Brotero de Assis, IE – Unicamp

Prof^a. Dra. Aline Veronese da Silva (orientadora), IE - Unicamp

INTRODUÇÃO:

A busca global por fontes renováveis de energia tem movimentado a criação de novas possibilidades de empreendimento e fornecimento energético às matrizes dos diversos países pelo mundo. O Brasil, pioneiro e um dos líderes em produção energética por fontes alternativas, é um grande exemplo para o mundo no que diz respeito à promoção da transição de fontes não renováveis para energias renováveis de maneira eficiente e economicamente viável.

Nesse contexto é que se insere o vigente trabalho de pesquisa científica: procurar diferentes tipos de energia viáveis financeiramente e que possam ser produzidos em larga escala. Assim, nossa análise se concentrou sobre um relevante recurso energético: o etanol. Porém, em contraste com o habitual praticado, que se baseia na obtenção de etanol a partir da moagem de cana-de-açúcar, foi explorado cenários de uso do etanol produzido a partir do milho.

Portanto, o objetivo central deste projeto é analisar maneiras viáveis economicamente da instalação de usinas flex na região tradicional da cultura de cana-de-açúcar que engloba o estado de São Paulo. Afinal, uma usina padrão a base de cana produz etanol somente no período de safra da planta, compreendido entre abril e novembro em São Paulo, apresentando ociosidade nos meses restantes do ano. Desse modo, a usina flex surge como iniciativa não apenas como uma mera solução econômica para as ociosidades da usina como também uma importante via de expansão de oferta dos biocombustíveis, descarbonização da economia, promoção de uma matriz energética mais sustentável e avanços na preservação do meio ambiente.

METODOLOGIA:

A presente pesquisa realizou uma avaliação econômica da transformação de uma usina tradicional de cana-de-açúcar que opera normalmente no estado de São Paulo em usina flex, ou seja, uma usina com capacidade de moer milho e produzir etanol durante a entressafra da cana-de-açúcar. Para tal viabilidade, utilizou-se a teoria da firma neoclássica representativa, cuja modelagem se baseia na maximização dos lucros: a empresa (usina) escolhe um plano de produção que maximize os lucros. A análise também será realizada sob um cenário em que a empresa enfrenta mercados competitivos.

A começar pela operação padrão da usina na moagem de cana-de-açúcar, consideramos que se trata de uma usina mista, isto é, pode produzir tanto etanol, seja ele anidro ou hidratado, como também açúcar VHP (açúcar bruto que sai da usina). Dessa forma, temos a seguinte função de lucro:

$$\pi_{t,m} = \pi_{1,m} + \pi_{2,m} + \pi_{3,m} \text{ com}$$

- $\pi_{1,m} = p_{1,m} \cdot q_1 \cdot X_1 - w_1 \cdot q_1 \cdot X_1$
- $\pi_{2,m} = p_{2,m} \cdot q_2 \cdot X_2 - w_2 \cdot q_2 \cdot X_2$

- $\pi_{3,m} = p_{3,m} \cdot q_3 \cdot X_3 - w_3 \cdot q_3 \cdot X_3,$

Restrições de capacidade: $X_1 + X_2 + X_3 \leq 450.000$, $X_1 \geq 0$, $X_2 \geq 0$ e $X_3 \geq 0$

Nessa função, temos três fontes de lucro numerados de 1 a 3 que representam, respectivamente, o lucro originário da produção de açúcar, etanol anidro e etanol hidratado. Em cada função temos o preço de cada bem final (p) separado por meses (m). Além disso, temos a quantidade produzida de cada bem (q), a quantidade de toneladas de cana utilizada na produção (X) e o custo total da produção por quantidade produzida (w). Adotando-se de um padrão tecnológico divulgado em uma pesquisa do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) (2014), que considera uma capacidade de moagem de cana em 450.000 toneladas por mês (30 dias), adicionamos esta restrição de capacidade e restrições de não-negatividade na função.

Seguindo a metodologia disponível em Xavier *et al.* temos que o custo total para produção por unidade (w) de açúcar VHP é de R\$ 1.455,78/tonelada de açúcar VHP obtida, do etanol anidro é de R\$ 2.504,90/m³ produzido e do hidratado R\$ 2.270,21/m³ produzido. Os preços referem-se à época safra de 2023/24 de cana-de-açúcar em São Paulo (safra escolhido para nossa análise). Como a safra de cana vai, geralmente, de abril a novembro, então o que foi feito é uma simulação de solução ótima na ótica dos lucros para cada mês a partir dos preços competitivos de cada produto como pode ser observado na tabela a seguir.

