

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**WILLIAN VICTOR DE SOUZA PEREIRA**

**USINA FLEX DE ETANOL: ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E  
ECONÔMICA DO USO DO MILHO NA ENTRESSAFRA DA CANA-DE-  
AÇÚCAR.**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS**

**2017**

**WILLIAN VICTOR DE SOUZA PEREIRA**

**USINA FLEX DE ETANOL: ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E  
ECONÔMICA DO USO DO MILHO NA ENTRESSAFRA DA CANA-DE-  
AÇÚCAR.**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado  
à Universidade Federal de Viçosa como  
parte das exigências para a obtenção do  
título de Engenheiro Agrônomo.  
Modalidade: trabalho científico.**

**Orientador: Ronaldo Perez**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS**

**2017**

**WILLIAN VICTOR DE SOUZA PEREIRA**

**USINA FLEX DE ETANOL: ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E  
ECONÔMICA DO USO DO MILHO NA ENTRESSAFRA DA CANA-DE-  
AÇÚCAR.**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado  
à Universidade Federal de Viçosa como  
parte das exigências para a obtenção do  
título de Engenheiro Agrônomo.  
Modalidade: trabalho científico.**

APROVADO: 29 de novembro 2017

---

Prof. Ronaldo Perez  
(Orientador)  
(UFV)

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. MATERIAL E MÉTODOS	6
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
3.1 VIABILIDADE TÉCNICA	8
3.1.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL UTILIZANDO MILHO	8
3.1.2 ADAPTAÇÃO DA USINA	9
3.1.3 BALANÇO DE MASSA	11
3.2 VIABILIDADE ECONÔMICA	11
4. CONCLUSÃO	16
5. REFERÊNCIAS	16
6. ANEXO	19

# Usina Flex de Etanol: Estudo de viabilidade técnica e econômica do uso do milho na entressafra da cana-de-açúcar.

**Ethanol Flex Plant: Technical and economic feasibility study of corn use in the sugarcane off-season.**

W. V. de S. PEREIRA<sup>1</sup>, R. PEREZ<sup>2</sup>, J. B. CÉZAR<sup>2</sup>, R. J. BESSA<sup>2</sup>, B. E. DIAS<sup>3</sup>, G. S. B. CÔRTEZ<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Brasil

<sup>3</sup> Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Química, Brasil

E-mail: willian\_victor@hotmail.com

**PALAVRAS-CHAVE:** Custo de produção; investimento; biocombustível; sazonalidade de produção.

**KEYWORDS:** Production cost; investment; biofuel; seasonality of production.

**RESUMO:** *O Brasil é um importante produtor de etanol no mundo, utilizando a cana-de-açúcar como matéria-prima. No entanto, este produto possui uma entressafra muito definida, deixando as usinas em um período ocioso de produção. Neste contexto a utilização do milho como insumo complementar a cana-de-açúcar torna uma proposta relevante, visto a consolidação do etanol a partir do milho nos Estados Unidos. Este estudo tem como finalidade avaliar a viabilidade técnica e econômica de adaptação de uma usina comum brasileira de etanol em uma usina flex, ou seja, que atue tanto com a cana-de-açúcar quanto com o milho. Uma usina com produção diária de 342 m<sup>3</sup>, atuando quatro meses no ano com milho, demonstrou viável em regiões com grande produção desta matéria-prima, como no estado do Mato Grosso e no Paraná (TIR de 51,43 % e 23,39%). Enquanto em São Paulo, a adaptação da usina se demonstrou inviável economicamente, apresentando um VPL negativo, comprovando a influência do custo da matéria-prima na viabilidade do projeto.*

**ABSTRACT:** *Brazil is an important producer of ethanol in the world, using sugarcane as its raw material. However, this product has a very defined off-season, leaving the mills in an idle period of production. In this context, the use of corn as an additional input to sugarcane makes a relevant proposal, seen the consolidation of ethanol from corn in the United States. This study aims to evaluate the technical and economic feasibility of adapting a Brazilian common ethanol plant in a flex plant, that is, to act with both sugarcane and corn. A plant with a daily production of 342 m<sup>3</sup>, working four months in the year with corn, has shown feasible in regions with great production of this raw material, as in the state of Mato Grosso and Paraná (IRR of 51.43% and 23.39%). While in São Paulo, the plant adaptation showed up economically unfeasible, with a negative NPV, proving the influence of the cost of the raw material on the feasibility of the project.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os Estados Unidos é o líder mundial na produção de etanol, o qual utiliza matéria-prima amilácea em seu processamento, enquanto o Brasil, segundo maior produtor, usa a cana-de-açúcar. O uso da cana-de-açúcar como matéria-prima no Brasil está diretamente relacionado as questões históricas do uso no país e as condições edafoclimáticas favoráveis para o seu cultivo, que promovem grande produtividade no campo. Além disso, o mercado brasileiro não é só baseado na produção de etanol, segundo a CONAB (2017), o Brasil é o maior produtor mundial de açúcar, o que consolida esta fonte de matéria-prima. Este fato permite as usinas não só participar dos mercados de açúcar e etanol, como modificar a produção em função da demanda do mercado nacional e internacional destes produtos.

A produção da cana-de-açúcar possui uma entressafra muito definida, compreendida de dezembro a abril na região do Centro-Sul brasileira, deixado um

período ocioso de quatro meses sem matéria-prima para processar, neste período não há produção de etanol e a usina passa por um período longo de manutenção. Este fato ocorre devido a perecibilidade da cana-de-açúcar, a qual não pode ser armazenada além de 48 horas (SCHUTTE et al., 2017).

Este período sem matéria-prima para processar gera gastos que aumentam os custos de produção das usinas. Este fato faz com que as usinas de cana-de-açúcar tentem encontrar outras matérias-primas que possam ser destinadas para este fim, que sejam viáveis na estrutura atual das usinas. Como alternativas testadas estão o sorgo sacarino e o milho. O sorgo pode utilizar 100% a tecnologia de processamento da cana-de-açúcar com adaptações, já o milho exige investimentos na etapa inicial para quebra de amido em glicose. Assim temos uma opção consolidada no mercado mundial, o milho para produção de etanol, responsável pela maior produção e exportação de etanol no mundo, realizada pelos Estados Unidos. O etanol a partir do amido necessita de um maior gasto energético para quebra deste carboidrato em moléculas menores, obtendo assim os açúcares a serem fermentados no processo de produção de etanol (ECKERT, 2016).

