

# ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA SELEÇÃO DE OLEAGINOSAS NA CADEIA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL<sup>1</sup>

---

Bárbara Françoise Cardoso<sup>2</sup>  
Jean dos Santos Nascimento<sup>3</sup>  
Adriano Firmino Valdevino de Araújo<sup>4</sup>  
Waldecy Rodrigues<sup>5</sup>  
Thiago José Arruda de Oliveira<sup>6</sup>

**RESUMO:** No Brasil, a soja é a principal fonte de óleo utilizada na cadeia de produção de biodiesel. Outras oleaginosas são usadas em menor escala. O objetivo deste trabalho foi identificar qual a oleaginosa mais adequada como fonte de óleo vegetal para a cadeia de produção de biodiesel. Para isso foi utilizado o método multicritério de apoio à decisão ELECTRE III, que ordena as alternativas de acordo com os critérios estabelecidos. Estes critérios foram custo de produção, produtividade da área, produtividade do óleo, preço do óleo e custo da mão de obra. O resultado da análise multicritério ordenou as oleaginosas da seguinte maneira: girassol, canola e algodão empatados como primeira melhor alternativa, soja e palma empatadas como segunda melhor alternativa, e mamona como terceira e última alternativa.

**Palavras-chaves:** oleaginosas, cadeia produtiva do biodiesel, ELECTRE III.

## MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS TO SELECT OILSEEDS IN THE BIODIESEL SUPPLY CHAIN

**ABSTRACT:** Soybean is Brazil's main source of oil that feeds the biodiesel supply chain. Other oilseeds are used on a smaller scale. This work aimed to identify the most suitable oilseed crop for this supply chain. To that end, we used the multi-criteria decision analysis method ELECTRE III, which ranks a set of alternatives according to pre-established criteria. These criteria were cost, area yield, oil yield, oil price and labor cost. The result of the multi-criteria decision analysis was the following: sunflower is tied in the first place with canola and cotton as best possibility, soybean and palm as the second, and castor oil as the third and last.

**Key-words:** oilseeds, biodiesel production chain, ELECTRE III.

**JEL Classification:** Q13, Q16.

---

<sup>1</sup>Os autores agradecem os pareceristas anônimos da revista pelas valiosas contribuições, eximindo-os de quaisquer equívocos encontrados neste artigo. Estes são de inteira responsabilidade dos autores.

<sup>2</sup>Gestora do Agronegócio, Mestre, Toledo, Paraná, Brasil (e-mail: barbarafcardoso@gmail.com).

<sup>3</sup>Economista, Doutor, Professor adjunto do colegiado de Economia e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional da UFT, Palmas, TO, Brasil (e-mail: jean.sn@gmail.com).

<sup>4</sup>Economista, Doutor, PPGDR/UFT, Palmas, TO, Brasil (e-mail: afva77@uft.edu.br).

<sup>5</sup>Economista, Doutor, UFT, Palmas, TO, Brasil (e-mail: waldecy@terra.com.br).

<sup>6</sup>Economista, Mestre, UFT, Palmas, TO, Brasil (e-mail: thiago.arruda@gmail.com).

## 1-INTRODUÇÃO

O uso de fontes alternativas de energia não é algo recente. O primeiro experimento envolvendo um motor movido a óleo vegetal ocorreu em 1900, desenvolvido por Rudolf Diesel a partir de óleo de amendoim (BRASIL, 2003; RATHMANN et al., 2005; SILVA; FREITAS, 2008). A primeira patente de obtenção de combustível a partir de óleo vegetal foi concedida em 1937 e, em 1938, observa-se o primeiro registro de uso comercial de óleo vegetal (RATHMANN et al., 2005).

Segundo Sluszz e Machado (2006), já em 1931 o governo brasileiro autorizou a utilização de álcool etílico misturado à gasolina, caracterizando a primeira experiência brasileira com biocombustíveis. No entanto, a abundância de petróleo e o baixo custo de seu refino, bem como os altos custos da produção de sementes para extração de óleo, fizeram com que os óleos vegetais tivessem um papel incipiente como matéria-prima na produção de combustíveis em relação aos derivados de petróleo durante início e meados do século XX (SILVA; FREITAS, 2008).

As crises de petróleo observadas ao longo da década de 1970 fizeram com que países de todo o mundo se voltassem para a conservação e o uso de fontes alternativas de energia, marcando uma retomada das pesquisas relacionadas ao uso de óleos vegetais na produção de combustíveis. De acordo com Parente (2006), as crises do petróleo, em especial a de 1973, despertaram uma nova consciência em relação à produção e consumo de energia, principalmente a proveniente de fontes não renováveis.

Essa tendência foi reforçada, em especial a partir de 1990, pela crescente preocupação com questões ambientais e sua relação com o desenvolvimento e as guerras no Oriente Médio, guerras essas que afetaram significativamente os principais países produtores de petróleo (BRASIL, 2003). O resultado foi uma intensificação do uso de biocombustível em todo o mundo.

O Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL) foi a resposta do Brasil aos choques de petróleo da década de 1970, apoiando a produção de etanol a

partir da cana-de-açúcar. Segundo Rathmann et al. (2005), esse programa fomentou os primeiros estudos relacionados às fontes alternativas de energia no Brasil. À época, pensou-se também na criação de um Programa Nacional do Óleo, de modo a apoiar a produção e o uso de óleos vegetais como substitutos do óleo diesel. No entanto, restrições relacionadas à viabilidade técnica da produção de óleo vegetal fizeram com que o Programa Nacional do Óleo não fosse implantado (FREITAS, 2004; VIEIRA, 2006). No que diz respeito ao PROÁLCOOL, a enorme dependência da cana-de-açúcar, aliada a outros fatores, tal como a falta de mercado externo, consistiu em um grave entrave para esse programa; porém, este perdurou até o final da década de 1990 (SILVA; FREITAS, 2008).

O início da década de 2000 foi marcado por uma série de ações do governo brasileiro que culminou no lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) em 2005, consistindo no marco regulatório (RATHMANN et al., 2005). Segundo Vieira (2006), o PNPB se alicerça em três fatores motivadores: 1) energético, como uma ação para a redução da dependência em relação ao óleo diesel; 2) ambiental, na medida em que apoia o uso de fontes de energias renováveis e menos poluentes e 3) social, diante da possibilidade de geração de renda e emprego, em especial no meio rural.

Neste contexto, o objetivo desse artigo foi verificar, a partir da análise multicritério, qual oleaginosa é mais adequada como fonte de óleo vegetal para a cadeia de produção de biodiesel. Para tanto, foram utilizados como critérios: custo de produção da oleaginosa, produtividade da área plantada, custo da mão de obra, teor do óleo por hectare e preço do óleo vegetal. As oleaginosas consideradas foram: mamona, girassol, soja, algodão, palma e canola.

O presente trabalho está dividido em quatro seções, sendo a primeira esta introdução. Na seção 2 são apresentadas algumas considerações sobre a produção de biodiesel, as oleaginosas utilizadas e as em potencial para a produção deste biocombustível. Na seção 3 apresentam-se os métodos multicritério de apoio à decisão, destacando o método ELECTRE III, o qual é utilizado nesta análise para a ordenação das

alternativas. Na seção 4 estão os resultados e as discussões a respeito dos mesmos. E na seção 5 encontram-se as principais conclusões aferidas dos resultados.

## 2 - BIODIESEL E CONSIDERAÇÕES SOBRE OLEAGINOSAS

O biodiesel é definido como um combustível biodegradável, originado de fontes renováveis, tais como óleos vegetais e gorduras animais. No Brasil, o biodiesel deve atender às especificações da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). O percentual de biodiesel misturado ao diesel é indicado pelo número que precede a letra B (*blend*). Dessa forma, B20 indica que o óleo carburante é composto com 80% de óleo diesel e 20% de biodiesel e B100 indica o biodiesel puro.

A tabela 1 apresenta algumas características de oleaginosas com uso efetivo ou potencial na cadeia de produção de biodiesel.

Em outros países estas oleaginosas são utilizadas para a produção de biodiesel. Nos Estados Unidos, a soja é a principal fonte de óleo utilizada; nos países da Europa utilizam prioritariamente a canola ou colza, seguida da soja e do girassol; e nos países da Ásia e Oceania que utilizam a palma (BUAINAIN; BATALHA, 2007; PRATES; PIEROBON; COSTA, 2007).

Segundo Bilich e Silva (2006), o Brasil é caracterizado por uma rica diversidade de fontes de matéria-prima para a cadeia de produção de biodiesel. Sluszz e Machado (2006) descrevem características relacionadas a 12 oleaginosas utilizadas ou com potencial de utilização na cadeia de produção de biodiesel, quais sejam dendê, coco, babaçu, girassol, canola, mamona, amendoim, soja, pinhão manso, nabo forrageiro, gergelim e algodão. No entanto, Peres e Beltrão (2006) chamam a atenção para o fato de que algumas dessas oleaginosas, tais como o babaçu e o pinhão manso<sup>7</sup>, não possuem domínio téc-

nico<sup>8</sup>. Adicionalmente, segundo Buainain e Batalha (2007), a mamona e o babaçu são as oleaginosas menos competitivas no Brasil devido às práticas e técnicas de manejo que ainda são extrativistas e devido ao seu preço elevado no mercado internacional.

No entanto, observa-se uma concentração na utilização da soja como fonte de óleo vegetal na produção de biodiesel no Brasil. Segundo a ANP (2010), em 2009 as principais fontes de óleo utilizadas para a produção de biodiesel foram o óleo de soja (75%), o sebo (16%) e o óleo de algodão (6%). Os 3% restantes foram divididos entre o óleo de mamona, de palma, de amendoim, de girassol, de nabo forrageiro e óleos e gorduras residuais (ANP, 2010). A utilização da soja como matéria-prima na produção de biodiesel permaneceu em um patamar da ordem de 78% entre novembro de 2008 a agosto de 2009. Considerando as regiões Sudeste e Centro-Oeste, esse percentual ultrapassa os 80% em agosto de 2009. Chama-se a atenção para a região Norte, onde a principal matéria-prima utilizada foi a gordura bovina (52,3%), seguida da soja (30,8%), em agosto de 2009 (ANP, 2012).

