

# Avaliação de biocombustíveis utilizando o apoio multicritério à decisão

Maria Cecília de Carvalho Chaves<sup>a\*</sup>, Carlos Francisco Simões Gomes<sup>b</sup>

<sup>a\*</sup>mariaceci@hotmail.com, UFRJ, Brasil

<sup>b</sup>cfsg1@bol.com.br, UFF, Brasil

## Resumo

Já há algumas décadas, o mundo busca um desenvolvimento sustentável, ambientalmente correto, socialmente justo e economicamente viável. A preocupação com diversas questões ambientais não se limita à preservação do planeta. O objetivo deste trabalho é expor a relevância dos biocombustíveis na matriz energética mundial, apresentando as principais biomassas disponíveis atualmente, suas características, qualidades e defeitos, com a finalidade de selecionar o biocombustível mais adequado ao contexto nacional. Este biocombustível deve se apresentar como uma alternativa viável e menos agressiva ao meio ambiente que o petróleo. Para comparar as alternativas será utilizada a metodologia MACBETH devido à multiplicidade de critérios e juízos de valores envolvidos no processo decisório.

## Palavras-chave

MACBETH. Biocombustível. Sustentabilidade.

## 1. Introdução

Diversos estudos apontam para a necessidade imediata da adoção de medidas que reduzam ou até mesmo revertam os danos já causados ao meio-ambiente, sob pena de impossibilitarmos a existência de vida em nosso planeta em poucas décadas (BIODIESEL, 2011).

Não há dúvida de que os biocombustíveis podem desempenhar um importante papel no fomento da economia verde. Os biocombustíveis, como forma de bioenergia, podem contribuir para alcançar as metas de energias renováveis destinadas a substituir os combustíveis fósseis. O propósito deste artigo é fazer uma avaliação dos biocombustíveis na matriz energética mundial e propor o biocombustível mais adequado ao cenário nacional. Devido à necessidade de se considerar diversos pontos de vista conflitantes tais como custos de produção, desenvolvimento de novas tecnologias e impactos ambientais e sociais, que dificultam a escolha do biocombustível, será utilizado um método de apoio multicritério à decisão (AMD). No AMD, busca-se construir modelos que lidam com juízos de valor subjetivo, ou seja, pressupõe-se aceitar que a subjetividade é um elemento desejável e estará

presente em todo o processo de decisão. Dessa forma, a estrutura de valores dos decisores é associada aos critérios existentes e que serão usados na avaliação das alternativas (GOMES; MELLO; MANGABEIRA, 2008; GOMES; GOMES; COELHO, 2010).

Os métodos de AMD são aplicados em variadas áreas em que se deseja selecionar, ordenar, classificar ou descrever alternativas presentes em um processo decisório em presença de múltiplos critérios. Chaves et al. (2010b) realizaram uma aplicação em F1, Valois e Almeida (2009) fazem uso da técnica SMARTS para propor um modelo decisório para terceirização de atividades produtivas e Costa et al. (2007) usam o ELECTRE TRI na avaliação da satisfação dos consumidores.

Muitas classificações são empregadas para designar os métodos do AMD. Dentre elas, a de maior repercussão é a que subdivide os métodos da Escola Americana e os métodos da Escola Francesa, também designada Escola Europeia. Existem outros métodos multicritério que, no entanto, não se enquadram exclusivamente dentro de uma dessas duas escolas (RANGEL; GOMES, 2010).

A existência de mais de um ponto de vista a ser considerado para a comparação entre um grupo de alternativas ou, como é o caso deste estudo, a determinação da superioridade de uma alternativa sobre a outra pode ser uma tarefa bastante complexa, que demanda o uso de ferramentas capazes de resolver esse tipo de questão. Este artigo faz uso do método MACBETH (*measuring attractiveness by a categorical based evaluation technique*, Bana e Costa e Vansnick, 1995) de apoio multicritério à decisão (AMD), por permitir uma análise mais completa dos critérios quantitativos e principalmente qualitativos de cada combustível avaliado.

Uma diferença importante entre o MACBETH e outros métodos de AMD é que o MACBETH requer apenas julgamentos qualitativo-verbais sobre as diferenças de atratividade entre elementos para, então, gerar pontuações para as opções em cada critério e para ponderar os critérios. A abordagem MACBETH foi considerada como apropriada para a análise do problema, na visão dos atores envolvidos, devido ao seu caráter compensatório, seu tipo de problemática e suas vantagens em relação ao julgamento de inconsistência (BANA E COSTA; CHAGAS, 2004; BANA E COSTA et al., 2002; BANA E COSTA; DE CORTE; VANSNICK, 2005).