O milho possui algumas vantagens como matéria-prima, como a capacidade de armazenamento em períodos maiores, facilitando o transporte e a produção deste grão em regiões mais distantes da usina. Ainda proporciona alguns subprodutos para complementar a receita, como dried distillers grains with solubles (DDGS), que consiste em uma torta residuária da extração de amido com cerca de 30% de proteína bruta, podendo ser utilizada para fabricação de ração animal, além da extração de óleo vegetal deste subproduto (Kim et al., 2007).

A inclusão de outra matéria-prima no processo permite a usina produzir etanol em mais meses no ano, diluindo os custos fixos da indústria e permitindo maior oferta deste combustível, reduzindo a sazonalidade. No entanto é necessário realizar um estudo de viabilidade econômica para validar a real viabilidade da produção de etanol de milho na realidade brasileira. Já é de conhecimento estudos e projetos industriais positivos no uso do milho como matéria prima para a produção de etanol, como demonstrado por MANOCHIO (2014). Porém é importante análises para avaliar a viabilidade de usina com cana-de-açúcar e milho.

Assim o presente trabalho tem por finalidade realizar um estudo de viabilidade econômica e técnica de adaptação de uma usina de etanol, que já utiliza cana-de-açúcar como matéria-prima, para também utilizar o milho para produção deste biocombustível, completando a sua produção na entressafra da cana-de-açúcar. Aqui trataremos esta usina adaptada de “usina flex”, obtendo um mesmo produto final a partir de distintas matérias-primas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O dimensionamento tomou como base uma produção diária de etanol 342 m<sup>3</sup>, considerando um valor de uma usina média típica no cenário da produção de etanol brasileiro, comuns no estado de São Paulo CONAB (2017). Os equipamentos foram dimensionados segundo uma usina de etanol que já produz etanol a partir de cana-de-açúcar, definindo os novos equipamentos a partir da capacidade das dornas de fermentação do vinho, voltando todo o processo até a fase de recepção do grão.

Para realizar o dimensionamento e escolha de equipamentos foi necessária uma extensa revisão bibliográfica e estudo do processo de produção de etanol de milho e cana-de-açúcar. Definindo todas as etapas do processo, verificando quais equipamentos

são necessários para adaptação da usina, considerando o máximo aproveitamento dos equipamentos já existentes, de modo a minimizar o investimento inicial de implantação do processo amiláceo. Para análise do capital necessário para implantação do projeto foi realizado orçamentos dos equipamentos dimensionados junto a empresas produtoras e/ou fornecedoras de equipamentos do setor sucroalcooleiro e de processamento de material amiláceo.

Para nova definição do tempo de operação da planta de etanol com a introdução do milho, levou-se em consideração a entressafra da cana-de-açúcar, a safra de milho, o tempo necessário para manutenção dos equipamentos da usina no período de entressafra da cana, além do período de férias dos funcionários da indústria. A decisão de manter o período de manutenção foi tomado considerando que paradas inesperadas do processo não devam ocorrer, prejudicando a produção da usina (MASIERO, 2012).

Para realizar o estudo de viabilidade econômica são utilizados indicadores financeiros, sendo a análise realizada pelo fluxo de caixa do projeto através de um horizonte de planejamento pré-determinado. Um indicador financeiro tomado como base para análise de projetos é o Valor Presente Líquido (VPL), que consiste na liquidez do fluxo de caixa acumulado ao longo dos anos de avaliação do projeto, considerando o desconto da Taxa Mínima de Atratividade (TMA), definida no início do projeto, ela é calculada pela fórmula 1. A TMA pode ser entendida como a taxa de juros anual sobre o fluxo caixa, ou seja, o percentual mínimo que o projeto vai render ao ano, neste caso será adotado a taxa básica de juros (Selic). Outro indicador a ser utilizado é a Taxa Interna de Retorno (TIR), que consiste no percentual de juros que zera o VPL, ou seja, a taxa que iguala o valor das despesas ao valor das receitas, ambas trazidas ao valor presente, dado pela fórmula 2. A partir do VPL é possível calcular o Tempo de Retorno do Capital (TRC) investido, demonstrando o tempo necessário de atividade para que se recupere o investimento e comece a ter o saldo positivo do fluxo de caixa acumulado (CANOVA, 2011).

$$VPL = -I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{Cf}{(1+j)^n} \quad (1)$$

$$TIR = j \text{ se, } I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{Cf}{(1+j)^n} = 0 \quad (2)$$

Onde VPL é valor presente líquido, [R\$],  $I_0$  é o investimento inicial, [R\$],  $Cf$  é o fluxo de caixa líquido, [R\$],  $j$  é a taxa mínima de atratividade (TMA), [%],  $n$  é o período de fluxo de caixa do projeto e TIR é a taxa interna de retorno, [%] (CANOVA, 2011).

A análise dos indicadores financeiros foi realizada com o software BiodieselFAO, um sistema desenvolvido para análise econômica de projetos de produção de biodiesel, mas com ajustes de seus coeficientes técnicos é possível a sua utilização em outros produtos, como etanol, através do balanço de massa e energia do seu processamento. Cujo uso já foi publicado e validado nos artigos OLIVEIRA et al. (2010), GOMES et al. (2010). Os dados de custos e receitas se encontram nas Tabelas 6, 7, 8 e 9 no anexo.

Como local para implantação deste projeto considerou-se o estudo de três cenários, nos quais será utilizado como variável o custo de compra do milho, tomando como base o indicador VPL. É necessária esta avaliação, devido a magnitude de diferença do preço do milho de um estado para o outro. Os locais de escolha para análise deste projeto foram selecionados de acordo com as unidades federativas que sejam produtoras de milho e produtoras de etanol. O Mato Grosso é o maior produtor de

milho do Brasil, seguido pelo Paraná. Ambos produzem etanol, representando 4,4% e 5,1% da produção nacional, respectivamente, sendo assim os dois primeiros estados selecionados. Também foi adotado o estado de São Paulo, por sua grande importância do setor sucroalcooleiro, correspondente como maior produtor de etanol do Brasil, com consequente maior número de usinas operantes deste biocombustível (CONAB, 2017a, 2017b). Esta análise tomou como base a diferença de preço médio do milho em cada estado, sendo o Mato Grosso o Cenário 1 (R\$ 23,32 a saca de 60 Kg), São Paulo o Cenário 2 (R\$ 35,20) e Paraná o cenário 3 (R\$ 29,11). Estes valores foram calculados como média dos dois últimos anos (2015/2016 e 2016/2017), considerando apenas o período de atuação da usina flex com milho.