Considerando que o número de usinas de biodiesel autorizadas pela ANP é reduzido, faz-se necessária maior diversificação das fontes de óleo vegetal. De acordo com ANP (2012), havia 6 usinas autorizadas na região norte, 7 na região sul, 8 no Nordeste, 16 no Sudeste e 24 usinas na região Centro-Oeste. As matérias-primas utilizadas são diversas e, em cada usina, predomina o uso de uma determinada oleaginosa ou o uso de gordura animal, dependendo da localização dessas usinas.

Apesar de o Brasil produzir diversas variedades de oleaginosas para a produção de biodiesel, a soja ainda é a mais utilizada, como mostrado nos dados supracitados. Contudo, o processo de produção de biodiesel pode utilizar diferentes tipos de oleaginosas como fonte de óleo vegetal. Uma mesma usina pode trabalhar com mais de uma fonte de óleo utilizando o mesmo processo tecnológico (COSTA; SILVA; VALLE, 2009).

<sup>7</sup>Insera-se aqui o caso da macaúba que, embora possua um teor de óleo menor do que a soja, possui cinco vezes mais produção de litros de biodiesel por hectare em relação à soja (CIFLORESTAS, 2011).

<sup>8</sup>Em especial o babaçu, a falta de domínio técnico é evidenciada, principalmente, pelo fato de se tratar de culturas de caráter extrativista e pelo pouco avanço de pesquisas (PERES; BELTRÃO, 2006).

**Tabela 1** - Características de Oleaginosas com usos Efetivo ou Potencial na Cadeia de Produção de Biodiesel

| Espécie               | Origem do óleo | Teor de óleo (%) | Demanda por área cultivada <sup>1</sup> (ha) | Meses de colheita | Rendimento de óleo (t/ha) |
|-----------------------|----------------|------------------|--|-------------------|---------------------------|
| Dendê/palma           | Amêndoa        | 22 - 26          | 200  | 12                | 3,0 - 6,0                 |
| Babaçu <sup>2</sup>   | Amêndoa        | 66               | 8.900  | 12                | 0,1 - 0,8                 |
| Girassol <sup>2</sup> | Grão           | 38 - 48          | 1.090  | 03                | 0,5 - 1,9                 |
| Colza ou canola       | Grão           | 40 - 48          | 1.430  | 03                | 0,5 - 0,9                 |
| Mamona <sup>2</sup>   | Grão           | 40 - 50          | 1.400  | 03                | 0,5 - 1,0                 |
| Amendoim <sup>2</sup> | Grão           | 40 - 50          | 1.420  | 03                | 0,6 - 0,8                 |
| Soja                  | Grão           | 17 - 18          | 2.850  | 03                | 0,2 - 0,6                 |

<sup>1</sup>Para a produção de 1.000 toneladas de óleo.

<sup>2</sup>As fontes apresentam divergência nas informações relativas ao teor de óleo e/ou rendimento de óleo. Para efeito de cálculo, considerou-se o limite inferior, isto é, o menor valor apresentado nas fontes.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de Sluszz e Machado (2006) e Cadernos NAE (apud BILICH; SILVA, 2006).

Ainda de acordo com a ANP (2012), a capacidade produtiva das usinas está além da produção efetiva, logo as usinas poderiam diversificar suas matérias-primas e aumentar a quantidade utilizada de cada uma com o intuito de ampliar a produção e reduzir a ociosidade.

Assim, realça-se que é necessário ter clareza sobre quais oleaginosas podem ter desempenho tão viável quanto a soja, de forma que as alternativas para a produção de biodiesel sejam múltiplas e viáveis ao mesmo tempo.

### 3 - METODOLOGIA

#### 3.1 - Métodos Multicritério de Apoio à Decisão

Os métodos multicritério de apoio à decisão surgiram com o aperfeiçoamento da pesquisa operacional pós-Segunda Guerra Mundial e continuaram evoluindo. Estes métodos foram fortemente desenvolvidos durante a década de 1970, quando surgiram algumas escolas de pensamento, destacando-se duas: a Escola Americana e a Escola Europeia. A primeira possui características semelhantes às da pesquisa operacional, tais como a objetividade e a busca por uma solução ótima. A segunda escola de pensamento caracteriza-se pela busca de conhecimento, deixando de lado a solução ótima (MIRANDA, 2008).

Os modelos de análise multicritério foram

surgindo na medida em que os recursos matemáticos foram evoluindo. Assim, novas aplicações foram dadas a estes modelos, como na área da saúde, na gestão de transportes e na análise de impactos ambientais<sup>9</sup>.

Embora existam vários métodos de análise multicritério, cada um com suas especificidades, as etapas correspondentes a tal análise são as mesmas, não necessariamente na ordem apresentada a seguir. Para Gomes, Araya e Carignano (2004) e Souza (2003 apud MIRANDA, 2008), as etapas são:

- Identificação dos tomadores de decisão - os tomadores de decisão são um grupo de pessoas que vai decidir qual(is) alternativa(s) é(são) a(s) melhor(es) para solucionar o problema;
- Formulação do problema - é o problema de “pesquisa”, ou seja, é o que se quer decidir;
- Determinação das ações ou alternativas - é a criação de ações ou alternativas que satisfaçam a solução do problema, ou seja, são possíveis soluções para o problema;
- Elaboração de critérios ou atributos - é a construção de critérios ou atributos que possibilitam a análise das alternativas para a solução do problema;
- Avaliação das alternativas - é a criação de uma matriz de avaliações ou tabela de performances que permite avaliar as alternativas de acordo com

<sup>9</sup>Este trabalho não explicará cada método multicritério existente por não ser o foco dessa pesquisa, porém, para mais detalhes a respeito de tais métodos, ver Gomes, Araya e Carignano (2004) e Miranda (2008).

cada critério. As linhas correspondem às alternativas e as colunas aos critérios;

- Determinação de pesos - é a criação de ponderações para cada critério, sendo o critério com maior peso o mais importante; e
- Agregação dos critérios - é a agregação e ordenamento das alternativas de acordo com os critérios estabelecidos, ficando a primeira alternativa como a melhor solução para o problema exposto. Contudo, a tomada de decisão será feita pelo tomador de decisão que poderá não escolher a solução proposta pelo método.