## 2. A questão da sustentabilidade energética: biocombustível

Considerando a diminuição, nos últimos anos, da descoberta de novas reservas de petróleo e o ritmo mais elevado de consumo, especialistas afirmam que num futuro próximo teremos consumido metade de todo óleo do planeta. Apesar dos avanços tecnológicos, as novas jazidas encontradas são de petróleo com custo mais elevado de produção, que exigem um grande volume de recursos na prospecção, como para a produção em águas profundas e ultraprofundas e para óleos pesados ou extrapesados. Além disso, existe a necessidade de diminuição na emissão de gases poluentes, principalmente pelas diversas mudanças climáticas relacionadas ao efeito estufa, provocadas pelo consumo desenfreado de combustíveis altamente poluentes.

Apesar dos hidrocarbonetos nas próximas décadas continuarem a ser a principal fonte energética, em razão dos pontos acima descritos, o desenvolvimento de pesquisas de outras fontes de energia é fundamental e nesse contexto a estratégia brasileira foi buscar experiências na área de biocombustíveis.

Biocombustível é a denominação genérica dada aos combustíveis derivados de biomassas como cana-de-açúcar, oleaginosas, biomassa florestal e outras fontes

de matéria orgânica. Os mais conhecidos e utilizados são o etanol (álcool) e o biodiesel, que podem ser aproveitados puros ou adicionados ao combustível convencional. Comparados aos combustíveis fósseis, como o diesel e a gasolina, por serem biodegradáveis, os biocombustíveis são mais limpos, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e causando menor impacto na natureza (SAUER, 2007).

A matriz energética brasileira é uma das mais limpas do mundo, como mostra a Figura 1, ocupando posição de destaque quanto à participação de fontes renováveis (hidroeletricidade, biomassa etc.). De toda a energia consumida no Brasil, 44,4% provém de fontes renováveis, ao passo que a participação dessas fontes na matriz energética mundial é aproximadamente de 13%. Entretanto, ainda como mostrado na Figura 1, as fontes não renováveis ainda são predominantes, respondendo por 55,6% do fornecimento, dos quais 38,8% provêm do petróleo e derivados; 9,5%, do gás natural; 5,8%, do carvão mineral; e 1,5%, da energia nuclear (RODRIGUES; ACCARINI, 2007).

A Figura 2 mostra que em 2008 os recursos renováveis no Brasil alcançaram 46,4% da matriz energética nacional, mostrando um avanço em relação a 2006.

Em 2011, a matriz elétrica nacional viu aumentar a participação das fontes renováveis. Contribuiu para isso o crescimento da geração eólica, de 24,3% em relação a 2010, atingindo 2.705 GWh e, fundamentalmente,

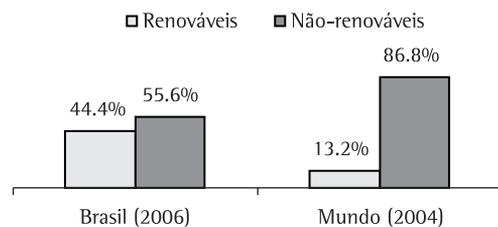


Figura 1. Participação de fontes renováveis e não renováveis na matriz energética. Fonte: Balanço energético nacional (EMPRESA..., 2007).

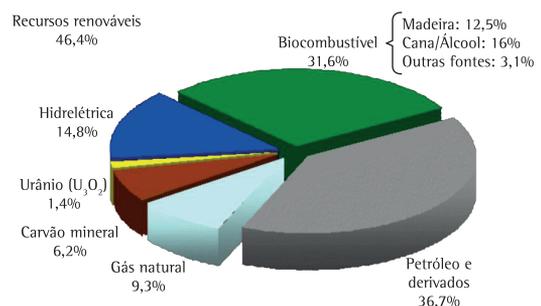


Figura 2. Distribuição da matriz energética no Brasil, ano 2008. Fonte: Balanço energético nacional (EMPRESA..., 2008).