Através da análise de sensibilidade podemos definir a influência das variáveis sobre os indicadores financeiros no horizonte de planejamento, dado a imprevisibilidade das respostas das operações da usina ao longo do tempo (CANOVA, 2011). Neste estudo, realizou-se duas análises de sensibilidade para o cenário (local de implantação) mais atrativo, verificando-se qual o aumento máximo no preço do milho que ainda torne o VPL positivo, assim como a redução máxima do preço do etanol que ainda torne o VPL positivo. Para a análise de variabilidade do preço do etanol foi fixado o preço médio do milho do melhor cenário dos dois últimos anos (2015/2016 e 2016/2017), da mesma forma fixou-se o preço médio do etanol para análise de variabilidade do preço do milho. Em ambos os casos somente considerou-se os preços do período de atuação da usina flex no ano.

Foi tomado como base um horizonte de planejamento de 10 anos para análise do projeto, considerando um tempo hábil de funcionamento da usina para que as análises sejam feitas e a sustentação do caixa da mesma ao longo do tempo. Para a taxa mínima de atratividade foi adotado o valor da Selic de 10,25 %, sendo esta a taxa mínima que o investidor irá adotar como aceitável para que o projeto seja atrativo do ponto de vista financeiro.

Para análise do projeto foi considerado o financiamento do investimento em equipamentos para adaptação da usina, utilizando a linha de crédito Fundo Clima Energia, com juros de 6,76 % ao ano com carência de 2 anos.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Viabilidade técnica**

##### **3.1.1 Processo de produção do etanol utilizando milho**

O grão do milho contém grandes moléculas de polissacarídeos (amido), que são carboidratos constituídos de unidades de glicose, que interagem entre si e formam pacotes compactados de carboidrato com baixa solubilidade em água. O processamento do milho para a produção de etanol envolve uma etapa de quebra da molécula de amido em moléculas menores de açúcares solúveis. Tais açúcares posteriormente fermentados dão origem ao etanol. Inicialmente, após a recepção e preparação dos grãos na indústria, é feito o preparo da matéria-prima, iniciado pela etapa de moagem do milho, para redução do tamanho das partículas de modo a aumentar a eficiência das etapas posteriores (BARROS, 2017). Em seguida os grãos são encaminhados para a etapa de gelatinização, que consiste em um aquecimento do amido em água quente a partir de uso de vapor, de forma que a água seja absorvida pelos grãos e seja formada uma goma, a qual seguirá para sacarificação (MANOCHIO, 2014).

Na sacarificação, a mistura em goma da matéria-prima recebe enzimas ou ácidos que hidrolisa e que converter o amido em maltose e glicose e outras substâncias menores e passíveis de fermentação. Esse processo ocorre a patamares específicos de

temperatura, pH e pressão, para que seja favorecida a atuação das enzimas em condições denominadas ótimas (MARQUES et al., 2008). Enzimas como a  $\alpha$ -amilase,  $\beta$ -amilase e glucoamilase são responsáveis por esse processo, que, se realizado nas condições adequadas, pode fornecer altos teores de açúcares fermentescíveis, originando um mosto de qualidade desejada (CINELLI, 2012).

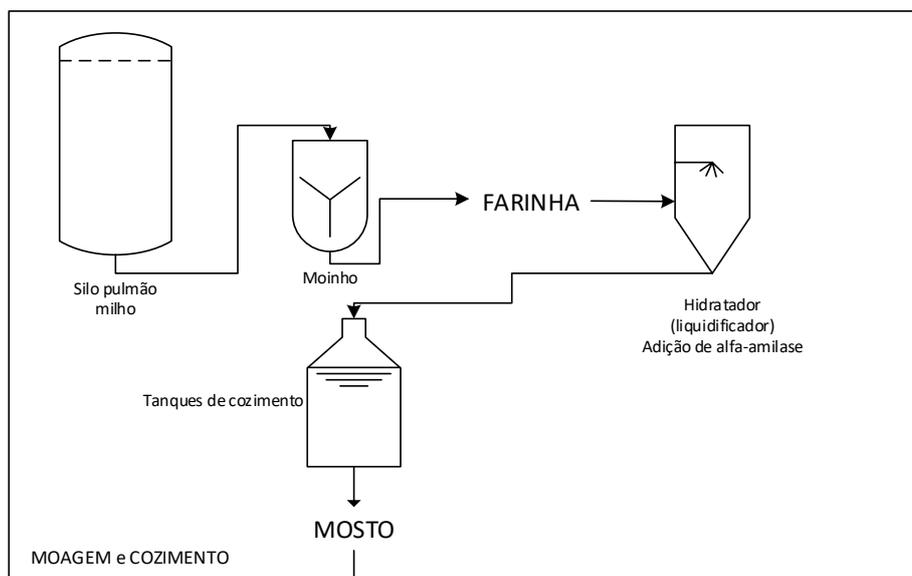
A etapa seguinte do processo é a fermentação, iniciada basicamente pela adição do inóculo de leveduras: os micro-organismos responsáveis pela produção do álcool. A principal levedura utilizada é *Saccharomyces cerevisiae*, e o processo de fermentação é altamente sensível, devido à necessidade de manutenção da atuação das leveduras (CINELLI, 2012). Desse modo, aspectos físicos, químicos e microbiológicos devem ser cuidadosamente regulados para que seja mantida uma eficiência desejada de conversão do açúcar em álcool. Após a redução da produção de gases, que marca a finalização dessa etapa, a mistura contida nos tanques passa a ser denominada vinho, e seguirá para a etapa de destilação (MARQUES et al., 2008).

O vinho, também denominado mosto fermentado, segue para colunas destiladoras, onde ocorre o processo de separação da parte volátil dos componentes do vinho à temperatura e pressão pré-determinadas, com base em seus pontos de ebulição (BARROS, 2017).

