

## Otimização do custo de extração de óleos vegetais em ambiente de agricultura familiar em Mato Grosso

Recebimento dos originais: 14/10/2016  
Aceitação para publicação: 10/08/2018

### **Adauto Farias Bueno**

Doutorando em Engenharia de Produção (PPGEP/UFSCar)  
Instituição: Universidade do Estado de Mato Grosso  
Endereço: Rua A, S/N, Bairro São Raimundo,  
Barra do Bugres-MT, CEP 78.390-000, Brasil  
E-mail: [adauto.bueno@unemat.br](mailto:adauto.bueno@unemat.br)

### **Diego Piasson**

Doutor em Engenharia Elétrica (PPGEE/UNESP)  
Instituição: Universidade do Estado de Mato Grosso  
Endereço: Endereço: Rua A, S/N, Bairro São Raimundo,  
Barra do Bugres-MT, CEP 78.390-000, Brasil  
E-mail: [diegopiasson@yahoo.com.br](mailto:diegopiasson@yahoo.com.br)

### **Ruben Francisco Gauto**

Mestre em Tecnologia e Ciência de Alimentos (PPGCTA/IFMT)  
Instituição: Universidade do Estado de Mato Grosso  
Endereço: Endereço: Rua A, S/N, Bairro São Raimundo,  
Barra do Bugres-MT, CEP 78.390-000, Brasil  
E-mail: [rubenfgauto@unemat.br](mailto:rubenfgauto@unemat.br)

### **Resumo**

O presente estudo aplica a política de ciclo rotacional (T) de Johnson e Montgomery (1974) adaptada por Fernandes e Godinho Filho (2010) para um problema de sequenciamento e dimensionamento de bateladas de óleos de multimatérias-primas (estágio único) com processo de extração em ambiente de agricultura familiar. Especificamente, a pesquisa emprega o procedimento técnico de modelagem e simulação para derivar o custo total mínimo do processo. Utiliza-se ainda o procedimento de pesquisa documental para geração de um perfil da agricultura familiar como agente de suprimento na cadeia do biodiesel brasileiro e determinação dos parâmetros do modelo. Os resultados foram obtidos através dos softwares Wolfram Mathematica 10.1e apresentam um cenário de grandes dificuldades para a agricultura familiar na cadeia de suprimentos do biodiesel, mas ao mesmo tempo oportunidades em cadeias de maior valor agregado, como por exemplo, a de comésticos e fármacos. A minimização do custo total incremental anual (CITA) foi obtida sob a produção de duas sequências de bateladas de quatro tipos de óleos, em um ano.

**Palavras-chave:** Custos. Óleos. Agricultura Familiar. Biodiesel. Suprimentos.

### **1. Introdução**

A utilização do biodiesel como substituto do combustível fóssil é cada vez maior em todo o Mundo. Por ser biodegradável, não tóxico e praticamente livre de enxofre e aromáticos

esse tipo de energia é uma alternativa ecológica de queima limpa em função do seu baixo grau de poluição (CREMONEZ et al., 2015).

O biodiesel foi introduzido na matriz energética brasileira pela Lei 11.097 do ano de 2005, através da criação do Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB). O PNPB constituiu-se uma iniciativa governamental com o intuito de fomentar a produção desse tipo de energia alternativa, mas também estimular e gerar renda no campo (BRASIL, 2015c; BRASIL, 2015b; RODRIGUES, 2006).

Devido a um conjunto de fatores históricos, tecnológicos, econômicos e sociais, atualmente o biodiesel produzido no Brasil usa em grande parte, óleos processados de matérias-primas derivadas de plantas oleaginosas, principalmente a soja.

A soja se apresenta como importante componente da base alimentar de várias populações no Mundo e isso causa um efeito, ainda impreciso sobre a competição da oferta de alimentos com a oferta energética. Porém, Van Gerpen *et al.* (2005), Knothe (2005), Hanna, Isom e Cambpell (2005) destacam a existência de inúmeras alternativas tecnológicas sustentáveis em relação ao dual energia-alimento, em que as duas ofertas podem co-existir de forma equilibrada.

No Brasil, a regulamentação do setor de biodiesel exige que as biorrefinarias produtoras sejam supridas com parte do volume de óleos advindos de matérias-primas com origem na agricultura familiar. Diante desse contexto, a produção de oleaginosas e a própria agricultura familiar no País se apresentam complexas e com uma alta variedade de produtos, problemas e oportunidades de negócios (COLARES, 2008).

Quanto ao estado da arte e *gaps* de pesquisas, as revisões de Serra e Zilberman (2013), Koçar e Civaş (2013), Lark, Salmon e Gibbs (2015) fazem proposições diversas de uma agenda futura no assunto, apontando para necessidades de pesquisas como, por exemplo, *i*) o desenvolvimento de novas fontes para produção de biodiesel no Mundo, *ii*) a necessidade de investigação das relações entre preços da energia, alimentos, agricultura e biodiesel, ressaltando ainda a observância a contextos locais nos estudos futuros, como o do Brasil, Turquia, México, Índia, Estados Unidos, entre outros grandes produtores de biodiesel.

Esses trabalhos de revisões corroboram assim para a relevância teórica do presente estudo de estudar impactos da aplicação de uma ferramenta de gestão (minimização de custos) de produção e o papel da agricultura familiar no contexto brasileiro da cadeia de suprimentos do biodiesel. A cadeia de suprimentos do biodiesel brasileira é uma das mais representativas do Mundo.

Quanto relevância prática da pesquisa, o trabalho de Florin, van de Vem e van Ittersum (2014) enfatiza que as abordagens políticas e o desenho de sistemas de produção de biocombustíveis que se esforcem por envolver e beneficiar diretamente pequenos agricultores devem considerar a diversidade entre os agricultores, abordar as restrições dos mesmos em conformidade com um ambiente sustentável em termos produtivos, econômicos e sociais. Sendo assim, a sustentabilidade de forma ampla, pode ser derivada de uma atividade produtiva robusta, com custos mínimos e uso ótimo de fatores produtivos locais, foco da presente abordagem. Integrando a agricultura familiar à cadeias de suprimentos exigentes.

O objetivo desse trabalho é: *i*) Detalhar o perfil da agricultura familiar em Mato Grosso, enquanto papel de fornecedora de óleo na cadeia de suprimentos do Biodiesel; *ii*) Modelar um problema de dimensionamento de lotes (*lot sizing*) e programação da produção destes lotes (especificamente o sequenciamento e minimização de custos do processo) no ambiente de extração de óleo pela agricultura familiar; *iii*) Analisar os problemas, o potencial de competitividade e inserção da agricultura familiar na cadeia do biodiesel em Mato Grosso em função do impacto da minimização de custo através do modelo de programação da produção desenvolvido.

## 2. Custos Operacionais

A abordagem de custo assumida no presente artigo é a de Martins (2011) de custo padrão, ou seja, direto (variável), por processo (atividade de extração de óleo) e preço de insumos por reposição. O custo padrão consiste na obtenção de valores padrões de custos, a partir dos parâmetros (coeficientes técnicos) de produção necessários à fabricação de uma unidade de produto. A quantificação dos materiais é feita levando em consideração as perdas e quebras do processo.

Costa, Ferreira e Saraiva Júnior (2010) relacionam de forma generalizada a definição de custo como “sacrifícios” incorridos, quando se produz ou se se apropria de algo. A natureza do sacrifício pode assumir muitas formas, como dinheiro, bens, renda, segurança, prestígio, entre outros. Em sentido estritamente financeiro, o custo é a tradução monetária dos sacrifícios necessários consumidos na realização de bens e serviços.

Na perspectiva de objeto de custeio, Scramim e Batalha (2011), definem o custo em um empresa, como o total de recursos financeiros, humanos e tecnológicos, medidos em termos monetários, utilizados ou consumidos para atingir um objetivo específico, normalmente

relacionado aos *outputs* da função produção, como bens e serviços.

Os custos operacionais ou de produção são divididos em grande parte da literatura especializada (Yanase, 2018; Martins, 2011) em custos diretos e indiretos. No âmbito industrial são os seguintes: *i*) Custos de inventários; *ii*) Custos de mão-de-obra, e; *iii*) Custos industriais indiretos.

De acordo com Ferreira (2007) a função produção através da estrutura organizacional se supre de matérias-primas, insumos, materiais e componentes e os convertem através de processos em diferentes tipos de produtos. Isso implica em gerenciar e operar um ou mais tipos de estoques, como o de matérias-primas, *work in process* (WIP), e produto final.

Já os custos com mão-de-obra direta incluem salários e encargos, sendo a apropriação no produto, do valor pago ao fator de trabalho produtivo, podendo ser medido e identificado por produto. Por fim, o custo industrial indireto diz respeito a todos os custos considerados parte do produto final, porém não podem ser medidos e identificados especificamente para determinado produto, por exemplo, manutenção de equipamentos (FERREIRA, 2007).

O presente trabalho estima os três tipos de custos de inventário apresentados por Yanase (2018) para assumí-los como parâmetros do modelo utilizado, além disso estima o custo de mão-de-obra adicionando a estimativa de encargos. Como custo indireto, estima o custo de *setup* e o custo energético associado ao processo operacional. Essas estimativas são apresentadas no tópico coleta de dados.