Cabe ressaltar que dependendo do método multicritério utilizado algumas dessas etapas podem deixar de existir e outras podem ser acrescentadas, etapas estas específicas a cada método.

### 3.2 - Métodos ELECTRE

Considerando o objetivo deste trabalho e os métodos multicritério de apoio à decisão, o método mais adequado para a resolução do problema desta pesquisa é o método ELECTRE, pois este auxilia na tomada de decisão para problemas que tem como propósito ordenar as alternativas da melhor para a pior e é utilizado quando se tem poucas alternativas.

Os métodos ELECTRE avaliam um conjunto de alternativas em relação à capacidade de cada uma contribuir para a resolução de um problema, sendo que os critérios caracterizam os aspectos mais relevantes para a análise. Miranda (2008) destaca que as versões deste método possuem a mesma base conceitual, mas uma versão supre as limitações das anteriores, sendo que cada versão resolve diferentes tipos de problemas.

Os métodos ELECTRE mais usados são cinco, a saber: ELECTRE I, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV e ELECTRE TRI<sup>10</sup>. Neste trabalho será utilizado o método ELECTRE III, que usa dados imprecisos por meio de pseudocritérios e dos limites de preferência e de indiferença e auxilia na solução do problema de

gerar uma ordenação das alternativas.

O ELECTRE III trabalha com a ordenação e classificação das alternativas selecionadas quando há um único decisor. Para mais de um decisor, este método pode ser adaptado restabelecendo os pesos dados a cada critério. Os pesos são estabelecidos de acordo com a relevância de cada critério e com os tomadores de decisão. O critério considerado mais relevante recebe maior peso. Quando se misturam critérios econômicos, sociais, ambientais e técnicos, a relevância de cada critério é estabelecida de acordo com a visão do tomador de decisão. Neste trabalho, os critérios considerados econômicos terão maior peso.

Os critérios utilizados neste método são, na realidade, pseudocritérios. Estes correspondem aos limites de tolerância para a transição de uma situação de preferência a outra, quando duas alternativas são comparáveis (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004, p. 96). Estes limites de tolerância são os limites de preferência ( $p$ ) e de indiferença ( $q$ ) usados para identificar as diferenças entre as alternativas e ordená-las<sup>11</sup>. Aliás, o primeiro passo para a comparação entre as alternativas é estabelecer estes limites.

Os limites de preferência ( $p$ ) são definidos como:

$$aPb \leftrightarrow g(a) - g(b) > +p \quad (1)$$

E os limites de indiferença ( $q$ ) são definidos como:

$$aIb \leftrightarrow -q = g(a) - g(b) = +q \quad (2)$$

No qual

$aPb$  significa que  $a$  é estritamente preferível a  $b$ ;

$aIb$  significa que  $a$  é indiferente a  $b$ ; e

$g(\cdot)$  significa a função de avaliação de um critério para determinada alternativa.

De acordo com Gomes, Araya e Carignano (2004), o pesquisador pode optar por não atribuir valores aos limites supracitados por: (1) não ser capaz de optar por uma das alternativas; (2) não saber

<sup>10</sup>Para detalhes sobre esses métodos, ver Gomes, Araya e Carignano (2004) e Miranda (2008).

<sup>11</sup>Tomou-se aqui a notação adotada por Gomes, Araya e Carignano (2004).

a real preferência do tomador de decisão; e (3) não querer discriminar uma alternativa. Optou-se, neste trabalho por não atribuir valores a estes limites, devido às três justificativas.

O segundo passo da comparação é verificar para cada par de alternativas ( $a$ ,  $b$ ) o índice de concordância  $c_i(a, b)$ , para cada critério  $i$ , para a construção de uma matriz, a matriz de concordância. Este índice é calculado da seguinte forma:

$$c_i = \frac{K^+(a,b)+K^-(a,b)}{K^+(a,b)+K^-(a,b)+K^-(a,b)} \quad (3)$$

em que

$K^+(a, b)$  representa a soma dos pesos dos critérios quando  $g(a) > g(b) + q$ ;

$K^-(a, b)$  representa a soma dos pesos dos critérios quando  $-q \leq g(a) - g(b) \leq q$ ;

e  $K^-(a, b)$  representa a soma dos pesos dos critérios quando  $g(a) < g(b) - q$ .

Sendo  $0 < c_i < 1$ , quanto mais próximo de 1 maior é a intensidade de concordância da preferência entre as alternativas, considerando todos os critérios utilizados na análise. Concorda-se que o critério  $a$  pode ser tão bom quanto o critério  $b$ .