### 3.1.2 Adaptação da usina

Nesse contexto, para modificar a usina de cana-de-açúcar para uma usina flex, onde seria integrado o milho como matéria-prima, identificou-se que é necessário a obtenção de um setor de recepção dos grãos, seguido de um setor de moagem e cozimento. Assim como, seria mantida a mesma estrutura de dornas utilizadas para a fermentação e a coluna onde ocorre a destilação. Além disso, devido à ocorrência de subprodutos previamente discutidos do milho, como o DDGS e o óleo bruto, fez-se necessária uma unidade de separação, que englobou basicamente centrífugas, flotadores e secadores para recuperação do subproduto (MASIERO, 2012).

Além dos investimentos envolvendo maquinário propriamente dito, também foram estudadas despesas de operação, como as que envolvem infraestrutura, transporte de material, obras e controle laboratorial de qualidade. A estruturação específica para o processo de produção utilizando-se o milho está contida no diagrama pictorial na figura 1.



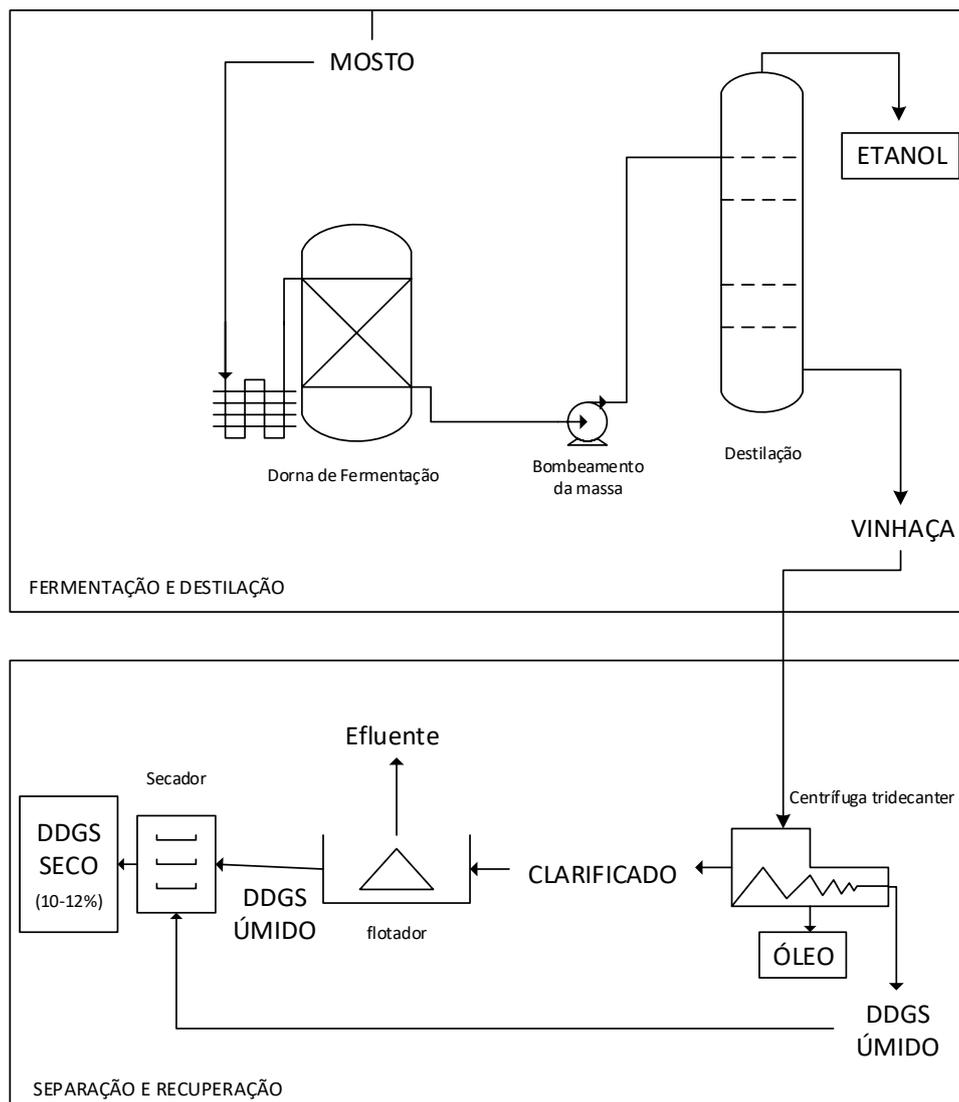


Figura 1. Diagrama pictorial de produção de etanol de milho e subprodutos  
 Fonte: Adaptado de GRIPPA, 2012 & CANOVA, 2011.

A usina funciona em sistema contínuo, operando na fase de cozimento para gelatinizar o amido a temperaturas superiores à 100 °C, facilitando o processo enzimático realizado com a  $\alpha$ -amilase. A quebra enzimática é realizada na faixa de temperatura de 80 °C à 90 °C, com duração mínima de 90 minutos e duração máxima de 150 minutos, com objetivo de quebrar as moléculas de amido. A fermentação é feita à temperatura na faixa de 30° C à 35 °C após o cozimento, para chegar nessa temperatura é utilizado um trocador de calor com tubos de 12 mm de diâmetro. Antes da fermentação é necessário a sacarificação, com função de finalizar a degradação do amido em moléculas de açúcares, permitindo assim a fermentação. A sacarificação é inicialmente rápida e vai diminuindo a eficiência com o tempo. O modo encontrado para reduzir o tempo gasto é realizar essa etapa simultaneamente com a fermentação, acelerando o processo na dorna. Na fermentação não há reciclo do fermento e é adicionada a enzima glucoamilase para realizar a sacarificação. Após a fermentação se obtém o vinho, pronto para sofrer destilação e se obter o álcool (MASIERO, 2012 &

TALEKAR et al., 2013; WARREN et al., 2011; WOLT e KARAMAN, 2007 apud ECKERT, 2016).

### 3.1.3 Balanço de massa

Uma vez definida a estrutura de processos da usina flex, estabeleceu-se uma operação que envolvia o processamento de 900 toneladas de milho por dia, em uma operação de 120 dias ao ano, totalizando quatro meses. Ao longo de cada um desses dias, a operação ocorre 24 horas por dia, de modo que está dividida em três turnos de 8 horas de trabalho. Em termos de matéria-prima para abastecimento da unidade industrial, sabe-se que o milho fornece um rendimento de 380 litros de etanol por tonelada desse cereal processado. Desse modo, a produção de etanol por dia de operação seria de 342 m<sup>3</sup>, de forma que são necessários 2,63 Kg de milho para produzir 1 litro de etanol (GRIPPA, 2012).