### **3. Um Breve Cenário da Produção do Biodiesel no Brasil e no Estado de Mato Grosso**

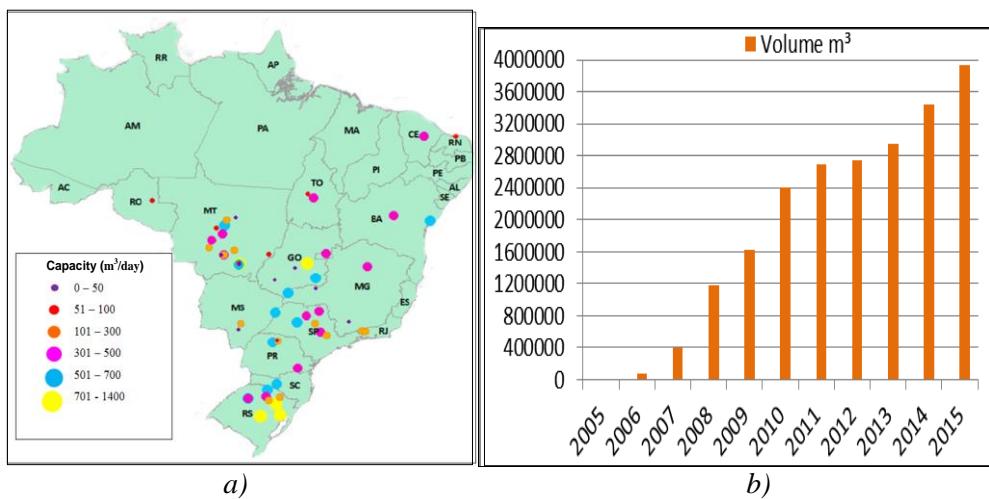
No mundo inteiro, o uso de biodiesel como combustível tem se mostrado promissor, principalmente porque quando comparado com o uso de combustíveis fósseis, sua utilização minimiza a emissão de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) em aproximadamente 78,5%, de Dióxido de Enxofre (SO<sub>x</sub>) em 8%, de hidrocarbonetos lançados ao meio-ambiente em 37% e consequentemente pode melhorar qualitativa e quantitativa os níveis de poluição ambiental (FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005; SHEEHAN *et al.*, 1998).

Os impactos comercial, ambiental, social e econômico do biodiesel fizeram com que na última década houvesse um crescimento setorial no Brasil (BRASIL, 2015a).

Em função das políticas públicas e cenários de aumento da demanda energética, houve significativa elevação da produção do setor nos últimos 10 anos, como pode ser observado nos boletins emitidos pela Agência Nacional do Petróleo do Brasil (ANP) (BRASIL, 2015d).

Pontualmente, o Boletim Mensal de Fev. 2016 apresenta um cenário onde o país é o segundo maior produtor de biodiesel do mundo (Estados Unidos é o primeiro), contando com 52 plantas autorizadas, distribuídas territorialmente de acordo com a Figura 1-a). A capacidade de produção nominal em 2015 foi de 7.306 mil m<sup>3</sup> e a produção real de 3,94 bilhões de litros (BRASIL, 2015d).

De 2005 (início do PNBP) à 2015, a produção de biodiesel aumentou cerca de 5.306 vezes, conforme Figura 01-b). Os níveis de produção continuaram aumentando ao longo dos anos, impulsionados, entre outros fatores, principalmente pelos incentivos governamentais, tais como a obrigatoriedade da adição do biodiesel ao óleo diesel em 2%, 5% e, por último, 7% em 2015 (BRASIL 2015d).



**Figura 1: a) Localização/faixas de capacidade de produção de biodiesel no Brasil: 2015; b) Evolução do volume de biodiesel produzido no Brasil: 2005-2014**

Fonte: Brasil (2015d).

O estado de Mato Grosso, em 2015, deteve o maior número de usinas de biodiesel do Brasil e foi o segundo maior produtor em volume. No ano de ínicio do PNBP, em 2005, não houve produção no estado. Em 2006 foram produzidos apenas 13 m<sup>3</sup>. A partir de então, a produção cresceu consideravelmente até 2010, quando processou um total de 573.076 m<sup>3</sup> de biodiesel (BRASIL, 2015d).

Porém, nos anos de 2011 à 2013, os níveis de produção baixaram até chegar à 422.085 m<sup>3</sup>. Isso pode ter ocorrido devido à questões agrícolas, pois o estado é um dos maiores produtores da principal matéria-prima para óleo no processo do biodiesel, a soja, e elevações no preço dessa *commodity*, dentre outros fatores de demanda e oferta afetam diretamente a viabilidade econômica da produção de biodiesel. Em 2014 e 2015, a produção em Mato

Grosso voltou a crescer, atingindo os patamares de 611.108 m<sup>3</sup> e 845.671 m<sup>3</sup>, respectivamente.

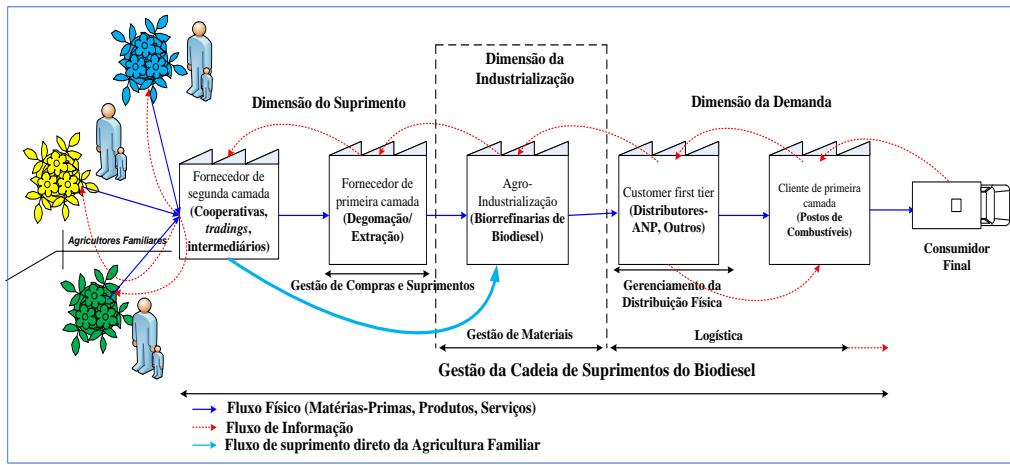
#### 4. A Cadeia de Suprimentos do Biodiesel

Mentzer *et al.* (2001), Pires (2009) e Christopher (2016) se alinham em definir cadeia de suprimentos como o conjunto de três ou mais entidades envolvidas no fluxo a montante ou a jusante de produtos, serviços, finanças e de informações, da matéria-prima até o consumidor final.

Para efeito de classificação e identificação das operações e gestão desempenhadas pela agricultura familiar na cadeia do biodiesel, optou-se no presente estudo, pela adoção e adaptação da visão dimensional da cadeia de suprimentos apresentada na Figura 2, detalhada em Slack, Brandons-Jhones e Jonhston (2013).

Uma visão por dimensões da cadeia de suprimentos define claramente os processos envolvidos e os responsáveis por cada processo (SLACK, BRANDON-JHONES; JOHNSTON, 2013). As três dimensões são: *i*) Distribuição: Interface entre o cliente e o varejista, envolvendo todos os processos diretamente ligados ao recebimento e atendimento ao pedido do cliente e interface entre o varejista e distribuidor, que envolve todos os processos de reabastecimento do varejista; *ii*) Industrialização: Ocorre na interface entre o distribuidor (ou varejista) e o fabricante, evolvendo os processos de reposição dos estoques; *iii*) Suprimento: Ocorre na interface entre o fabricante e o fornecedor, incluindo todos os processos necessários para que a matéria-prima chegue até o fabricante sem atrasos.

A dimensão do suprimento e sua interface com a industrialização concentra o contexto ambiental de investigação da presente pesquisa.



**Figura 2:**

**Cadeia de suprimentos do biodiesel**

Fonte: Adaptado de Slack, Brandon-Jhones e Johnston (2013).

#### 4.1 Dimensão do suprimento: a agricultura familiar e seu papel na cadeia de suprimentos do biodiesel no Brasil

As matérias-primas transformadas em óleo e em sequência os óleos processados em biodiesel são no Brasil, cerca de 80%, oriundas da agricultura patronal moderna. Este tipo de agricultura produz monoculturas, entre elas a soja, através de alta escala de investimentos, recursos e volume de produção, (BRASIL, 2015c).

Por outro lado, a agricultura familiar no Brasil, baseada grande parte em pequenas propriedades e com certa variedade de culturas, responde com uma pequena parcela, entre 15 e 20% do insumo de matérias-primas para transformação em óleo, através de diversas oleaginosas, se destacando a soja na região Sul, a mamona na região Nordeste e a palma na região Norte. O volume comercializado pela agricultura familiar em 2014 foi cerca de 3.033,29 mil toneladas, representando um valor de R\$3.252,82 milhões (BRASIL, 2015c).

Devido à origem e enquadramento familiar, as oleaginosas são compradas e processadas pelas esmagadoras que repassam o óleo derivado às biorrefinarias de biodiesel, que por sua vez, para atenderem a um requisito legal, compram o óleo com certificação de origem familiar, especialmente via mecanismo denominado Selo Biodiesel Combustível Social (BRASIL, 2015c; STATTMAN; MOL; 2014; BRASIL, 2015d).

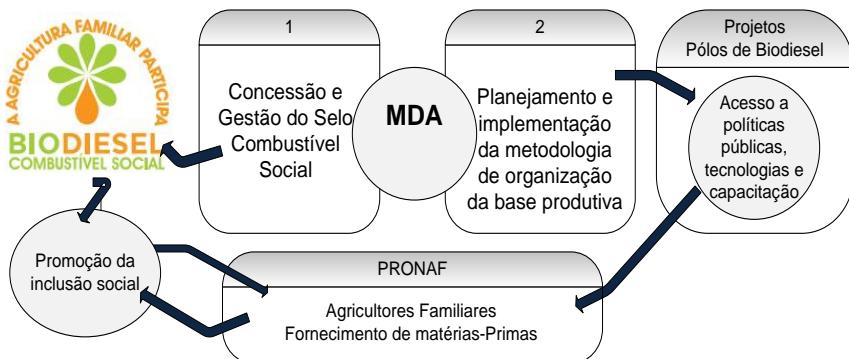
Desde 2004, o PNPB procurou operacionalizar dois objetivos principais: *i*) Introduzir o biodiesel como combustível na matriz de transportes do Brasil, e; *ii*) Promover a inclusão social de agricultores familiares de pequena escala, através da sua participação na cadeia de

suprimentos do biodiesel nas regiões mais pobres do país, objetivo este que não obteve pleno sucesso (BRASIL; 2015c).