	Preço mensal por kg	Preço mensal por litro	Preço mensal por litro
Abril	R\$ 2,18/kg	R\$ 3,33	R\$ 2,94
Mai	R\$ 2,23/kg	R\$ 3,04	R\$ 2,60
Junho	R\$ 2,38/kg	R\$ 2,98	R\$ 2,54
Julho	R\$ 2,55/kg	R\$ 2,79	R\$ 2,26
Agosto	R\$ 2,57/kg	R\$ 2,52	R\$ 2,13
Setembro	R\$ 2,59/kg	R\$ 2,52	R\$ 2,19
Outubro	R\$ 2,65/kg	R\$ 2,48	R\$ 2,19
Novembro	R\$ 2,61/kg	R\$ 2,46	R\$ 2,16

Tabela 1 – Preços mensais do Açúcar VHP, Etanol Anidro e Etanol Hidratado nesta ordem (Fonte: CEPEA Esalq/USP)

Agora, para fechar nosso modelo teórico é necessário definir os rendimentos da cana-de-açúcar. Tais rendimentos variam consideravelmente de acordo com a tecnologia da usina, a qualidade da cana colhida, influenciada pelo subtipo de cana, fatores climáticos e fertilidade do solo. Segundo os dados da NovaCana (2024), na safra 2023/24 para cada tonelada de cana-de-açúcar moída podia-se auferir 57,2 kg de açúcar ou 83 litros de etanol anidro ou 85 litros de etanol hidratado.

Todavia antes disso, obviamente, vamos estender esse modelo de maneira que possa incluir a implementação do capital necessário para instalar a pequena estrutura adjacente à planta a fim de aproveitar os equipamentos e sistemas da mesma e diminuir o gasto necessário para que a usina possa moer milho e extrair etanol durante a entressafra da cana-de-açúcar. No caso específico, consideramos que o mês de dezembro é o momento em que a usina passa por manutenção rotineira e o processo de obtenção de etanol de milho acontece nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2024. Portanto, nossa função de lucro ficou assim:

$$\pi_{t,m} = \pi_{4,m} + \pi_{5,m}$$

- $\pi_{4,m} = \beta [p_{4,m} \cdot q_4 \cdot Y_4 + p_{ddgs} \cdot q_{ddgs} \cdot Y_4 + p_{mwh} \cdot q_{mwh} \cdot Y_4 - (w_4 + p_{milho}) \cdot q_4 \cdot Y_4]$
- $\pi_{5,m} = \beta [p_{5,m} \cdot q_5 \cdot Y_5 + p_{ddgs} \cdot q_{ddgs} \cdot Y_5 + p_{mwh} \cdot q_{mwh} \cdot Y_5 - (w_5 + p_{milho}) \cdot q_5 \cdot Y_5]$

Restrição de capacidade: $Y_1 + Y_2 + Y_3 \leq 98.640$, $Y_1 \geq 0$, $Y_2 \geq 0$ e $Y_3 \geq 0$

Vamos explicar o que foi adicionado um por um. O “quarto” lucro advém da produção de etanol de milho anidro a um mês “m” pois, assim como no caso da cana-de-açúcar, os preços do etanol variam bastante sendo necessário separar as operações mensalmente. O “quinto” lucro refere-se ao retorno da produção de etanol de milho hidratado. Contudo vale lembrar que o lucro não se origina apenas do

etanol, uma parcela considerável sua se refere a demais subprodutos resultantes da extração do etanol sobre o milho.

Independentemente de qual tipo, uma usina ao moer milho para obter etanol também acaba gerando vários coprodutos muito úteis e rentáveis. Em nosso modelo, vamos considerar dois subprodutos muito relevantes: o DDGS (Grãos Secos de Destilarias com Solúveis), um subproduto rico em nutrientes como proteína, fibra e energia, ideal para alimentação animal (especialmente gado de abate), e a energia elétrica excedente. Além disso, a variável binária β que pode ser 0 ou 1 está contida como uma forma de indicar a existência de lucratividade da instalação da estrutura necessária para a usina produzir etanol a partir do milho. Se não for rentável, ela será 0.

Baseado ainda na pesquisa do BNDES (2014), se formos somar todos os custos de produção, incluindo as despesas de capital e operacionais e calcular o custo relativo por tonelada de milho processada, chegamos no valor de R\$ 187,12, que somado ao preço do milho (comprado *in natura*) por tonelada tem-se um total de R\$ 1.284,29. Em relação aos rendimentos, por sua vez, vamos considerar o máximo ideal (460 para etanol hidratado e 450 para etanol anidro) e depois analisaremos até qual rendimento a produção consegue se manter rentável se é que será lucrativa. Para o DDGS, supôs-se uma produção de 312 kg por tonelada processada e para a energia elétrica ponderou que a usina produz 150 MWh por entressafra, consome 90 MWh e exporta 60 MWh (Neves *et al.* 2021). Além disso, adicionou-se a restrição de capacidade de 98.640 toneladas de milho processadas no mês juntamente com a não-negatividade das quantidades moídas.