Além da matéria-prima propriamente dita, existem também outros fatores que adentram o processo: os químicos e levedura adicionados ao longo da cadeia, a exemplo de enzimas para etapa de hidrólise, antibióticos e nutrientes para evitar a contaminação de leveduras e ácido para ajustar o pH do mosto. Acrescida à demanda de químicos está a necessidade de água para a ocorrência das demais etapas do processo. Estes e outros itens de destaque no balanço de massa geral da planta encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Balanço de massa simplificado para o processamento

Item	Processamento		Unidade
	Entrada	Saída	
Milho	900	-	t/dia
Água	915,19	-	m <sup>3</sup> /dia
Químicos e levedura	36	-	t/dia
Etanol	-	342	m <sup>3</sup> /dia
Óleo	-	13,51	t/dia
DDGS	-	290,7	t/dia

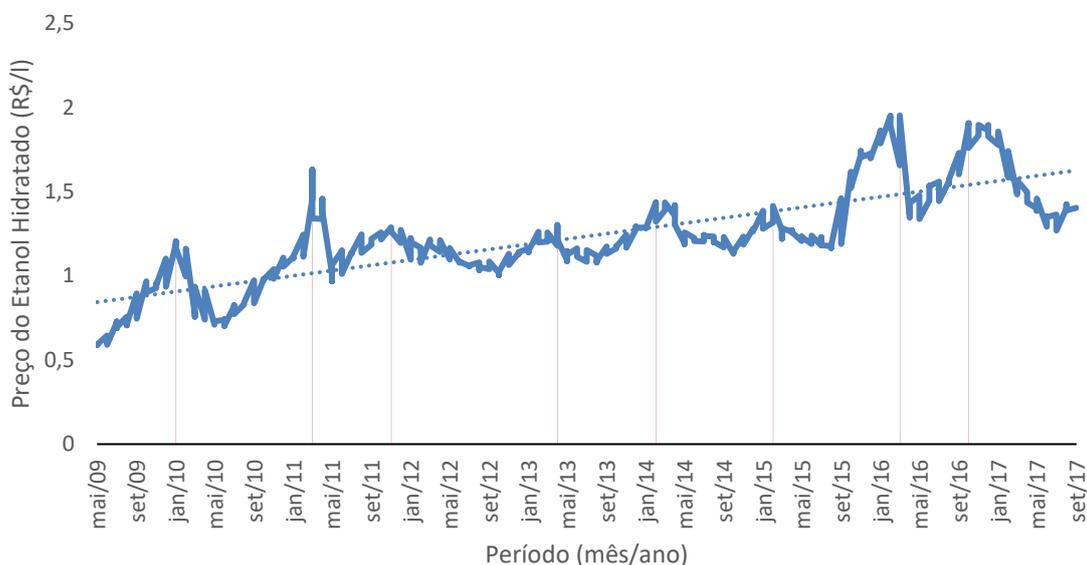
Fonte: Adaptado de GRIPPA (2012)

### 3.2 Viabilidade econômica

A entressafra da cana-de-açúcar é compreendida de dezembro a abril. Assim é compreendida também neste período uma drástica redução da produção de etanol, pela impossibilidade de armazenamento da cana-de-açúcar, por ser um material perecível. Neste período, tem-se uma alta nos preços deste biocombustível, devido as leis de oferta e demanda, como demonstrado por MILANEZ et al. (2014). No gráfico 1 podemos verificar a flutuação das cotações do etanol ao longo dos anos, considerando o preço na usina sem impostos e frete. Nele percebe-se que os meses de maior cotação são geralmente compreendidos entre dezembro a março, salvo exceções de comportamentos específicos em alguns anos safra. Assim, tomamos como base os meses de dezembro a

março para produção de etanol de milho, aproveitando a baixa oferta deste produto no mercado, utilizando o milho como matéria-prima complementar a cana-de-açúcar.

Gráfico 1: Flutuação dos preços do etanol entre 2009 e 2017



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do CEPEA (2017).

Considerando o melhor cenário de adaptação da usina, ou seja, no estado do Mato Grosso, o valor presente líquido ao final de 10 anos apresentou valor de R\$ 86.525.696,13 de reais, demonstrando um valor muito significativo para usina. Esta viabilidade fica comprovada pela taxa interna de retorno do investimento, que foi 51,43 %, um retorno alto e atrativo para investidores do projeto. Dado estas informações podemos avaliar o rápido retorno do investimento inicial, sendo neste caso todos os custos de implantação são pagos no terceiro ano. Logo após o segundo mês de funcionamento no terceiro ano a usina já começa a ter saldo acumulado positivo em seu caixa.

Para adaptar a usina foi necessário o investimento de R\$ 31.605.597,87, com gasto em equipamentos, terraplanagem e galpões. Nesta adaptação foi considerado deste o setor de recepção do grão até a etapa que coincide com a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, ou seja, nas dornas de fermentação do mosto. No quadro 1 estão descritos os investimentos necessários para adaptação da usina e na tabela 2 o investimento total em cada estado. O investimento total corresponde a soma do investimento fixos com o investimento de capital de giro, assim essa reserva será diferente para cada cenário, pois como há variação do custo do milho, haverá também variação na necessidade de reserva de capital de giro para cada estado.

Quadro 1. Equipamentos necessários para adaptação da planta, seus respectivos preços e setores pertencentes.

Setor	*Equipamentos	Custo (R\$)
-------	---------------	-------------

Recepção de grãos	Sistema para descarregamento de caminhões; sistema de pré-limpeza dos grãos; Coletor de amostras; Desenrolador de caminhões; Sistemas de transporte do grão; Silo.	2.079.696,0
Cozimento e moagem	Sistemas de transporte dos produtos; Silo metálico elevado; Moinho de martelos; Tanque de hidrólise; Trocador de calor; Motobomba.	6.003.750,0
Separação e recuperação	Tridecanter; Secador; Flotador.	13.000.000,0
Obras e infraestrutura	Terraplanagem; Construções; Ruas; Parte elétrica; Tubulações; Projeto engenharia; Transporte e instalação de equipamentos; Pintura e isolamento	9.508.267,6
Controle de qualidade	Instrumentação	1.013.884,27
Total		31.605.597,87

Fonte: Elaborado pelos autores segundo orçamento com empresas dos setores.