Há outro índice importante para a análise, o índice de discordância  $d_i(a, b)$ , que forma a matriz de discordância, a qual é complementar à matriz de concordância e cuja interpretação é inversa à de tal matriz. O índice de discordância é calculado da seguinte forma:

$$d_i(a, b) = \max\left(0, \frac{g_i(b)-g_i(a)}{g_i(a)}\right) \quad (4)$$

Da mesma forma que o índice de concordância, o de discordância também varia entre 0 e 1 e, quanto mais próximo de 1, maior é a discordância de que o critério  $a$  pode ser tão bom quanto o critério  $b$ .

Estes dois índices, juntos, compõem o índice de credibilidade que é formado pelo índice de concordância que for maior do que o índice de discordância para todos os critérios. Com o índice de credibilidade, é formada a matriz de credibilidade, a qual é usada para a ordenação das alternativas. Quando

não há índices de discordância maior do que os índices de concordância, a matriz de credibilidade corresponde à própria matriz de concordância (GENERINO, 2006; FREITAS; COSTA, 1998). Esta matriz representa a última etapa do método ELECTRE III.

### 3.3 - Dados, Fontes e Tratamento dos Dados

Para a análise pelo método ELECTRE III, utilizou-se o *software* ELDEMO, que usa o máximo de seis alternativas e cinco critérios.

As alternativas utilizadas nesta análise são opções de oleaginosas para a cadeia de produção de biodiesel, tais como mamona, girassol, soja, algodão, palma e canola. Essas oleaginosas foram selecionadas por já serem utilizadas no processo de produção de biodiesel em pouca quantidade ou, no caso da canola, como principal fonte de óleo vegetal em outros países. A veracidade do uso de tais oleaginosas pode ser comprovada no Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2010).

Os critérios correspondem a alguns aspectos relevantes na produção das oleaginosas selecionadas, que influenciam indiretamente o custo de produção do biodiesel, tais como custo de produção das oleaginosas, produtividade da área plantada, custo da mão de obra, teor do óleo por hectare e preço do óleo<sup>12</sup>. Os valores dos três primeiros critérios foram encontrados na CONAB (2010b) para o ano de 2012, considerando os valores de maio de 2012. O teor de óleo por hectare considerado foi o utilizado em Sluszz e Machado (2006) e Cadernos NAE (apud BILICH; SILVA, 2006) e BiodieselBr (2010). O preço do óleo vegetal foi encontrado na CONAB (2010a) e UniAmerica (2012).

O custo de produção é fundamental para a análise da viabilidade econômica da produção de

<sup>12</sup>De acordo com Gomes, Araya e Carignano (2004), alguns métodos multicritério não recomendam o uso de mais de 7 critérios devido às limitações humanas, e os que permitem mais de 7 critérios, recomendam que estes não passem de 20 devido à capacidade de visão sistêmica do ser humano. Como o método ELECTRE III compara os pares de alternativas, ele se encontra no caso em que não se recomenda o uso de mais de sete critérios. Por isso, o número reduzido de critérios nesta análise.

determinada oleaginosa, assim como o custo da mão de obra. Quanto menores os custos supracitados, melhor será a alternativa. A produtividade da área plantada retrata a possibilidade de se produzir mais oleaginosa utilizando-se menos área. Logo, quanto maior a produtividade melhor será a alternativa, pois menos área será utilizada permitindo, assim, a diversificação do uso da terra. O teor de óleo por hectare de cada oleaginosa será melhor quanto maior ele for, pois menos oleaginosas serão necessárias para obter uma mesma quantidade de óleo. Quanto ao preço do óleo vegetal, quanto menor for o seu valor, melhor será a alternativa, pois, assim, menor será o custo final da produção do biodiesel.

Os pesos atribuídos a cada critério tomaram como referência o ponto de vista econômico. Logo, os aspectos considerados econômicos tiveram peso maior do que os demais. Para calculá-los, considerou-se o efeito econômico de cada critério para cada oleaginosa no custo final do biodiesel. Cabe ressaltar que a literatura foi consultada para o estabelecimento dos pesos.

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 - Análise dos Critérios e Alternativas

O custo de produção da oleaginosa, o preço do óleo e o custo da mão de obra foram considerados fatores “negativos” para a ordenação das alternativas. Dessa forma, quanto maior forem os valores desses critérios, pior seria a alternativa.

A palma foi a oleaginosa que apresentou maior custo de produção e custo da mão de obra, com R\$491,92/ha e R\$128,36/ha, respectivamente, enquanto a soja apresentou menor custo de produção e de mão de obra, R\$41,60/ha e R\$0,30/ha, respectivamente.

Cabe destacar algumas características dessas oleaginosas, tais como seu ciclo de vida, tipo de cultivo, intensidade do nível de mecanização e regiões e estados que concentram a produção. Tais características facilitam o entendimento dos resultados da análise multicritério utilizada. Das oleaginosas sele-

cionadas, o girassol, a soja, canola e o algodão são culturas anuais e mecanizadas, enquanto a mamona é uma cultura semiperene, intensiva em mão de obra. Já a palma também é intensiva em mão de obra, mas é uma cultura perene.