Por fim, mas não menos importante, há também os preços do insumo (milho) e dos produtos, preços esses de mercados competitivos, onde o usineiro não tem controle algum sobre eles. Podemos conferi-los na tabela abaixo:

Preços Mensais	Janeiro	Fevereiro	Março
Milho (R\$/saca 60kg)	R\$65,83	R\$62,58	R\$62,72
Etanol Anidro (R\$/L)	R\$2,12	R\$2,39	R\$2,40
Etanol Hidratado (R\$/L)	R\$1,91	R\$2,15	R\$2,14
DDGS (R\$/tonelada)	R\$1.224,61	R\$1.224,61	R\$1.224,61
Energia (R\$/MWh)	R\$131,95	R\$131,95	R\$131,95

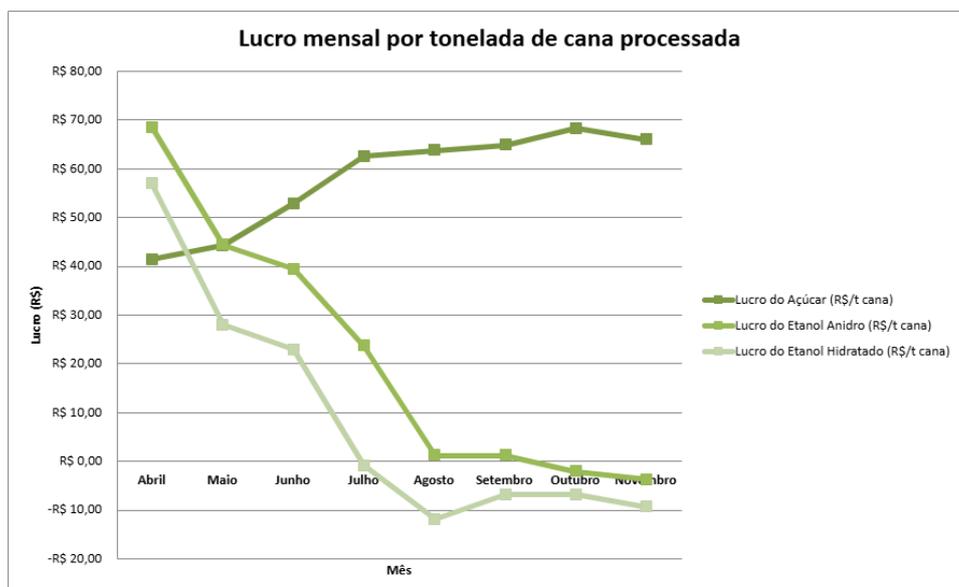
Tabela 2 – Preços mensais do milho, etanol anidro e hidratado, DDGS e da energia elétrica. Fonte: (CEPEA Esalq/USP, CCEE e Scot Consultoria)

Os preços do DDGS e da energia foram mantidos os mesmos pela consideração de que eles não são tão voláteis quanto os demais a ponto de interferir na nossa análise. Dessa forma, somando essa função lucro com a anterior relacionada ao etanol de cana, têm-se a maximização de lucro de todo o período de operação (abril de 2023 a março de 2024) da usina podemos prosseguir aos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Primeiramente, o resultado obtido da maximização dos lucros originários do processamento de cana foi de que convém produzir apenas etanol anidro nos meses de abril e maio enquanto nos demais, junho a novembro, convém alocar toda a moagem para a produção de açúcar VHP. Porém, não significa que a produção dos outros produtos não gere lucro para a usina. Somente em alguns meses específicos em especial ao etanol hidratado que não consegue se auferir lucro. Abaixo temos um gráfico contendo os lucros mensais para cada produto, mostrando qual é mais viável em cada mês.

Em segundo plano, a produção de etanol de milho na entressafra da cana-de-açúcar conseguiu gerar rentabilidade. A usina só obtém prejuízo se operar para produzir etanol hidratado no mês de janeiro e a maximização de lucro acontece se se produzir apenas etanol anidro durante os 3 meses. Os resultados podem ser vistos ao lado na tabela abaixo.