O Ministério do Desenvolvimento Agrário do Brasil (MDA) concede e gerencia o Selo Biodiesel Combustível Social às biorrefinarias. Sem a detenção do selo, uma usina não possui acesso aos leilões primários, apenas em leilões de ajuste do volume remanescente demandado pela estatal Petrobras.

Por outro lado, o MDA ainda tem o papel de organizar e orientar as unidades baseadas na agricultura familiar sobre formas de acesso, uso e gestão dos créditos disponíveis pelo Programa Nacional de Fortalecimento da Agropecuária Familiar (PRONAF), além do fomento de políticas, tecnologias e polos de produção de biodiesel com base em suprimentos da agricultura familiar (BRASIL, 2015c).

Na Figura 3 é apresentado um fluxograma das relações do Selo Biodiesel Combustível Social nas relações entre agricultores familiares, MDA e usinas de biodiesel.



**Figura 3: Estrutura de relações para a agricultura familiar no âmbito do Selo Biodiesel Combustível Social**  
Fonte: BRASIL (2014).

Segundo o Relatório Repórter Brasil (2014), os empregos gerados pela cadeia de suprimentos do biodiesel correspondem, somente no âmbito da agricultura familiar e do Selo Combustível Social, a um total de 73.479 famílias fornecedoras. O cultivo da soja no sistema familiar emprega um trabalhador a cada 10 hectares (ha), enquanto que para o sistema empresarial/patronal é empregado um trabalhador a cada 100 ha (BRASIL, 2014).

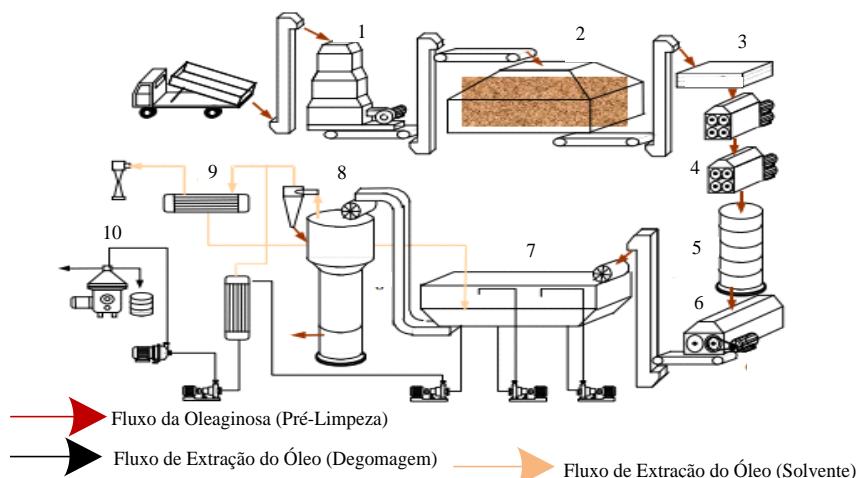
#### 4.2. A dimensão da agro-industrialização (1<sup>a</sup> camada) - degomação, extração e neutralização do óleo bruto

As *operações 1 à 4* de preparação da degomação na Figura 04 são necessárias para que se obtenha a eficiência projetada na extração, seja na agroindústria de extração familiar/cooperativada, quanto nas esmagadoras industriais.

Essas operações são ilustradas na Figura 4 e são operações genéricas, sendo comuns a processos que utilizam métodos de extração contínua por solvente, hidráulica (*expeller*) e mecânica (nesse caso a operação de cozimento caracteriza a *operação 5*).

A *operação 5* é a de condicionamento, enquanto a *operação 6* é a laminação e Trituração. A *operação 7*, extração. As *operações 8, dessolventização e tostagem* e a *operação 9, destilação*.

As operações de 5 em diante não são possíveis em ambientes de baixo nível tecnológico. Por fim, a *operação 10* consiste na degomagem. O detalhamento das operações dessa parte da agro-industrialização são explicitadas em Dorsa (2000) e em Mandarino e Roessing (2001).



**Figura 4: Pré-Processamento e Degomação de oleaginosas.**  
Fonte: Adaptado Dorsa (2000).

#### 4.3. A dimensão da agro-industrialização (2<sup>a</sup> camada): o processo de produção do biodiesel

O processo produtivo do biodiesel exige algumas etapas que podem ser visualizadas na Figura 5.

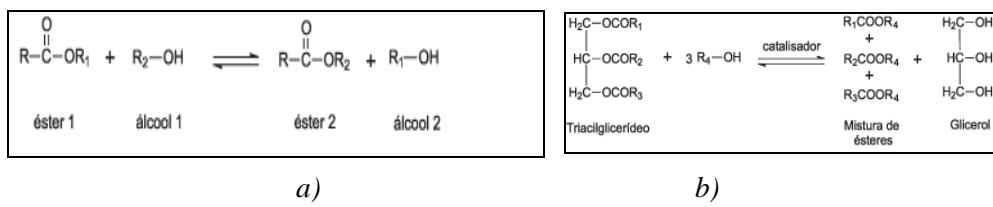
Inicia-se com a recepção de matérias-primas que são os óleos brutos ou neutralizados de origem vegetal, animal ou residual. Depois essa matéria-prima é acondicionada, sendo armazenada em tanques, e por fim, dá-se início ao tratamento dos óleos através de um processo químico com ácidos, para corrigir, por exemplo, a ácidez do óleo. Assim deixa-se esse óleo nos requisitos necessários para ser novamente armazenado nos tanques de óleos e

posteriormente entrar no processo produtivo, na etapa central de transesterificação (BASSO, 2015).

#### 4.3.1. Transesterificação

No Brasil, o processo mais utilizado para produção do biodiesel é o da transesterificação, que ocorre a partir de óleos vegetais ou gorduras animais e um álcool, metanol ou etanol conforme as reações da Figura 05 (a) e (b), na presença de um catalisador ácido ou básico (ENCARNAÇÃO, 2008).

Geris et al. (2007) apresentam na Figura 05, uma reação em que na transesterificação de óleos vegetais, um triacilglicerídeo reage com um álcool na presença de uma base ou ácido forte, produzindo uma mistura de ésteres de ácidos graxos e glicerol. Para uma transesterificação estequiométricamente completa, uma proporção molar 3:1 de álcool por triacilglicerídeo é necessária.



**Figura 5: Reação química de transesterificação do biodiesel: a) Equação geral;b) Equação da transesterificação de um triacilglicerídeo**

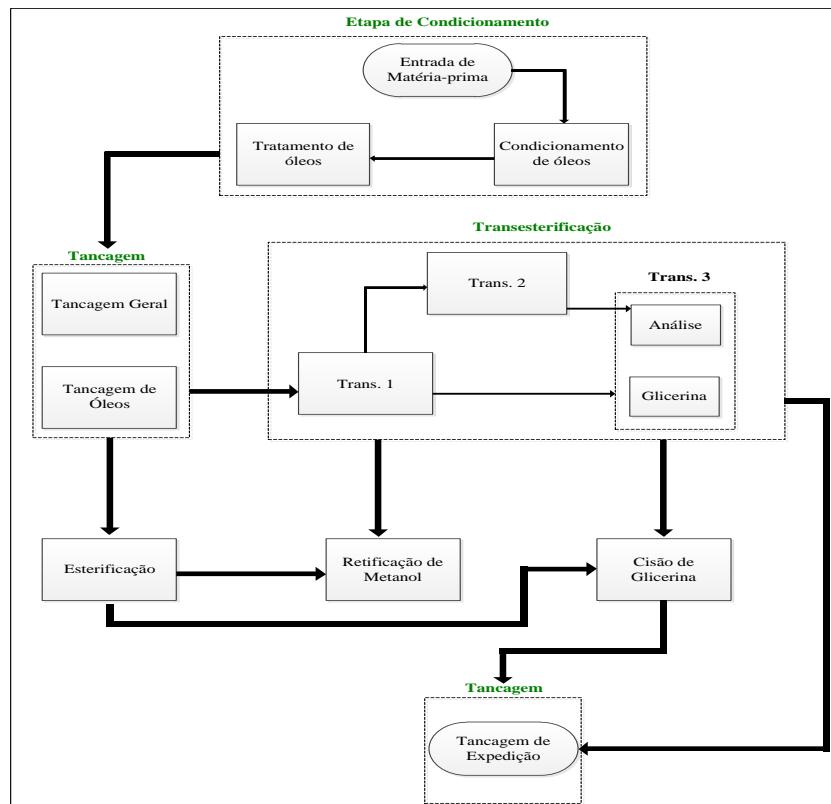
Fonte: Geris et al. (2007).

A transesterificação pode ocorrer na planta, a depender da configuração de processo e tecnologia em três fases, que são melhor detalhadas em Basso (2015) e apresentadas no fluxograma da Figura 06: *i*) na *trans*. 1 é realizada a primeira dosagem dos catalizadores, podendo ser o etanol ou metanol e metilato, sendo misturados em um reator.

Depois esse produto irá para um decantador que terá a primeira separação de sólidos (glicerina) do líquido (biodiesel); *ii*) Em seguida esse líquido é destinado a *trans*. 2 e recebe a segunda dosagem dos catalizadores sendo misturados em outro reator.

Na sequência, o biodiesel já está quase pronto e é mandado para outro decantador para a segunda separação de glicerina, então a próxima etapa é a; *iii) trans*. 3 em que há dois principais produtos do processo, o biodiesel e a glicerina, o biodiesel segue para análise e se

ele estiver nos padrões estabelecidos pela ANP irá para a tancagem de expedição, caso contrário, irá para o reprocesso.