\*Adaptado de GRIPPA, 2012 & CANOVA, 2011.

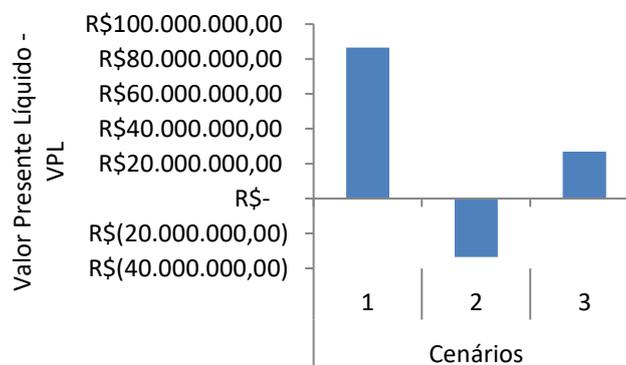
Tabela 2: Investimento total nos três estados

	<b>Mato Grosso (cenário 1)</b>	<b>Paraná (cenário 3)</b>	<b>São Paulo (cenário 2)</b>
<b>Investimento total</b>	R\$ 44.294.465,43	R\$ 46.471.158,63	R\$ 48.647.851,83

Fonte: Elaborado pelos autores

Considerando o período de atuação da usina flex com milho de dezembro a março para os três cenários, obteve-se o Gráfico 2 da variação do VPL da usina em função da variação do preço do milho (cenários).

Gráfico 2: VPL da Usina em 3 cenários em função da variação do preço do milho.



Fonte: Elaborado pelos autores

A variação da cotação do milho do cenário 3 com os demais cenários foi de R\$ 0,10 por quilograma de matéria-prima, enquanto que do cenário 1 com o 2 foi de R\$ 0,20. Estes cenários comprovam a influência do custo deste insumo na produção, sendo

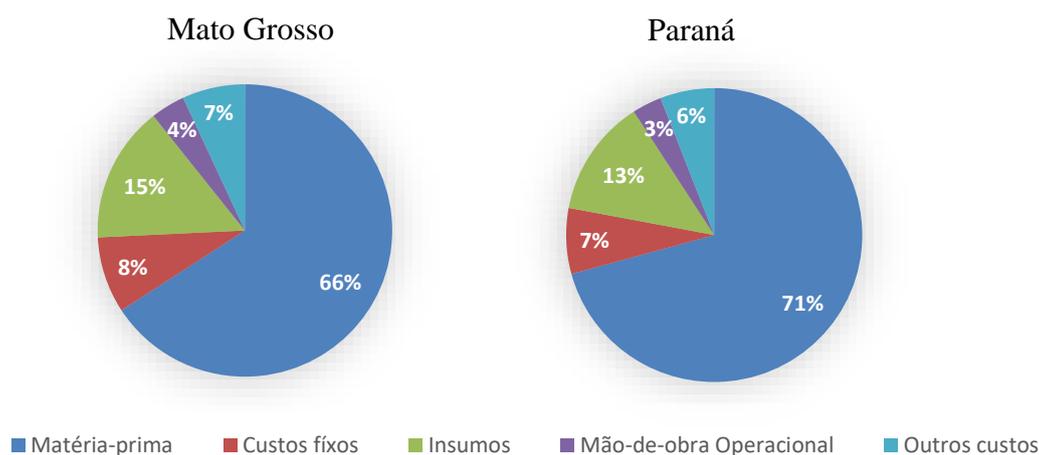
a variável mais sensível do projeto. Quando analisado no estado de São Paulo o projeto se torna economicamente inviável, dado seu VPL negativo e o custo de produção do litro de etanol ser R\$ 1,49; enquanto que no Mato Grosso o custo de produção corresponde a R\$ 0,97 por litro de biocombustível e no Paraná o custo de R\$ 1,23. Podemos observar no Gráfico 3 a composição do custo de produção de etanol no Mato Grosso e no Paraná. No cenário do Paraná seu VPL foi inferior ao do Mato Grosso, no entanto apresenta positivo e viável economicamente, confirmado pelos demais indicadores. Abaixo segue na Tabela 3 a comparação de indicadores econômicos entre os cenários viáveis 1 e 3.

Tabela 3: Índices econômicos dos cenários 1 e 3

Índices	Cenário 1	Cenário 3
<b>VPL</b>	R\$ 86.525.696,13	R\$ 26.810.013,87
<b>TIR</b>	51,43 %	23,39 %
<b>TRC</b>	2,15 anos	4,16 anos

Fonte: Elaborado pelos autores

Gráfico 3: Composição dos custos de produção da usina nos cenários 1 e 3



Fonte: Elaborado pelos autores

Como verificado na Tabela 3 a TIR do projeto instalado no estado de Mato Grosso é mais atrativa do que a do Paraná, sendo seus valores correspondentes a 51,43 % e 23,39 % respectivamente. Assim, o cenário 1 é o mais atrativo, sendo o estado do Mato Grosso a melhor opção para adaptação de uma usina comum de etanol em usina flex.

Tomando como base o cenário mais atrativo (cenário 1), realizou-se uma análise de sensibilidade para o preço do etanol e outra para o custo do milho. Quando fixado o preço do milho em R\$ 0,39 (CEPEA, 2017), é possível realizar uma redução de 43,94% do preço do etanol (R\$ 1,11 por litro) e mesmo assim o projeto ainda apresenta VPL positivo, e a partir deste valor a retração de R\$ 0,01 no preço do etanol já torna o projeto economicamente inviável (cenários 1A e 1B da Tabela 4).