O preço do óleo apresentou-se maior para o óleo de mamona, R\$5.850/t, e menor para o óleo de algodão, R\$1.800/t. Essa diferença pode ser explicada, entre outros fatores, pelo volume produzido e especificidade de cada óleo. O óleo de mamona é usado em indústrias farmacêuticas e na produção de cosméticos, bem como nas indústrias ricinoquímicas para a produção de plásticos, lubrificantes, entre outras finalidades. O óleo de algodão, por sua vez, tem maior utilização na indústria de aviação e também é utilizado na indústria alimentícia.

Por outro lado, a produtividade da área plantada e a produtividade do óleo foram consideradas critérios “positivos” para a ordenação das oleaginosas. Dessa forma, quanto maior for o valor desses critérios, melhor seria a alternativa.

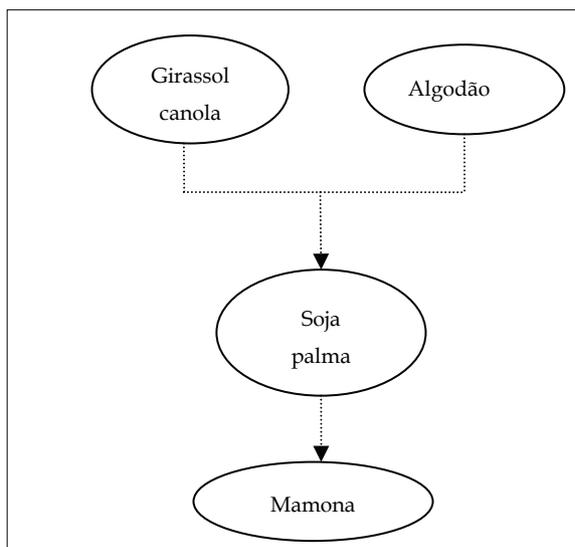
O algodão apresentou maior produtividade da área plantada, com 3.700 kg/ha, enquanto a mamona apresentou menor produtividade da área, 1.200 kg/ha. Essa diferença está na quantidade produzida e no tamanho da área de produção. A área plantada de algodão no Brasil em 2012 ficou em torno de 1.002 mil hectares, enquanto a mamona ficou perto de 148 mil hectares. Enquanto a produção de algodão foi de aproximadamente 3.825 mil toneladas e a de mamona ficou em torno de 105 mil toneladas.

A produtividade do óleo foi maior para a palma e menor para a soja, com 3,0 t/ha e 0,2 t/ha. Ressalta-se que foi considerado o limite inferior do intervalo de produtividade do óleo que a oleaginosa pode ter. Mesmo se fosse considerado o limite superior, a palma e a soja continuariam com, respectivamente, a maior e a menor produtividade do óleo.

### 4.2 - Resultado da Análise Multicritério

De acordo com os critérios e as alternativas estabelecidas para a resolução do problema exposto,

a ordem das alternativas foi: girassol, canola e algodão empatados como primeira melhor alternativa, soja e palma empatadas como segunda melhor alternativa, e mamona como terceira e última alternativa. Essa ordenação é mostrada na figura 1.



**Figura 1** - Ordenação Final das Alternativas.  
Fonte: Dados da pesquisa.

A mesma ordenação pode ser representada pela matriz de ordenação das alternativas (Tabela 2) que, além da ordem, mostra a relação de preferência (P), indiferença (I) e incomparabilidade entre as alternativas (R).

**Tabela 2** - Matriz de Ordenamento das Alternativas

|          | Mamona | Girassol | Soja | Algodão | Palma | Canola |
|----------|--------|----------|------|---------|-------|--------|
| Mamona   | I      | P-       | P-   | P-      | P-    | P-     |
| Girassol | P      | I        | P    | R       | P     | I      |
| Soja     | P      | P-       | I    | P-      | I     | P-     |
| Algodão  | P      | R        | P    | I       | P     | R      |
| Palma    | P      | P-       | I    | P-      | I     | P-     |
| Canola   | P      | I        | P    | R       | P     | I      |

Fonte: Dados da pesquisa.

A leitura desta matriz é feita pelas linhas. Com isso, pode-se perceber que a mamona mostrou-se preterível (P-) às demais oleaginosas, ou seja, a mamona é a "pior" alternativa para a cadeia de pro-

dução de biodiesel, devido, principalmente ao alto preço do óleo vegetal. A soja e a palma mostraram-se indiferentes, o que significa que com os critérios utilizados a palma é tão boa quanto a soja e vice-versa. Por fim, o girassol e a canola mostraram-se indiferentes entre eles e incomparáveis ao algodão, o que significa que os critérios utilizados não foram suficientes para estabelecer uma ordem de preferência entre essas oleaginosas. Cabe ressaltar que os pesos atribuídos aos critérios também podem ser condicionantes dessa incomparabilidade.

Outro resultado pertinente é apresentado nas matrizes de concordância (Tabela 3) e de credibilidade (Tabela 4). Estas mostram resultados iguais para todos os pares de alternativas, logo a matriz de discordância é inexistente, pois não há, para cada par de alternativas, índices de discordância maior que os índices de concordância.