**Figura 6: Fluxograma de operações da produção do biodiesel**  
Fonte: Basso (2015).

#### 4.4. A dimensão da demanda: distribuidores, ANP, postos de combustíveis e outros agentes

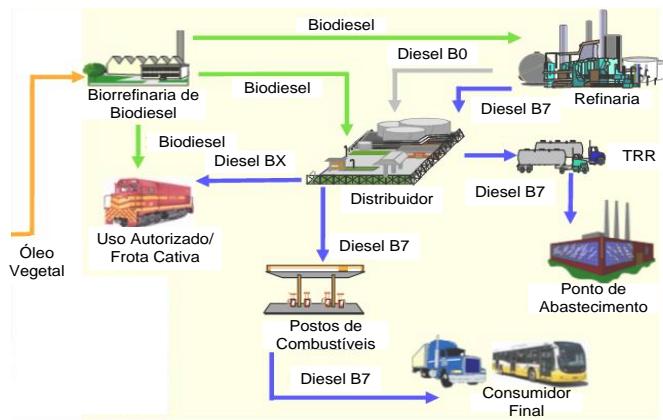
Na Figura 7 é apresentado um fluxograma de distribuição do biodiesel, através dos agentes e atividades da dimensão da demanda. Esses agentes distribuem o biodiesel para mistura ao diesel de acordo com as operações descritas a seguir e apresentadas em Silva (2011).

Na maioria das operações, o biodiesel é vendido em leilões, organizados e regulados pela ANP. Em um período estabelecido em edital, a usina libera do estoque o biodiesel na quantidade leiloada anteriormente e o produto segue até as bases de mistura biodiesel-diesel, que podem ser primárias ou secundárias, para ser adicionado ao diesel.

O percentual de mistura do biodiesel deve atender o limite especificado na legislação (7% em 2016, denominado B7). A partir de então, o diesel B7 retorna através das

distribuidoras: *i*) aos grandes compradores com uso autorizativo; *ii*) aos postos de combustíveis (atende os clientes que demandam pequenos e médios volumes), e; *iii*) aos TRRs (Transportador-Revendedor-Retalista).

Existe ainda, *iv*) o uso do bidediesel para frota cativa e equipamento industrial, que possui exceção legal na configuração de mistura, sendo que a partir da Lei Nº 13.033 de Set. 2014, os consumidores rodoviários atendidos por ponto de abastecimento se limitam ao máximos de adição de bidediesel ao óleo diesel em 20%, no caso do uso voluntário. No caso do transporte ferroviário, o limite é de 30%, mesmo percentual para uso agrícola e industrial. O uso experimental pode ser de bidediesel 100%.



**Figura 7: Fluxograma de distribuição do Diesel B7 (7% de biodiesel)**  
Fonte: Silva (2011).

## 5. Perspectivas de Inserção da Agricultura Familiar na Cadeia do Biodiesel em Mato Grosso

Uma análise prévia ao ínicio da coleta de dados se fez necessária no presente estudo, por força do objetivo: *i) Detalhar o perfil da agricultura familiar em Mato Grosso enquanto papel de fornecedor de óleo na cadeia de suprimentos do Biodiesel.*

Para isso levou-se em consideração sua economia industrial, padrões de competição e de desempenho no negócio de óleos para a indústria do biodiesel. Essa análise foi executada sob dois aspectos diagnósticos: *i) Painel da interface de suprimento de óleo com indústria de biodiesel no ano de 2016 em Mato Grosso, e; ii) Aspectos regulatórios favoráveis à inserção de óleos da agricultura familiar.*

Quanto ao primeiro aspecto, a economia setorial do complexo soja-biodiesel em Mato Grosso é fortemente baseada na integração vertical, com necessidades de economia de escala e uso intensivo de tecnologia e automação.

Nesse sentido, as Tabelas 1, 2, 3 e 4 detalham dados que apontam o estado de Mato Grosso como o principal centro de extração de óleos, principalmente da soja, e também de produção de biodiesel, dada a disponibilidade de matéria-prima. Nesse caso cerca de 90% do biodiesel produzido no estado é via transesterificação do óleo de soja (BRASIL, 2015d).

Especificamente, na Tabela 01 é apresentada a demanda por óleos para a fabricação de biodiesel no Brasil no período entre 2008 e 2015. O óleo de soja e o óleo de algodão são as principais matérias-primas vegetais na produção de biodiesel na atualidade no Brasil (ABIOVE, 2016). Em Mato Grosso, esse perfil é praticamente o mesmo, com uma variação positiva do uso de óleo de soja de 10% sobre o valor Brasil, situado entre 82 e 92% da matriz de suprimentos para indústria de biodiesel.

Em condições médias, 1.000 Kg de óleo de soja (cerca de 1.075 L) rendem 1m<sup>3</sup> de biodiesel (900 Kg). O setor em Mato Grosso projetou uma demanda média de óleos de 4.047,15 m<sup>3</sup>/dia em 2016 (BRASIL, 2015d).

Os leilões de comercialização em conjunto com outros fatores particulares do biodiesel impõem uma severa ociosidade às plantas, em 2015 o Brasil registrou capacidade projetada de produção de 7.306 mil m<sup>3</sup>/ano contra 3.937 mil m<sup>3</sup>/ano de produção efetiva. A taxa de utilização de capacidade disponível se situou no patamar de 53% em 2016, o que representa uma alta ociosidade e perda de competitividade em função da não-diluição do custo fixo.

**Tabela 1: Produção de biodiesel por matéria-prima no Brasil**

Matéria-prima (m <sup>3</sup> )	2011	2012	2013	2014	2015	2016*
Óleo de soja	674.088	2.152.298	2.041.667	2.142.990	2.551.813	3.038.835
Gorduras animais	168.322	367.578	481.231	611.215	731.935	755.075
Óleo de algodão	14.269	84.711	123.247	65.960	81.666	78.786
Óleo de fritura usado	5.770	13.044	17.827	30.667	25.949	16.772
Outras	21.903	55.130	53.511	66.664	28.475	41.035
<b>Total</b>	<b>893.928</b>	<b>2.672.760</b>	<b>2.717.483</b>	<b>2.917.495</b>	<b>3.419.838</b>	<b>3.930.503</b>
Matéria-prima (%)	2011	2012	2013	2014	2015	2016*
Óleo de soja	81%	75%	73%	75%	77%	75%
Gorduras animais	14%	18%	21%	21%	19%	19%
Óleo de algodão	3%	5%	2%	2%	2%	2%
Óleo de fritura usado	0%	1%	1%	1%	0%	1%

Outras	2%	2%	2%	1%	1%	4%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fonte: Associação Brasileira das Indústrias de óleos Vegetais (ABIOVE, 2016),

\*Até Março de 2016.

O alto volume de matéria-prima e sua disponibilidade condicionam o estado de Mato Grosso a ter no ano de 2016, 1/4 das biorrefinarias de biodiesel do Brasil, uma vez que a instalação da biorrefinaria próximo da matéria-prima processada pode proporcionar ganhos na otimização de custos, no processo logístico, integração, entre outros fatores, impactando diretamente no desempenho e competitividade.

De acordo com a ANP (BRASIL, 2016) em Mato Grosso cerca 90% da extração é de óleo de soja. Na Tabela 02 é detalhado que apenas uma esmagadora no estado extrai óleo de oleaginosa diferente de soja, nesse caso algodão.

Segundo a ABIOVE (2016), a capacidade de esmagamento do estado é alta, 40.410 ton./dia, mas concentrada no complexo soja, trazendo à realidade uma demanda reprimida por mix de matérias-primas oleaginosas que podem ser derivadas da agricultura familiar, como a mamona, palma, amendoim, entre outras de alto rendimento, haja visto, que a soja comparativamente à alternativas existentes é considerada de baixo teor oleico.

**Tabela 2: Esmagadoras de óleo de soja em Mato Grosso\***

Empresa	Localização da Unidade (MT)	Extração	Oleaginosa	Situação
ADM	Rondonópolis	Solvente	Soja	Ativa
Agreenco	Alto Araguaia	Solvente	Soja	Parada
Amaggi	Lucas do Rio Verde	Solvente	Soja	Ativa
Amaggi	Cuiabá	Solvente	Soja	Ativa
Araguassú	Porto A. do Norte	Solvente	Soja	Ativa
Atlas	Cuiabá	Solvente	Soja	Ativa
Bunge	Rondonópolis	Solvente	Soja	Ativa
Bunge	Nova Mutum	Solvente	Soja	Ativa
Bunge	Rondonópolis	Prensa	Algodão	Ativa
Caramuru	Sorriso	Solvente	Soja	Ativa
Cargill	Primavera do Leste	Solvente	Soja	Ativa
Clarion	Cuiabá	Solvente	Soja	Ativa
Grupal	Cuiabá	Solvente	Soja	Parada
Louis D. Commodities	Alto Araguaia	Solvente	Soja	Ativa
Noble	Rondonópolis	Solvente	Soja	Ativa
Ovelpar	Cuiabá	Solvente	Soja	Parada
Producampo	Cuiabá	Solvente	Soja	Ativa
Sperafico	Cuiabá	Solvente	Soja	Ativa

Fonte: ABIOVE (2016), \* Agosto de 2016.

Diante da crise econômica dos últimos anos, grande parte das biorrefinarias de grande porte continuam operando (Tabela 03), isso se deve a economia de escala requerida pelo negócio, seu caráter regulatório na comercialização, estrutura da concorrência com o diesel e destinação da soja em industrialização ou exportação *in natura*, o que torna inviável a continuidade das operações em determinados cenários econômicos. Mesmo diante desse contexto, as grandes biorrefinarias ainda são potenciais consumidoras de óleos da agricultura familiar, visto a obrigatoriedade exigida para certificação com o Selo Combustível Social, sem o qual não podem participar da venda de biodiesel.