Análise por Tonelada de Milho	Janeiro	Fevereiro	Março
CUSTOS			
Custo de Compra de Milho (R\$/ton)	R\$1.097,17	R\$1.043,00	R\$1.045,33
Custo Total Variável (R\$/ton)	R\$1.284,29	R\$1.230,12	R\$1.232,45
RECEITAS			
Receita Anidro (R\$/ton)	R\$954,00	R\$1.075,50	R\$1.080,00
Receita Hidratado (R\$/ton)	R\$878,60	R\$989,00	R\$984,40
Receita DDGS (R\$/ton)	R\$382,08	R\$382,08	R\$382,08
Receita Energia (R\$/ton)	R\$7,92	R\$7,92	R\$7,92
Receita Coprodutos (R\$/ton)	R\$390,00	R\$390,00	R\$390,00
LUCRO FINAL POR ROTA			
Lucro Rota Anidro (R\$/ton)	R\$59,71	R\$235,38	R\$237,54
Lucro Rota Hidratado (R\$/ton)	-R\$15,69	R\$148,88	R\$141,94

Se optarmos pela maximização total dos lucros, obteremos um retorno de aproximadamente R\$ 273,5 milhões de reais e uma produção de cerca de 163,5 milhões de litros de etanol anidro (74,7 da cana e 88,8 do milho) e 154,44 mil toneladas de açúcar VHP. Porém, é possível repensar em vários outros cenários diferentes com restrições de demandas mínimas, principalmente para o etanol hidratado que, naturalmente, acaba sendo descartado por conta de seu preço sempre

estar abaixo do etanol anidro no decorrer do tempo mesmo ele apresentando margens positivas de retorno. Vale lembrar que no caso da produção de etanol de milho, o modelo de negócio só é rentável com o modelo de economia circular, isto é, um cenário em que se possa não só vender o etanol como também seus coprodutos (DDGS e energia) porque, sem eles, em nenhum momento a usina flex se mostra rentável. Portanto, torna-se fundamental a existência de demandas locais ou regionais de ração animal e energia elétrica além da demanda de etanol.

CONCLUSÕES:

O presente estudo revela informações práticas muito importantes a respeito de possíveis adaptações de usinas de etanol tradicionais de cana-de-açúcar para usinas flex. Primeiro, o fato de que a rentabilidade não acontece apenas com a produção de etanol do milho, ela precisa estar acompanhada de seus coprodutos porque, sem eles, a rentabilidade não é suficiente para cobrir os custos de capital e operacionais. Em segundo lugar, apesar da maximização de lucro não permitir a produção de etanol hidratado e o açúcar se sobrepõem em grande parte do tempo na produção, não é o que se reflete na realidade com as usinas paulistas em operação (ANP, 2024). Isso deve acontecer por conta de dois principais fatores que não consideramos: capacidade de estocagem e presença de contratos futuros.

A maioria das usinas possui uma capacidade de tancagem, ou seja, de armazenar etanol anidro ou hidratado em grandes tanques para esperar vendê-los em momentos de maior alta dos preços, além de grande parte da sua produção ser vendida antecipadamente em contratos a termo. A usina pode ter a obrigação de entregar, por exemplo, 10.000 toneladas de açúcar em julho, mesmo que o etanol esteja com um preço spot melhor naquele mês, entrando nos cálculos como demandas mínimas de produção, como foi comentado anteriormente. E, por fim, não podemos nos esquecer do excedente

elétrico que isso gera. Da mesma forma que o milho tem excedente elétrico a cana-de-açúcar também exporta, em quantidades maiores inclusive (GATEC, 2024), mas não consideramos porque o enfoque do trabalho não é esse. Como diria Milton Friedman (1953), teorias e modelos econômicos devem ser julgados pela sua capacidade de prever fenômenos e não pelo realismo de suas premissas, e aqui predizemos corretamente os resultados observáveis do mercado, é viável economicamente sim os investimentos em adaptações de usinas tradicionais para usinas flex.

BIBLIOGRAFIA

NEVES, M. F. et al. **Etanol de Milho: cenário atual e perspectivas para a cadeia no Brasil**. 1ª ed. Ribeirão Preto: UNEM, 2021.

XAVIER, C. E. O. et al. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil: safra 2008/2009**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento.

MILANEZ, Artur Yabe Milanez et al. A produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política. **Revista do BNDES**, n. 41, p. 147-208, 2014.

NOVACANA. **Atualização Safra Cana-de-Açúcar 2024/25 – Quinzena Junho (28/06/24)**. 2024. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/atualizacao-safra-cana-de-acucar-2024-25-quinzena-junho-280624>. Acesso em: 3 ago. 2025.

POWER BI. Relatório: Safra de Cana-de-Açúcar 2023/24 – Atualização. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://app.powerbi.com/viewr=eyJrIjoiMmRhZWU2NDUtZWYiO0NzI5LWJjMGQtNjIwNjE0MjM0MjEzIiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTtytNGI0Mi1iN2VmLTExNGFmY2FkYzkyMyJ9>. Acesso em: 3 ago. 2025.

GATEC. **Etanol de Milho e Cana: Diferenças, Vantagens e Tendências**. 2024. Disponível em: <https://gatec.com.br/etanol-de-milho-e-cana-diferencas-vantagens-e-tendencias/>. Acesso em: 3 ago. 2024.

FRIEDMAN, Milton. **The methodology of positive economics**. In: _____. **Essays in positive economics**. Chicago: University of Chicago Press, 1953. p. 3-43.