**Tabela 3** - Matriz de Concordância

|          | Mamona | Girassol | Soja | Algodão | Palma | Canola |
|----------|--------|----------|------|---------|-------|--------|
| Mamona   | 1      | 0,23     | 0,23 | 0,15    | 0,33  | 0,23   |
| Girassol | 1      | 1        | 0,46 | 0,33    | 0,56  | 0,64   |
| Soja     | 0,77   | 0,54     | 1    | 0,33    | 0,54  | 0,54   |
| Algodão  | 0,85   | 0,67     | 0,67 | 1       | 0,77  | 0,67   |
| Palma    | 0,67   | 0,44     | 0,46 | 0,23    | 1     | 0,67   |
| Canola   | 1      | 0,59     | 0,46 | 0,23    | 0,56  | 1      |

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 4** - Matriz de Credibilidade

|          | Mamona | Girassol | Soja | Algodão | Palma | Canola |
|----------|--------|----------|------|---------|-------|--------|
| Mamona   | 1      | 0,23     | 0,23 | 0,15    | 0,33  | 0,23   |
| Girassol | 1      | 1        | 0,46 | 0,33    | 0,56  | 0,64   |
| Soja     | 0,77   | 0,54     | 1    | 0,33    | 0,54  | 0,54   |
| Algodão  | 0,85   | 0,67     | 0,67 | 1       | 0,77  | 0,67   |
| Palma    | 0,67   | 0,44     | 0,46 | 0,23    | 1     | 0,67   |
| Canola   | 1      | 0,59     | 0,46 | 0,23    | 0,56  | 1      |

Fonte: Dados da pesquisa.

A matriz de concordância mostra o grau de concordância com o resultado mostrado na matriz de ordenamento das alternativas (Tabela 2). O valor

1 para girassol/mamona mostra que o girassol, considerado uma das melhores alternativas é 100% preferível à mamona, que foi considerada a pior alternativa. Por outro lado, há apenas 23% de concordância de que a mamona é preferível ao girassol. Análise semelhante deve ser feita para todos os pares de alternativas, lembrando que a análise da matriz deve ser feita pelas linhas.

A matriz de credibilidade mostra que não houve, para quaisquer pares de alternativas, índice de discordância maior do que o índice de concordância. Por isso, as matrizes de credibilidade e de concordância são idênticas. Logo, a análise da matriz de credibilidade é a mesma que a da matriz de concordância.

A matriz de discordância não foi gerada pelo *software* devido não ter critérios discordantes. Como todas as alternativas puderam ser comparadas em algum grau de concordância, a matriz de discordância não se faz necessária.

## 5 - CONCLUSÕES

Este trabalho teve por objetivo ordenar algumas oleaginosas em uso efetivo e/ou potencial na cadeia de produção de biodiesel com o intuito de verificar a ordem da melhor alternativa a ser utilizada nessa cadeia, por meio da análise dos critérios custo de produção da oleaginosa, produtividade da área plantada, produtividade do óleo, preço do óleo vegetal e custo da mão de obra.

As oleaginosas selecionadas para a análise mostraram-se interessantes alternativas para a cadeia de produção de biodiesel. Contudo, a ordenação final não condiz com a ordem de importância das oleaginosas no processo de produção de biodiesel utilizada atualmente, mas deve-se levar em consideração que algumas oleaginosas incluídas na análise não são utilizadas em grande quantidade no Brasil e que uma mudança nos pesos dos critérios pode modificar o resultado, assim como a inclusão ou exclusão de algum critério.

Ao contrário do que mostra a realidade, o

girassol, a canola e o algodão apresentaram-se como melhores alternativas para a cadeia de produção de biodiesel. A soja, que atualmente é a mais utilizada, mostrou ser inferior a estas oleaginosas e indiferente à palma, isto é, seria indiferente utilizar a palma e a soja no processo produtivo. A mamona, por sua vez, mostrou ser a pior alternativa para a cadeia de produção do biodiesel.

Uma conclusão interessante é que girassol e a canola mostraram-se indiferente uma a outra. Ambas as oleaginosas são culturas mecanizadas e possuem ciclo de vida anual. Embora sendo indicadas como cultura de inverno, ambas têm reduzido a área plantada no Rio Grande do Sul e expandido para a região Centro-Oeste. Dentro dos critérios utilizados, essas oleaginosas apresentaram valores semelhantes, o que explica a indiferença entre essas duas alternativas.

Outra conclusão interessante que se obteve com os resultados é que a soja e a palma mostraram-se indiferentes uma a outra. As duas oleaginosas possuem características muito distintas e, dentro dos critérios utilizados, não se assemelham em valores. A palma é uma cultura perene e intensiva em mão de obra, enquanto a soja é uma cultura com ciclo de vida anual e mecanizada. Mas tanto o óleo de dendê quanto o óleo de soja têm preços menores que as demais oleaginosas, o que implica em menores custos de produção para o biodiesel.

Contudo, a soja é a oleaginosa mais utilizada no Brasil devido às suas características, que favorecem o plantio em todo o território brasileiro. Por isso, além de outros fatores, a soja possui o menor custo de produção agrícola dentre as oleaginosas selecionadas neste trabalho. A viabilidade técnica e econômica de sua produção facilita seu uso em grande quantidade para a produção de óleo vegetal utilizado na cadeia de produção de biodiesel.