**Tabela 3 - Percentual de produção de biodiesel por empresa em Mato Grosso\***

	Localização da Unidade (MT)	Capacidade m <sup>3</sup> /dia	Venda L-47(m <sup>3</sup> )	Situação da Unidade
ADM	Rondonópolis	1.352	35.771	Ativa
Bio Óleo	Cuiabá	150	479	Ativa
Biocamp	Campo Verde	300	13.843	Ativa
Bunge	Nova Mutum	413,79	16.767	Ativa
Fiagril	Lucas do Rio Verde	563	24.543	Ativa
Noble	Rondonópolis	600	35.195	Ativa
Caibiense	Rondonópolis	100	0	Parada
Rondobio	Rondonópolis	10	0	Parada
Bio Brazilian	Barra do Garças	98	0	Parada
Bio Vida	Várzea Grande	18	0	Parada
CooperFeliz	Feliz Natal	10	0	Parada
SSIL	Rondonópolis	50	0	Parada
Tauá	Nova Mutum	100	0	Parada

Fonte: BRASIL (2016), \* Maio de 2016.

Essa situação evolutiva de produção de biodiesel pode ser sinérgica e de ganha-ganha para ambos os agentes da cadeia de suprimentos: Biorrefinarias e Unidades de Produção da Agricultura Familiar. Segundo o relatório Repórter Brasil (2014), existem 547 assentamentos e 130 mil famílias de agricultores familiares no Mato Grosso, desse total, apenas 15 assentamentos e mil famílias participam do PNPB. Melhores condições de gestão, programação da produção e comercialização podem ser vetores de inserção de um número maior de agricultores na cadeia do Biodiesel.

## 5. Metodologia da Pesquisa

O presente estudo pode ser classificado (Quadro 1) quanto à finalidade, em pesquisa aplicada ao âmbito produtivo (empírico) da agricultura familiar; quanto às variáveis em combinado (quanti-quali); quanto ao procedimento técnico em Modelagem e Simulação (natureza dos dados quantitativa) e Pesquisa Documental (natureza dos dados qualitativa).

A forma combinada da abordagem do problema se deu pela necessidade de seu escopo, ou seja, investigar o efeito da minimização do custo de extração por procedimento explicativo de Pesquisa Operacional e o efeito no papel da agricultura familiar de supridora da cadeia do biodiesel (procedimento descritivo de Pesquisa Documental).

A escolha do modelo de Johnson e Montgomery (1979) adaptado por Fernandes e Godinho Filho (2010) se deu pela escassez de modelos de programação da produção de sistemas contínuos. Houve uma adaptação do modelo, invertendo a finalidade da programação das saídas/produtos do modelo original (múltiplos produtos) para entradas/*inputs* (múltiplas matérias-primas).

A coleta de dados estimou através de relatórios setoriais da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis-ANP, Ministério do Desenvolvimento Agrário, Ministério de Minas e Energia; Agências de cotação de grãos como a Biomercado, CEPEA; Instituto setorial ABIOVE, e; empresas de venda de máquinas de extração de óleo, Green Peças.

Foram usados para obtenção do resultados o Microsoft Office Excel, para rodar cálculos de dimensionamentos, estimativas de parâmetros e da regra de sequenciamento (Tempo de Esgotamento -TE), em complemento com o Wolfram Mathematica 10.2 para derivação do Custo Incremental Total Anual do modelo adaptado de Fernandes e Godinho Filho (2010).

A análise quantitativa é a escolha do CITA em função de sua própria regra de decisão apresentada na explicação da Figura 08. Aspectos de contexto e ambiente da agricultura familiar na cadeia do biodiesel foram apresentados nos tópicos 4 e 5 e serão cruzados para contextualizar o efeito da minimização do CITA no papel da agricultura familiar.

**Quadro 1: Síntese da presente pesquisa sob múltiplas abordagens**

Finalidade	Abordagem do Problema:	Objetivo e Grau de cristalização do problema	Procedimentos Técnicos
	Natureza das variáveis/dados		

<input type="checkbox"/> Pura	<input type="checkbox"/> Quantitativa	<input type="checkbox"/> Exploratória	<input type="checkbox"/> Bibliográfica
<b><input checked="" type="checkbox"/> Aplicada</b>	<input type="checkbox"/> Qualitativa	<b><input checked="" type="checkbox"/> Descritiva</b>	<b><input checked="" type="checkbox"/> Documental</b>
	<b><input checked="" type="checkbox"/> Combinada</b>	<b><input checked="" type="checkbox"/> Explicativa</b>	<input type="checkbox"/> Experimental
		<input type="checkbox"/> Preditiva	<input type="checkbox"/> Survey
			<input type="checkbox"/> Estudo de Caso
			<input type="checkbox"/> Expost-facto
			<input type="checkbox"/> Pesquisa-Ação
			<input type="checkbox"/> Participante
			<b><input checked="" type="checkbox"/> Modelagem e Simulação</b>

Fonte: Adaptado de Miguel e Sousa (2012)

## 5.1. Escolha do modelo

A unidade simulada pode comprar a matéria-prima a ser esmagada em óleo e farelo e/ou produzir em uma mesma área, oleaginosas de menor nobreza como: *i*) Mamona, *ii*) Pinhão-manso, *iii*) Algodão, e; oleaginosas de “maior nobreza”, como a: *iv*) Soja, e; *v*) Girassol.

Esse cenário é representativo da agricultura familiar no Brasil e no estado de Mato Grosso, conforme evidenciado em Dutra e Bueno (2015). Essa representatividade pode ser baseada na importância relativa dos parâmetros: *a*) Área; *b*) Vocação natural; *c*) Diversificação; *d*) Mercados, *e*) Subsistência; *f*) Gestão; *g*) Recursos.

O primeiro passo metodológico foi a escolha do modelo a ser utilizado para representação do problema real, a saber: o modelo de sequenciamento e dimensionamento de lotes multiprodutos em estágio produtivo único de Fernandes e Godinho Filho (2010) que é adaptado da política de ciclo rotacional (T) de Johnson e Montgomery (1974).

Existem inúmeras regras e formas de sequenciamento de rodadas ou tarefas de produção, a regra comum e escolhida para o problema investigado foi apresentada em Fernandes e Godinho Filho (2010) sendo a do Tempo de Esgotamento ( $T_E$ ), onde as bateladas podem ser, por exemplo, processadas segundo a ordem crescente dos seus tempos de esgotamento. O tempo de esgotamento do produto *i* ( $T_E$ ) é dado por:

$$T_E = \frac{\text{Estoque do produto } i \text{ no momento do sequenciamento}}{\text{Taxa de demanda do produto } i} \quad (1)$$

O dimensionamento de bateladas de óleo bruto obtido no processo de extração de oleaginosas pela agricultura familiar é uma tarefa de planejamento, constituindo um problema de *scheduling* para sistema contínuo, com notação descrita a seguir (JOHNSON; MONTGOMERY, 1974; FERNANDES; GODINHO FILHO, 2010):

*Notação:*

$A_i$  = Custo de preparação por  $m^3$  do produto  $i$ ;  
 $C_i$  = Custo unitário de fabricação do produto  $i$ ;  
 $D_i$  = Taxa de demanda do produto  $i$  ( $m^3/ano$ );  
 $n$  = Número de produtos (tipos de oleaginosas processadas);  
 $P_i$  = Taxa de produção ( $m^3/ano$ );  
 $i'$  = Taxa anual de manutenção de estoque;  
 $(i' * c_i)$  = Custo de manter uma unidade em estoque durante um ano;  
 $c_i$  = Custo unitário do produto  $i$ ;  
 $s_i$  = Tempo de *setup* do produto  $i$  por ciclo;  
 $Q_i$  = Tamanho do lote para o produto  $i$ ;  
 $T$  = Duração do ciclo de produção;  
CITA = Custo Incremental Total Anual;

O modelo assumido a seguir, considera apenas o custo de produção, como uma função linear com encargo fixo, isto é, o custo  $C(X)$ , da produção de  $X$  unidades de uma batelada foi assumido como tendo a forma:

$$\begin{aligned}
 \text{Minimizar } C(X) = & \{ 0, \text{ se } X = 0 \\
 & \{ A + cX, \text{ se } X > 0;
 \end{aligned} \tag{2}$$

Quando há custos de *setups* significativos e o modelo (2) é apropriado, o problema de planejamento da extração é mais difícil de se analisar.

A política adotada é de tamanho de batelada constante,  $X_i$ , para cada produto  $i$ .

$$\text{CITA } (X_1, X_2, \dots, X_N) = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{A_i D_i}{X_i} + c_i D_i + i' c_j \frac{X_i}{2} \left(1 - \frac{D_i}{P_i}\right) \right] \tag{3}$$

Assume-se então, que:

$$D_i < P_i, \tag{4}$$

e

$$\frac{D_1}{P_1} + \frac{D_2}{P_2} + \dots + \frac{D_n}{P_n} < 1, \tag{5}$$

Assim, uma instalação tem capacidade para atender a demanda dos  $n$  produtos (óleos vegetais), uma vez que (5) é a fração de tempo durante um ano em que a instalação estará ocupada produzindo os  $n$  produtos. As oleaginosas processadas em uma sequência fixa devem ser repetidas de ciclo para ciclo (rotação). Como a falta não é permitida, a batelada do produto  $i$  dever ser igual à sua demanda durante o ciclo  $T$ , ou seja:

$$Q_i = T D_i \tag{6}$$

Primeiro, calcula-se o Custo Incremental Total Anual (CITA) de produção de cada produto individualmente e depois efetua-se a soma, encontrando o CITA para todos os produtos. Caso seja viável, a programação dessas bateladas, sem que aconteçam interferências, ter-se-á a solução ótima.