Tabela 4: Indicadores financeiros em função da variação do preço do etanol

	<b>Cenário 1A</b>	<b>Cenário 1B</b>
<b>Preço do etanol (R\$/l)</b>	1,10	1,11
<b>VPL (R\$)</b>	- 1.293.858,79	901.630,08
<b>TIR (%)</b>	9,54	10,74
<b>Custo de produção do etanol (R\$)</b>	0,97	0,97

Fonte: Elaborado pelos autores

Quando fixado o preço do etanol em R\$ 1,98 sem impostos e frete (CEPEA, 2017), é possível realizar um aumento de 82,05% do preço do milho (R\$ 0,71 por Kg) que mesmo assim o projeto ainda apresenta VPL positivo, e a partir deste valor o aumento de R\$ 0,01 na matéria-prima já torna o projeto economicamente inviável (cenários 1C e 1D da Tabela 5).

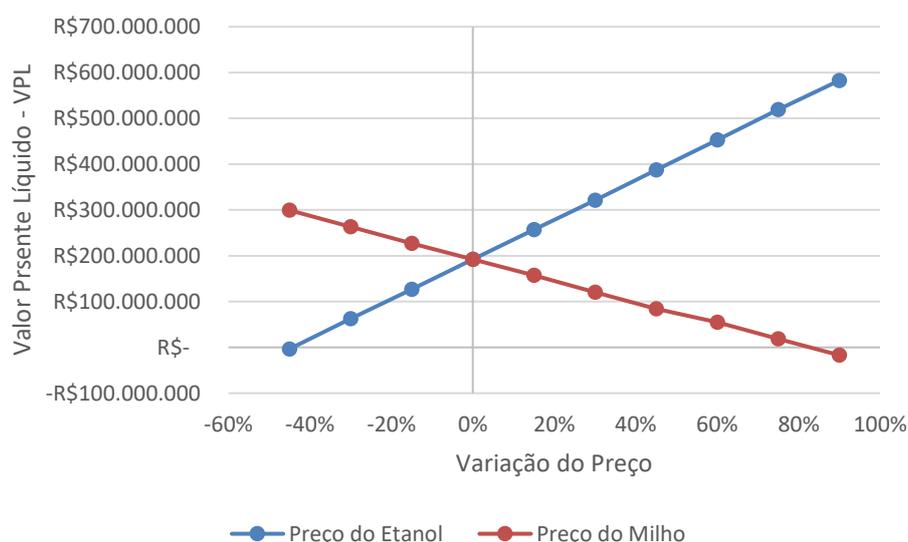
Tabela 5: Indicadores financeiros em função da variação do preço do milho

	<b>Cenário 1C</b>	<b>Cenário 1D</b>
<b>Preço do milho (R\$/Kg)</b>	0,71	0,72
<b>VPL (R\$)</b>	818.978,80	-5.152.589,42
<b>TIR (%)</b>	10,65	7,70
<b>Custo de produção do etanol (R\$)</b>	1,81	1,84

Fonte: Elaborado pelos autores

Estas análises permitem verificar que mesmo com a variabilidade de preço do produto final e da matéria-prima, o projeto ainda consolida a sua viabilidade de implantação em regiões de grande produção de milho, reduzindo os riscos de operação da usina flex e aumentando a confiabilidade de adaptação. No Gráfico 4 pode-se verificar a variação do VPL em função da variação do preço do etanol e do milho.

Gráfico 4: Variação do VPL em função da variação do preço do etanol e do milho.



Fonte: Elaborado pelos autores

Considerando o estado do Mato Grosso, maior produtor de milho do país e que neste estudo apresentou melhor cenário para adaptação da usina flex, seriam necessários 18.966 hectares cultivados com milho por ano. Para este número foi considerado a

produtividade média do estado, que segundo a CONAB (2017) é em torno de 5.691 Kg de grão por hectare.

A viabilidade da produção de etanol de milho nos Estados Unidos pode ser associada a grande produção deste cereal no país, com níveis superiores ao Brasil tanto em área cultivada como em produtividade (USDA, 2017). Essa alta produção estimula a produção de etanol com esta matéria-prima. Em um mesmo período anual de atuação deste projeto, a média do preço do litro de etanol dos dois últimos anos (2015/2016 e 2016/2017), foi de U\$ 0,37 nos Estado Unidos, enquanto no Brasil foi de U\$ 0,49. Enquanto isso o preço do milho nos estados Unidos foi de U\$ 0,13 o Kg e no Brasil de U\$ 0,19 na BM&FBOVESPA, se considerado a média do estado do Mato Grosso, este valor cai para U\$ 0,12 por Kg (CEPEA, 2017 & HOFSTRAND, 2017). Informação esta que indica que estado do Mato Grosso tem potencial para este tipo de iniciativa.

#### 4. CONCLUSÃO

Com os dados apresentados podemos concluir que é viável a utilização do milho como matéria-prima complementar a cana-de-açúcar para produção de etanol, como melhor alternativa para seu uso na entressafra da cana-de-açúcar, definida no Centro-Sul brasileiro. O aspecto importante a se considerar é o preço do milho, variável mais sensível do projeto, assim a usina se torna viável em regiões com grande produção deste cereal, onde a maior viabilidade encontrada no estudo realizado foi a do estado do Mato Grosso. Os estados com pouca produção desse grão, com maior custo de produção ou maior preço definido pela maior demanda de mercado tornam o projeto menos atrativo ou inviável.

#### 5. REFERÊNCIAS:

- ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**, Rio de Janeiro, RJ, 2017. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/anuario-estatistico/3819-anuario-estatistico-2017>>. Acesso em: 30 Ago. 2017.
- BARROS, T. D. **Árvore do Conhecimento – Agroenergia: Milho. Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn102wx5eo0sawqe3djg2152.html>>. Acesso em: 27 Ago. 2017.
- CANOVA, M. D. **Biocombustíveis: Análise de viabilidade econômica da implantação de microdestilarias de etanol no Rio Grande do Sul**. 2011. 62 f. Monografia (Trabalho de Diplomação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.
- CEPEA. **Indicador Semanal do Etanol Hidratado combustível**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/etanol.aspx>>. Acesso em 02 Out. 2017.
- CINELLI, B. A. **Produção de etanol a partir da fermentação simultânea à hidrólise do amido granular de resíduo agroindustrial**. 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado em engenharia química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2012.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar**. Safra 2016/17, v.2, N.3, Dez. 2016. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_12\\_27\\_16\\_30\\_01\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-3o\\_lev\\_-\\_16-17.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_12_27_16_30_01_boletim_cana_portugues_-3o_lev_-_16-17.pdf)>. Acesso em: 30 ago. 2017.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar**, safra 2016/2017, v. 3, n.4, Abr. 2017. Disponível em: <

[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_04\\_19\\_11\\_27\\_36\\_boletim\\_ca\\_na\\_portugues\\_-\\_4o\\_lev\\_-\\_16-17.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_19_11_27_36_boletim_ca_na_portugues_-_4o_lev_-_16-17.pdf)>. Acesso em: 14 Ago. 2017.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: grãos**, safra 2016/2017, v. 4, n.5, Fev. 2017. Disponível em [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_02\\_09\\_09\\_00\\_14\\_boletim\\_graos\\_fevereiro\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_02_09_09_00_14_boletim_graos_fevereiro_2017.pdf)>. Acesso em: 30 Ago. 2017.