Por outro lado, o aumento da quantidade de outras oleaginosas na cadeia de produção de biodiesel diminuiria a atual dependência da soja e disponibilizaria uma diversificação da matéria-prima agrícola para as indústrias de processamento de óleos vegetais, uma vez que a tecnologia de produ-

ção suporta qualquer tipo de oleaginosa e a produção de biodiesel segue o mesmo padrão, independentemente do óleo vegetal escolhido. Dessa forma, a produção de tais oleaginosas receberia maior investimento e incentivos para a diversificação de seu uso.

Cabe ressaltar que este trabalho mostrou algumas limitações, tais como os poucos critérios e alternativas utilizados, devido às limitações do próprio *software* e a desconsideração de informações sobre o mercado de biodiesel, tais como demanda, oferta e consumo. Apresenta-se a sugestão para possíveis pesquisas futuras de inclusão de mais alternativas e critérios e utilização de outro método multicritério.

## LITERATURA CITADA

- AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. Rio de Janeiro: ANP, 2010. 221 p.
- \_\_\_\_\_. **Boletim mensal de biodiesel**: novembro de 2008; agosto de 2012. Rio de Janeiro: ANP, 2012.
- BILICH, F.; SILVA, R. da. Análise multicritério da produção de biodiesel. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO, 13., 2006, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2006. CD ROM.
- BIODIESELBR.COM. **Matérias-primas para a produção de biodiesel**. Paraná: BIODIESELBR.COM, 2010. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/plantas/oleaginosas.htm>>. Acesso em: 13 dez. 2010.
- BRASIL. **Relatório final do grupo de trabalho interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de óleo vegetal**: biodiesel como fonte alternativa de energia. Brasília: Casa Civil, 2003.
- BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. (Coords). **Cadeia produtiva da agroenergia**. Brasília: IICA/MAPA/SPA, 2007. 110 p.
- CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM FLORESTAS - CIFLORESTAS. **Macauá**. Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/texto.php?p=macaua>>. Acesso em: 14 jan 2011.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Canoa**. Brasília: CONAB, 2010a. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1028et=>>>. Acesso em: 13 dez. 2010.
- \_\_\_\_\_. **Custo de produção**. Brasília: CONAB, 2010b. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=545&t=2>>. Acesso em: 02 jan. 2012.
- COSTA, M. A.; SILVA, P. S. C.; VALLE, P. W. A. do. (Coords). **Bioenergia**: cadeia produtiva e co-produtos em Minas Gerais. Belo Horizonte: Instituto de Estudos Pró-Cidadania/SECTES, 2009. 174 p.
- FREITAS, A. L. P.; COSTA, H. G. Avaliação e classificação da qualidade de serviços utilizando uma abordagem multicritério. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 5, n. 3, p. 272-283, dez. 1998.
- FREITAS, S. M. de. Biodiesel à base de óleo de soja é a melhor alternativa para o Brasil? **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 86-89, jan. 2004.
- GENERINO, R. C. M. **Contribuição da abordagem multicritério na seleção de alternativas de reuso de água**: aplicação em um caso de irrigação agrícola e paisagística no Distrito Federal. 2006. 202 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. 168 p.
- MIRANDA, L. M. de. **Contribuição a um modelo de análise multicritério para apoio à decisão da escolha do corredor de transporte para escoamento da produção de grãos agrícolas de Mato Grosso**. 2008. 255 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- PARENTE, E. J. de S. Biodiesel no plural. In: FERREIRA, J. R.; CRISTO, C. M. P. N. **O futuro da indústria**: biodiesel. Brasília: MDIC/SII/IEL, 2006. p. 91-104.
- PERES, J. R. R.; BELTRÃO, N. E. de M. Oleaginosas para biodiesel: situação atual e potencial. In: FERREIRA, J. R.; CRISTO, C. M. P. N. **O futuro da indústria**: biodiesel. Brasília: MDIC/SII/IEL, 2006. p. 67-82.
- PRATES, C. P.; PIEROBON, E. C.; COSTA, R. C.da. Formação do mercado de biodiesel no Brasil. **BNDEx Setorial**, Rio de Janeiro, n. 25, p. 39-64, mar. 2007.
- RATHMANN, R. et al. Biodiesel: uma alternativa estratégica na matriz energética brasileira? In: SEMINÁRIO DE GESTÃO DE NEGÓCIOS, 2., 2005, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UNIFAE, 2005. CD-ROM.
- SILVA, P. R. F. DA; FREITAS, T. F. S. de. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustíveis. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 843-851, maio/jun. 2008.
- SLUSZZ, T.; MACHADO, J. A. D. Características das potenciais culturas matérias-primas do biodiesel e sua adoção

pela agricultura familiar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO e SOCIOLOGIA RURAL, 44., 2006, Fortaleza. **Anais...** Brasília: SOBER, 2006. CD-ROM.

UNIAMERICA. Soluções Integradas de Negócios. **Informe semanal**. São Paulo: UNIAMERICA, 2012. Disponível em: <<http://www.uniamericabrasil.com.br/portugues/infor->

[me.php](#)>. Acesso em: 02 jan. 2013.

VIEIRA, J. N. de S. A agroenergia e os novos desafios para a política agrícola no Brasil. In: FERREIRA, J. R.; CRISTO, C. M. P. N. (Coords.). **O futuro da indústria: biodiesel**. Brasília: MDIC-STI/IEL, 2006. (Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, 14). p. 37-48.

---

Recebido em 15/01/2012. Liberado para publicação em 29/01/2013.