Substituindo a restrição (6) na função objetivo (3), obtemos a seguinte expressão para o custo médio por unidade de tempo:

$$\text{CITA}(T) = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{A_i}{T} + c_i D_i + i' c_i \frac{T D_i}{2} \left(1 - \frac{D_i}{P_i}\right) \right] \quad (7)$$

Logo, derivando o CITA em função de T, tem-se o critério  $T^*$ :

$$\frac{\partial (\text{CITA})}{\partial T} = 0 \Rightarrow T^* = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^n A_i}{i' \sum_{i=1}^n c_i D_i \left(1 - \frac{D_i}{P_i}\right)}} \quad (8)$$

Considerando  $s_i$  o tempo de um *setup* do produto  $i$ , deve-se ter que:

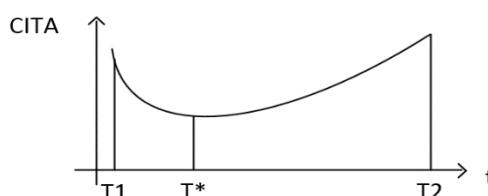
$$Q_i = T D_i \Rightarrow T \geq \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{1 - \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{P_i}} = T_{\min} \quad (9)$$

$s_i$  é o tempo de preparação do ambiente ou máquina para a produção de uma batelada/lote ou tempo de *setup*. O  $T^*$  ignora o tempo de *setup*, mas pode-se incorrer o caso de não se conseguir ajustar no tempo de ciclo, o tempo de *setup*. Então, calcula-se  $T_{\min}$ . Desse modo, o tempo de ciclo para cada produto é definido como  $T = \max\{T^*, T_{\min}\}$ . A programação independente será factível se atender à seguinte condição necessária, mas não suficiente:

$$\sum_{i=1}^n \left[ s_i + \frac{Q_i}{P_i} \right] \leq T \quad (10)$$

A relação da equação (10) significa que o tempo de produção disponível deve ser longo o suficiente para acomodar os tempos de preparação ( $s_i$ ) de todos os produtos, além dos tempos de produção efetiva.

De acordo com a Figura 8 existe o seguinte processo decisório para a política rotacional T: Nota-se que o denominador da equação (10) é a fração de tempo que a instalação não estará produzindo.



**Figura 8: Comportamento da função CITA para a política rotacional T**  
Fonte: Fernandes e Godinho Filho (2010).

Uma vez que CITA ( $T$ ) é convexa em  $T$ , deve se utilizar para o tempo do ciclo, o valor máximo entre  $T^*$  e  $T_{\min}$ . Para ver isso, deve se observar a Figura 08 que, se  $T_{\min}$  está em um ponto  $T_1 < T^*$ , então  $T^*$  é viável e, portanto, a solução; no entanto, se  $T_{\min}$  está em  $T_2 > T^*$ ,  $T^*$  não é viável e  $T_{\min}$  representa o  $T$  viável com menor custo total (CITA).

## 5.2. Coleta e tratamento dos dados

O problema desse estudo considerou que para qualquer nível de produção existe demanda, então de acordo com a restrição (4), a taxa de demanda foi configurada de forma ser menor que a taxa de produção. Considerou-se ainda que qualquer nível de produção e seu estoque é consumido no tempo pela demanda.

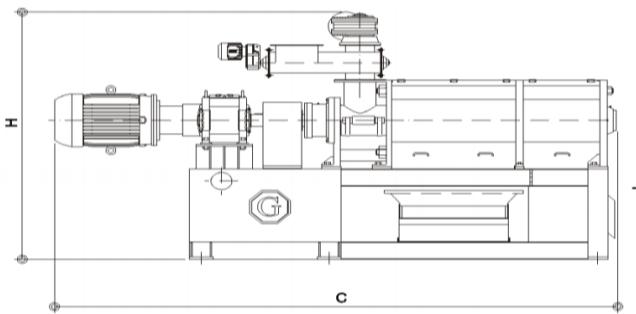
Definiu-se então a programação de compra e (ou) a produção e processamento de 720 toneladas de matérias-primas em um *mix* de oleaginosas de caroço de algodão, soja, girassol e mamona.

Diante desse cenário, na presente pesquisa, o volume total considerado a ser processado por tipo de matéria-prima no modelo será dividido na seguinte composição em massa: 40% de caroço de algodão, 30% de soja, 20% de sementes de girassol e 10% de mamona.

Considera-se a situação em que as unidades de produção familiares podem suprir a extração de óleo por duas vias, *i*) Produção na própria propriedade de volume suficiente de qualquer cultura oleaginosa considerada ou de parte delas, e (ou); *ii*) Comprar no mercado parte ou todo o volume de oleaginosas a serem processadas, a depender do cenário ótimo de mercado. A soja e algodão foram priorizados em volume processado, em virtude da maior disponibilidade para compra e vocação natural de clima, solo e manejo presente no estado de Mato Grosso, conforme Tabela 03.

A taxa de produção foi configurada como o total produzido por uma prensa do tipo PRG 125 (Figura 9), com motor de 25 Cavalos-Vapor (CV) de potência e capacidade de extração de 300 à 500 kg/h (trabalhando em uma média de extração de 400kg/h).

Considerando operação por 8 horas/dia de trabalho, processa-se 3,2 toneladas/dia, em um período de 25 dias por 12 meses, esse montante é igual a 960 toneladas de matéria-primas processadas em um ano de trabalho simulado.



**Figura 9: Croqui da Extratora considerada na simulação**

Fonte: GreenPeças (2016)

Os preços das oleaginosas (Girassol, Mamona, Caroço de algodão e Soja) foram cotados de acordo com referências de portais de cotação como, Biomercado (2016) Cepea (2016) e pedido então a validação (confirmação) por dois gestores ligados a duas usinas de biodiesel na região sudoeste e centro-sul de Mato Grosso, ano de 2016. Fatores ligados à extração foram dimensionados para obtenção da estimativa de Taxa de Produção (Tabela 04), a estimativa é uma composição expressa na equação (11):

$$P_i (\text{ano}) = C * T_o * D_o \quad (11)$$

Onde: C= Consumo de matéria-prima oleaginosa; T<sub>o</sub> = Teor de óleo; D<sub>o</sub> = Densidade do óleo.

**Tabela 4: Detalhes da taxa de extração**

Oleaginosa	Mix de produção	Ton./Ano (Consumo)	Teor de óleo	Densidade do óleo	Taxa de produção (m <sup>3</sup> /ano)	Preço de Aquisição (R\$/Ton.)
<i>Caroço de Algodão</i>	40%	384	18%	0,875 g/cm <sup>3</sup>	60,48	437,50
<i>Soja</i>	30%	288	18%	0,883 g/cm <sup>3</sup>	45,77	1.466,08
<i>Girassol</i>	20%	192	40%	0,877 g/cm <sup>3</sup>	67,35	999,60
<i>Mamona</i>	10%	96	45%	0,955 g/cm <sup>3</sup>	41,26	1.673,66
<b>Total</b>	100%	960			214,860	4.576,84

Fonte: Canal Rural (2016), Biomercado (2016), Agrolink (2016), Cepea (2016).

Quanto aos custos, o custo unitário *c<sub>i</sub>* foi determinado como:

$$c_i = c_{mp} + c_e + c_{mo} + O_c \quad (12)$$

Onde, *c<sub>mp</sub>* é o custo da matéria-prima; *c<sub>e</sub>* é o custo de consumo energético por tonelada processada da oleaginosa; *c<sub>mo</sub>* é o custo de 1 unidade de mão-de-obra por mês; *O<sub>c</sub>* é o custo de Outros Encargos, esse componente de custo é estimado como sendo 10% do valor total do custos de mensuração direta (*c<sub>mp</sub>* + *c<sub>e</sub>* + *c<sub>mo</sub>*), como por exemplo, o encargo de impostos, juros, depreciação e outros encargos desse tipo, que são de difícil mensuração direta.

Por último, o custo de *setup* é:

$$A_i = s_i * c_i \quad (13)$$

O dimensionamento do custo unitário e tempo de *setup* são apresentados na Tabela 05, a seguir. Os tempos de *setup*s foram coletados junto ao fabricante da prensa adotada na simulação, estes são a base para o cálculo do custo de *setup*, conforme equação (13) e Tabela 5, sendo os custos unitários e de *setup* usados para se obter o custo mínimo da extração em T.

**Tabela 5: Custos unitário\* e de *Setup* dimensionados**

	Custo Unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo de Mão- de-Obra (R\$/homem/mês)	Custo de Materia-Prima (R\$/Ton.)	Tempo de <i>Setup</i> (Anos)
<i>Soja</i>	R\$ 2.882,00	1.200,00	1.466,08	0,0001875
<i>Girassol</i>	R\$ 2.369,00	1.200,00	999,60	0,00020833
<i>Algodão</i>	R\$ 1.750,00	1.200,00	437,50	0,00035833
<i>Mamona</i>	R\$ 3.110,00	1.200,00	1.673,66	0,00050000

\*Custo Energético (Ton.) = R\$ 62,73; Outros Encargos (R\$/m<sup>3</sup>) (10%\*c<sub>i</sub>) + c<sub>i</sub>

Fonte: Dados da pesquisa (2016).

## 6. Resultados e Discussões

Quanto aos parâmetros expressos na Tabela 06, a demanda foi projetada com valores aleatórios de forma a não violar a restrição (4). O custo de *setup* considera o custo da mão-de-obra, energia e outros encargos por unidade de tempo gasto pelo *setup* em um ano. A regra do tempo de esgotamento impõe nesse problema que os produtos com maiores estoques sejam priorizados na sequência T, condição que implica na manutenção da restrição de sequência fixa para ciclos subsequentes.

Uma outra condição expressa na Tabela 06, a ser ponderada pelo decisor/agricultor no momento do planejamento é da não-extração de óleo de soja, pois sua margem é negativa, onde o custo de se produzir um m<sup>3</sup> é maior que o preço-de-venda do óleo, mantidas as mesmas condições dessa simulação. Isso implica que o *mix* definido na Tabela 6 pode ser alterado pelo decisor de forma a priorizar os óleos com maior margem e assim reprogramar os ciclos e sequências.

A soja e o algodão são *commodities* que possuem sua flutuação de preços ligada a fatores diversos, e isso faz flutuar também a margem de lucro, o que significa que o decisor pode alternar ciclos com e sem a extração de óleos desses produtos, a depender do tamanho do ciclo e da projeção das *commodities*. Um último fator determinante do *mix* é a existência

de mercado para os óleos nobres extraídos, como os óleos de girassol e mamona, condição que pode pressionar o decisor a vender tais óleos para outros mercados que não o do biodiesel, como o de cosméticos e farmacêutico.