ECKERT, C. T. **Avaliação da Produção de Etanol a Partir de Distintos Híbridos de Milho na Região Oeste do Paraná**. 2016. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2016.

GOMES, A. C. A.; JÚNIOR, A. G. S.; MIRANDA, M. S.; PEREZ, R. Estudo da viabilidade econômico-financeira de implantação de indústria de extração de óleo de pinhão-manso. **4º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. 7º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel**. Belo Horizonte, MG, Out. 2010. Disponível em: <<http://ccbioenergia.com.br/wp-content/uploads/2014/04/Estudo-da-viabilidade-econ%C3%B4mico-financeira-de-implanta%C3%A7%C3%A3o-de-ind%C3%A1stria-de.pdf>>. Acesso em: 25 Ago. 2017.

GRIPPA, M. J. C. **Planta Flex no Mato Grosso**. 2012. 63 f. Monografia (Trabalho de Pós-graduação MBA – Gestão do Agronegócio) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012

HOFSTRAND, D. Ethanol Profitability. Iowa State University: Extension and Outreach. Disponível em: <<https://www.extension.iastate.edu/agdm/energy/xls/d1-10ethanolprofitability.xlsx>>. Acesso em: 01 Nov. 2017.

KIM, y.; MOSIER, N. S.; HENDRICKSON, R.; EZEJI, T.; BLASCHEK, H.; DIEN, B.; COTTA, M.; DALE, B.; LADISCH. Composition of corn dry-grind ethanol by-products: DDGS, wet cake, and thin stillage. **Bioresource Technology**, Vol. 99, p. 5165-5176, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852407007730?via%3Dihub>>. Acesso em 28 ago. 2017.

MANOCHIO, C. **Produção de bioetanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos**. Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas-MG. 2014.

MARQUES, S. J. P.; CUNHA, M. E. T. **Produção de Álcool Combustível utilizando milho**. UNOPAR, 2008.

MASIERO, S. S. **Microusinas de Etanol de Batata-Doce: Viabilidade Econômica e Técnica**. 2012. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; VALENTE, M. S.; XAVIER, C. E. O.; KULAY, L. A.; DONKE, C. G.; MATSUURA, M. L. S. F.; RAMOS, N. P.; MORANDI, M. A. B.; BONOMI, A.; CAPITANI, D. H. D.; CHAGAS, M. F.; CAVALETT, O.; GOUVÊIA, V. L. R. 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**, v. 41, p. 147-208, jun. 2014. Disponível em:<[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2496/1/RB%2041%20A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20etanol\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2496/1/RB%2041%20A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20etanol_P.pdf)>. Acesso em: 30 de ago. 2017.

OLIVEIRA, T. V.; PEREZ, R.; JÚNIOR, A. G. S.; TEIXEIRA, M. M. Análise de viabilidade econômica financeira de unidade de extração de óleo de mamona e girassol com capacidade de 20TPD no Norte de Minas Gerais. **4º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. 7º Congresso Brasileiro de Plantas**

**Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel.** Belo Horizonte, MG, Out. 2010. Disponível em: <<http://ccbioenergia.com.br/wp-content/uploads/2014/04/An%C3%A1lise-de-viabilidade-econ%C3%B4mica-financeira-de-unidade-de-extra%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%B3leo-de1.pdf>>. Acesso em: 25 Ago. 2017.

SCHUTTE, A. F. D.; MOTTA, G. L. S.; CARVALHO, L. C.; LEAL, M. A. J.; OLIVEIRA, M. I. L.; SOARES, P. B.; COSTA, P. R. M. F.; SANT'ANA, M. C.; ROCHA, M. E. G.; GOMIDE, R. B. **Boletim dos Biocombustíveis.** Ministério de Minas e Energia, Departamento de Biocombustíveis, Ed. 108, Mar./Abr. 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/publicacoes>>. Acesso em: 24 Ago. 2017.

USDA. **United States Department of Agriculture: Foreign Agricultural Service.** Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdquery.aspx>>. Acesso em: 15 Set. 2017.

## 6. ANEXO:

Tabela 6: Custo anual do milho por estado/cenário

<b>Custo do milho</b>	<b>Total Anual</b>
São Paulo	R\$ 63.681.768,00
Paraná	R\$ 52.888.248,00
Mato Grosso	R\$ 42.094.728,00

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 7: Custo de produção anual

<b>Custos de Produção</b>	<b>Total Anual</b>
Enzimas, levedura, antibióticos, nutrientes, NaOH e H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	R\$ 3.020.544,00
Bagaço de cana e lenha	R\$ 2.166.912,00
Água	R\$ 1.098.230,40
Energia elétrica	R\$ 3.361.176,00
Mão-de-obra	R\$ 2.421.360,00
Impostos	R\$ 4.409.665,92
Depreciação de equipamentos e obras civis	R\$ 2.981.333,09
Manutenções e despesas administrativas	R\$ 2.421.360,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 21.880.581,41</b>

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 8: Capital de giro

<b>Capital de Giro</b>	
Matéria-Prima	R\$ 1.052.368,20
Insumos	R\$ 562.733,64
Produtos Acabados	R\$ 5.331.275,78
Vendas a Prazo	R\$ 5.331.275,78
Reserva de Caixa	R\$ 639.753,09
<b>Total</b>	<b>R\$ 12.917.406,49</b>

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 9: Receita bruta anual

<b>Receita Bruta</b>	<b>Total Anual</b>
Etanol hidratado	R\$ 61.560.000,00
DDGS	R\$ 21.976.920,00
Óleo	R\$ 2.269.512,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 85.806.432,00</b>

Fonte: Elaborado pelos autores