**Tabela 6: Parâmetros definidos para simulação do ciclo rotacional (T)**

Matéria-prima (n)	Demandas anuais (m <sup>3</sup> )	Custo de setup (R\$/ ciclo)	Sequência pela regra do TE* (1º. Ciclo)	Preço de Venda do óleo (R\$/m <sup>3</sup> )	Margem (PV-C) (R\$)
Soja	7	189,57	2	2.780,00	-101,69
Girassol	5	210,64	3	3.600,00	1.231,44
Algodão	10	362,29	1	3.500,00	1.749,75
Mamona	3	505,52	4	6.200,00	3.089,98
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>1.268,02</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	

Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Os resultados da Tabela 7 apresentam a duração do ciclo T (T\*), que compreende a duração do período necessário para o processo das quatro oleaginosas dimensionadas na simulação, incluso o tempo de *setup*. A partir desse resultado, se obtém o custo mínimo de fabricação (quando se adiciona ao custo total o custo dos *setups*), esse custo é denominado CITA.

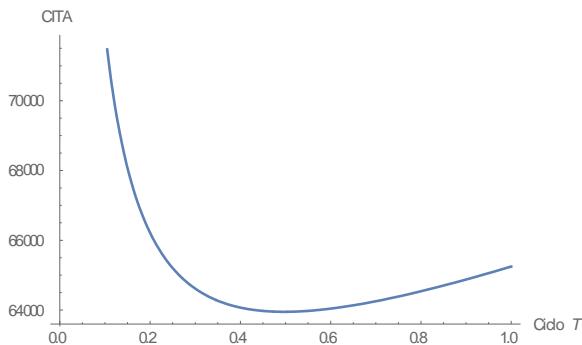
**Tabela 7: Resultados para o modelo T de ciclo rotacional**

T*	0,49711
T <sub>min</sub>	0,00234525
CITA	63.950,5720

Fonte: Dados da pesquisa (2016).

O resultado T<sub>min</sub> diz respeito ao tempo mínimo necessário para que haja viabilidade de processo, ou seja, sem *setups* na extratora, não há extração.

O gráfico da Figura 10 apresenta o comportamento de uma função convexa do custo total incrementado em cada processo individual de extração em um ciclo. Observa-se que o mínimo da função CITA coincide com o T\* igual a 0,49711 ano (150 dias úteis de trabalho ou 6 meses), isso significa, que a sequência das 4 oleaginosas podem ser processadas nesse período, sem violação de qualquer restrição do modelo. Nesse caso, para produzir a demanda projetada são necessários 2 ciclos, com duração de 6 meses cada. Existe ainda a condição de que qualquer duração do ciclo T para um valor de tempo maior ou menor que o T\*, implica em um custo maior que o CITA.



**Figura 10: Comportamento do CITA durante o ciclo T**

Fonte: Dados da pesquisa (2016).

A Tabela 8 apresenta resultados para a batelada com tamanho constante nos ciclos (Política T) e com quantidade variável, chamada de solução independente.

A coluna da “quantidade constante” relata o quanto deve ser produzido de óleo (em  $m^3$ ) de cada oleaginosa processada em um ciclo, com o mínimo custo total possível.

A segunda coluna, “quantidade variável”, indica o tamanho da batelada de óleo, não levando em consideração a duração do ciclo, ou seja, de forma independente do ciclo, o custo total é menor, mas sem significativa diferença, sendo que, caso essa programação seja escolhida, pode haver falta de algum óleo, pois a soma das bateladas excede a capacidade produtiva, sendo esse cenário não condizente com a política T, pois viola a restrição de não trabalhar com falta.

A terceira coluna, “quantidade máxima em estoque” é sequenciada conforme Figura 11 seguindo a regra TE. Então, para o ciclo seguinte de produção vai existir estoque sobressalente de óleo para a extração de girassol, soja e mamona. Como os óleos alteram suas propriedade químicas com o tempo, o próximo ciclo deve iniciar com aqueles óleos de mínimo estoque, para que haja tempo para venda dos maiores estoques no ínicio e durante o próximo ciclo.

**Tabela 8: Tamanho dos lotes individuais para o ciclo T = 0,4971**

	“quantidade constante”	quantidade variável	“quantidade máxima em estoque”	“quantidade em estoque no final do ciclo T (em $m^3$ )”
Óleo de Soja	3,47	2,33	2,94	0,49
Óleo de Girassol	2,48	2,19	2,30	0,75
Óleo de Algodão	4,97	4,98	4,24	0,00
Óleo de Mamona	1,49	2,29	1,13	0,29
<b>CITA</b>	<b>63.950,57</b>	<b>63.726,01</b>	-	-

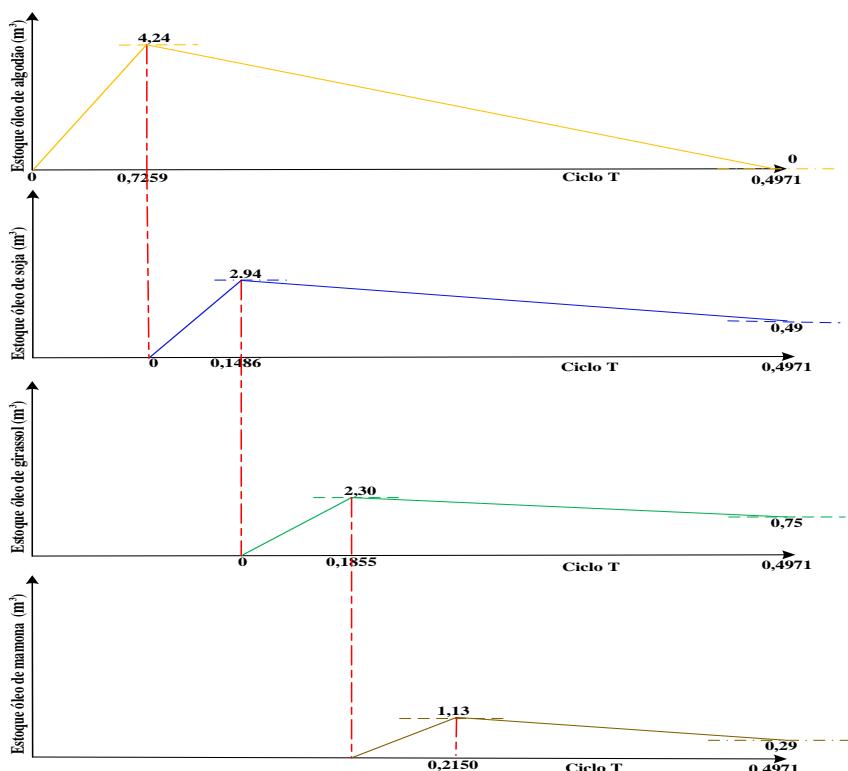
Fonte: Dados da pesquisa (2016). Conforme a Figura 11, o estoque de óleo de algodão atinge o

máximo nível em 0,072 ano com  $4,24 m^3$ , sendo consumido totalmente ao final do período.

Os óleos de girassol ( $2,30 \text{ m}^3$ ), soja ( $2,94 \text{ m}^3$ ) e mamona ( $1,13 \text{ m}^3$ ) atingem seus máximos em estoque nos períodos de 0,15 ano, 0,18 ano e 0,21 ano respectivamente, finalizando o ciclo com estoques de  $0,49 \text{ m}^3$ ,  $0,75 \text{ m}^3$  e  $0,29 \text{ m}^3$  seguindo a mesma ordem.

Ainda sobre os dados da Tabela 09 e sua projeção na Figura 11, a extração é contínua mesmo após a extração igualar a demanda, isso projeta os níveis de estoques máximos apresentados, que vão sendo consumidos pela taxa de demanda.

Observa-se que a aplicação da regra TE impõem a programação a obediência à restrição de que a sequência deve ser fixa no ciclo e em ciclos subsequentes, pois os maiores estoques, produzidos pela capacidade não ocupada pela demanda no ciclo, possuem prioridade de consumo, contribuindo para a minimização do estoque total anual e repassando essas condições de desempenho para o próximo ciclo, fazendo com que a política rotacional T, seja adotada por inúmeros ciclos sob uma única programação inicial.



**Figura 11: Níveis de estoques e seu consumo durante o ciclo T**  
Fonte: Dados da pesquisa (2016).

## 7. Conclusões

A política “T” de Fernandes e Godinho Filho (2010) mostrou aderência à programação para a extração, sua aplicação original é na programação em função do produto final (*output*)

e não em função da matéria-prima como na presente pesquisa (*input*). Os resultados replicaram condições exclusivas a sistemas contínuos de produção (bateladas, com alto volume e nenhuma diferenciação aparente). O modelo usado possui aplicação original em sistemas intermitentes de produção, como àqueles que produzem em lotes com certa variedade.

O resultado do tamanho do ciclo apresenta que em aproximadamente 6 meses se obtém uma rodada de produção completa com custo mínimo de R\$ 63.950,57. Quanto aos lucros, estes dependem da política de comercialização do agricultor familiar ou cooperativa, pois como os óleos advém de cereais que possuem demanda e alto valor em outras cadeias, a competitividade da unidade familiar depende de fatores externos (mercado), internos (eficiência da produção na agricultura e depois na extração), além da gestão e incentivos governamentais (Selo Social).

Algumas especificidades foram identificadas, como: a falta de competitividade do óleo de soja a depender de flutuações sazonais da *commodity* soja. Outra constatação da análise dos dados foi que em cenários de alto valor de venda, para os óleos de mamona e girassol pode haver um desvio de comercialização, deixando o produtor de ofertar na cadeia do biodiesel, para ofertá-los em cadeias que pagam mais pelo produto, como a cadeia de farmácias, alimentícia, cosmética, entre outras.

Uma conclusão no âmbito da competitividade foi de que matindos os parâmetros econômicos elencados na presente pesquisa (Tabelas 05, 06 e 07), o preço de venda de um m<sup>3</sup> de óleo de soja se situa em um patamar menor que o custo de produção para a agricultura familiar, segundo os parâmetros adotados na presente pesquisa, obtendo margem de lucro negativa de -R\$ - 101,69 por m<sup>3</sup> comercializado, ou seja, incorrendo em prejuízo. Por fim, assumindo que o mercado do biodiesel não estará disposto a pagar nos óleos de mamona, soja e girassol mais que se paga pelo óleo de soja no mercado (*spot* ou a termo) é crível que o produtor deva vender na maior parte dos cenários econômicos esses óleos para cadeias concorrentes e ofertar somente o óleo de soja à indústria de biodiesel, caso produza.

A conclusão central é que o modelo de *scheduling* e a política rotacional “T” possuem aderência também em problemas de dimensionamento de lotes, sequenciamento e minimização de custos no âmbito das entradas do processo (matéria-prima/*input*) e cumpre o segundo objetivo desta pesquisa.

Desse cenário deriva a constatação que operando o modelo T e suas equações em planilhas eletrônicas, o gestor da agricultura familiar, cooperativa ou qualquer órgão de apoio,

podem programar a extração de óleos com processo de custo mínimo, mas a análise da simulação evidenciou inviabilidade na margens de lucro para o óleo de soja, pois a indústria do biodiesel em seu mercado tem preferência por óleos de menor preço, no caso a soja, sendo inviável vender os demais óleos (girassol, algodão, mamona) pelo mesmo preço por m<sup>3</sup> do óleo de soja. Dessa forma, o terceiro objetivo de pesquisa é coberto.

De forma geral, as conclusões são de que a melhoria do desempenho no processo de extração, com operação em custo mínimo não insere de forma competitiva a agricultura familiar na cadeia do biodiesel, grande parte devido a margem negativa do óleo de soja. Quando se considera o *mix* considerado na presente pesquisa, certa competitividade fica mais evidente, ou seja, se considerar a margem das oleaginosas, todas proveem margem positiva, exceto a soja, sendo a produção de óleos de algodão e girassol priorizadas em maior volume.

Assim, a agricultura familiar apresentaria melhor inserção em cadeias de maior valor agregado como a de comésticos, farmácicos, alimentos, entre outras.

Este aspecto do negócio pode ser analisado em trabalhos futuros e propostas melhorias na busca da inserção competitiva da agricultura familiar no papel de suprimentos do agronegócio.

## 8. Referências

AGROLINK. *Cotações*. Disponível em:<<https://www.agrolink.com.br/cotacoes/>>. Acesso em: 20 de Mai. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). *Estatística Mensal do Complexo Soja - Agosto/2016*. São Paulo, 2016. Disponível em :<<http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE=>>. Acesso em: 11 mai. 2016.

BASSO, N. S. *Análise econômica do projeto de Biorrefinarias de Biodiesel*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção AgroIndustrial) - Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT, 2015.

BIOMERCADO- CENTRO DE REFERÊNCIA DA CADEIA DE PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS PARA A AGRICULTURA FAMILIAR. *Cotações por estado*. Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br/indicador/>>. Acesso em: 11 mai. 2016.

BRASIL. Presidência da República. Ministério de Minas e Energia. *Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)*. Brasília, 2015a. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/biodiesel/pnbp.html>. Acesso em: 20 jun. 2016.

BRASIL. Presidência da República. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo (ANP). *Biodiesel – Introdução*. Brasília, 2015b. Disponível:<<http://www.anp.gov.br/?pg=73292&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&147647076417975689638>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

BRASIL. Presidência da República. Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). *Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel*. Brasília, 2015c. Disponível:<[http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user\\_arquivos\\_64/Biodiesel\\_Book\\_final\\_Low\\_Completo.pdf](http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_64/Biodiesel_Book_final_Low_Completo.pdf)>. Acesso em: 22 jun. 2016.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). *Boletim Mensal do Biodiesel*. Brasília, 2015d. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=83120&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&1476470764179>. Acesso em: 22 jun. 2016

BRASIL. Ministério De Minas E Energia. Brasília, 2014. Disponível em:<<http://www.mme.gov.br/spg>>. Acesso em: 03 de out. 2016.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). *Boletim Mensal do Biodiesel*. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel>>. Acesso em: 25 out. 2016

CANAL RURAL. Cotação Agricultura. Disponível em: <https://canalrural.uol.com.br/cotacao/>. Acesso em: 03 de Jun. 2016.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - ESALQ/USP (CEPEA). *Indicadores de Preços*. Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br/indicador/>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

COLARES, J. F. A brief history of Brazilian biofuels legislation. *Syracuse Journal of Law & Commerce*, v. 35, n. 2, 2008, p. 101-116.

CHRISTOPHER, M. *Logistics and Supply Chain Management*. 5<sup>th</sup> Edition. Financial Times/Pearson Education: New York, 2016.

CREMONEZ, P. A. *et al.* Biodiesel production in Brazil: Current scenario and perspectives perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 42, feb. 2015, p. 415-428.

DORSA, R. *Tecnologia de óleos vegetais*. Campinas: Ideal, 2004.

DUTRA, S. G.; BUENO, O. C. Selo de combustível social-Desafios e oportunidades. *Energia na Agricultura*, v. 29, n. 4, 2015, p. 282-291.

ENCARNAÇÃO, A. P.G. *Geração de Biodiesel pelos Processos de Transesterificação e Hidroesterificação, uma avaliação econômica*. 2008, 144 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro-RJ.

FERNANDES, F. C. F., GODINHO FILHO, M. *Planejamento e Controle da Produção: Dos fundamentos ao essencial*. São Paulo, Atlas, 2010.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 28, n. 1, Fev. 2005, p. 19-23.

FERREIRA, J. A. *Custos industriais: Uma ênfase gerencial*. São Paulo: STS, 2007.

FLORIN, M. J.; VAN DE VEN, G. W. J.; VAN ITTERSUM, M. K. What drives sustainable biofuels? A review of indicator assessments of biofuel production systems involving smallholder farmers. *Environmental Science & Policy*, v. 37, 2014, p. 142-157.

GERIS, R. *et al.* Biodiesel de soja: reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 30, n. 5, Out. 2007, p. 1369-1373.

KNOTHE, G. Other uses of biodiesel. In: *The Biodiesel Handbook*, Editors Editors G. Knothe, J. Krah, J. Van Gerpen. AOCS Press, Champaign, IL, 2005.

KOÇAR, G.; CIVAS, N. An overview of biofuels from energy crops: current status and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 28, 2013, p. 900-916.

GREENPEÇAS INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS LTDA. *Prensa Extração de Óleo*. Disponível em: <<http://www.greenpecas.com.br/equipamentos/catalogos/Prensa.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2016.

HANNA, M. A.; ISOM, L.; CAMPBELL, J. Biodiesel: current perspectives and future. *Journal of Scientific and Industrial Research*, v. 64, 2005, p. 854-857.

JOHNSON, L. A., MONTGOMERY, D. C. *Operations research in production: Planning, scheduling, and inventory control* New York: Wiley, 1974.

LARK, T. J.; SALMON, J. M.; GIBBS, H. K. Cropland expansion outpaces agricultural and biofuel policies in the United States. *Environmental Research Letters*, v. 10, n.4, 2015, p. 1-11.

MANDARINO, J. M. G., ROESSING, A. C. *Tecnologia para produção do óleo de soja: Descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos*. Londrina: Embrapa Soja, 2001.

MARTINS, E. *Contabilidade de custos*. 10<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MENTZER, J. T *et al.*,. Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, v. 22, n. 2, 2001, p. 1-25.

MIGUEL, P. A. C.; SOUSA, R. O Método do estudo de caso na Engenharia de Produção. In: *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Operações*. (Coord.) Paulo A. Cauchick Miguel. Coleção Campus-ABEPRO. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2012.

REPÓRTER BRASIL. *Biodiesel, 10 anos: Os desafios da inclusão social e produtiva*. Disponível em: <[http://reporterbrasil.org.br/wp-content/uploads/2015/02/22-CartilhaBiodiesel\\_versaofinal\\_WEB.pdf](http://reporterbrasil.org.br/wp-content/uploads/2015/02/22-CartilhaBiodiesel_versaofinal_WEB.pdf)>. Acesso em: 30 jul. 2016.

RODRIGUES, R. A. Biodiesel no Brasil: diversificação energética e inclusão social com sustentabilidade. In: *O Futuro da Indústria: Biodiesel*. (Eds.) José Rincon Ferreira, Carlos Manuel Pedroso Neves Cristo. – Brasília. MDIC-STI/IEL, 2006.

SCRAMIM, F. C. L; BATALHA, M. O. Gestão de custos agroindustriais In: BATALHA, M. O. *Gestão Agroindustrial*: GEPAI: Grupo de estudos e pesquisas agroindustriais. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2011.

SERRA, T.; ZILBERMAN, D.. Biofuel-related price transmission literature: A review. *Energy Economics*, v. 37, 2013, p. 141-151.

SHEEHAN J. et al. Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus (*Final Report NREL/SR-580-24089*)(Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory), 1998.

SILVA, A. D. Distribuição e Comercialização de Biodiesel e suas Misturas. Palestra/Apresentação. *6º Congresso Internacional de Bioenergia*. Curitiba, 2011.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. *Operations Management*. Seventh Edition. Pearson, Harlow, 2013.

STATTMAN S.; MOL A. Social sustainability of Brazilian biodiesel: the role of agriculture. *Geoforum*, v. 54, 2014, p. 282-294.

PIRES, S. R. I. *Gestão da Cadeia de Suprimentos (Supply Chain Management)*: Conceitos, Estratégias e Casos. 2ª. Edição. São Paulo: Atlas, 2009.

VAN GERPEN, J. *Biodiesel Production Technology*. Subcontractor Report. Renewable Products Development Laboratory, NREL/SR-510-36244, USDA/NCAUR., Aug. 2002–Jan. 2004.

YANASE, J. *Custos e formação de preços*: Importante ferramenta para tomada de decisões. Editora Trevisan, 2018.