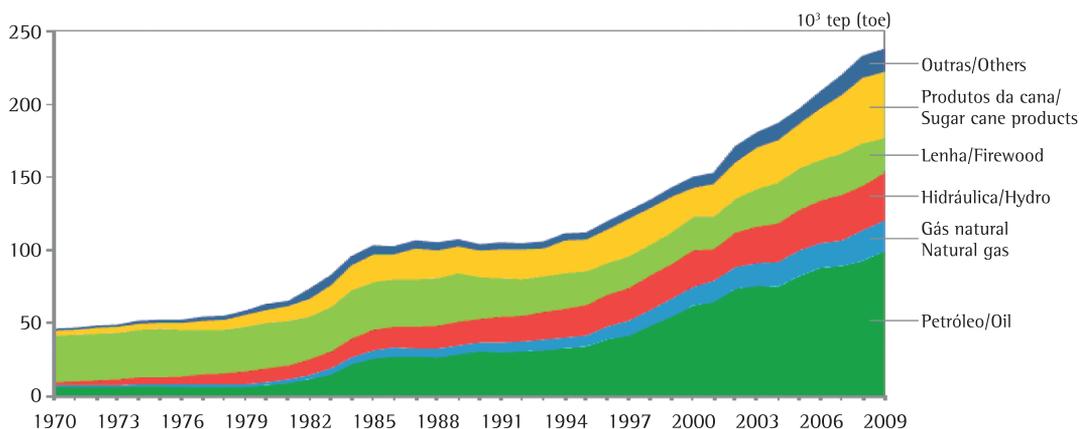


Figura 3. Gráfico da evolução da produção de energia primária no Brasil nas últimas décadas. Fonte: Relatório final do Balanço energético nacional 2010 (EMPRESA..., 2010).

o aumento da geração hidroelétrica no país, que cresceu 6,3% em razão de condições hidrológicas favoráveis. A geração hidroelétrica representou, no ano de 2011, 80,4% dessa matriz, atingindo 428,6 TWh (EMPRESA..., 2012). As Figuras 3 e 4 apresentam a produção de energia primária no Brasil.

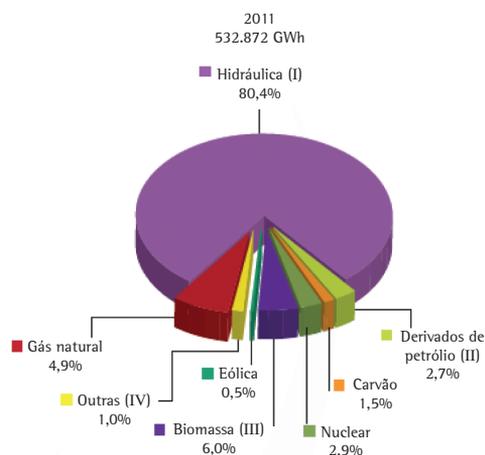
Em 1997, países industrializados e outros integrantes das Nações Unidas firmaram o Protocolo de Kyoto (GREEN PEACE, 2009), um tratado internacional que cria diretrizes gerais para amenizar os problemas ambientais dos impactos ecológicos dos modelos de desenvolvimento industrial e de consumo vigentes. O Protocolo de Kyoto tem como principal diretriz a redução das emissões de gás carbônico pelos países desenvolvidos em 5,2%, em relação aos níveis de emissões de 1990, até 2012.

De acordo com a Figura 5, existem diversas formas de obtenção de energias renováveis, como (i) a partir de biomassa vegetal ou animal; (ii) aproveitamento direto da energia solar e geotérmica; ou (iii) conversão de energia a partir do vento, de marés, correntezas etc. Ainda como mostra a Figura 5, a biomassa pode ser obtida através de três formas distintas: (i) biomassa intensiva em amido, carboidratos, celulose ou lipídios para obtenção de biocombustíveis; (ii) biomassa vegetal para obtenção de palha, lenha, carvão, chips ou briquetes; e (iii) resíduos florestais, agrícolas ou industriais para queima direta ou obtenção de biogás. O presente trabalho irá abordar apenas uma delas, a biomassa para produção dos biocombustíveis.

### 2.1. Biodiesel

O biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis como óleos vegetais e gorduras animais que reagem quimicamente com o álcool ou o metanol.

Geração elétrica por energético no Brasil participação



Nota:

- I) Inclui autoprodução
- II) Derivados de petróleo: óleo diesel e óleo combustível
- III) Biomassa: lenha, bagaço de cana e lixívia
- IV) Outras: recuperações, gás de coqueira e outros secundários

Figura 4. Geração elétrica. Fonte: Anuário estatístico energético (EMPRESA..., 2012).

Ele pode ser produzido a partir de diferentes espécies oleaginosas, entre elas mamona, dendê, girassol, babaçu, soja e algodão, além da cana-de-açúcar, de biomassa florestal e de outras fontes de matéria orgânica, inclusive de origem animal, como sebo bovino, suíno e de aves.

Esse combustível pode ser utilizado isoladamente ou adicionado a outros combustíveis convencionais. Além de substituir o diesel de petróleo em motores de caminhões, tratores, automóveis, também pode ser empregado na geração de energia e calor (SIMÕES, 2007).

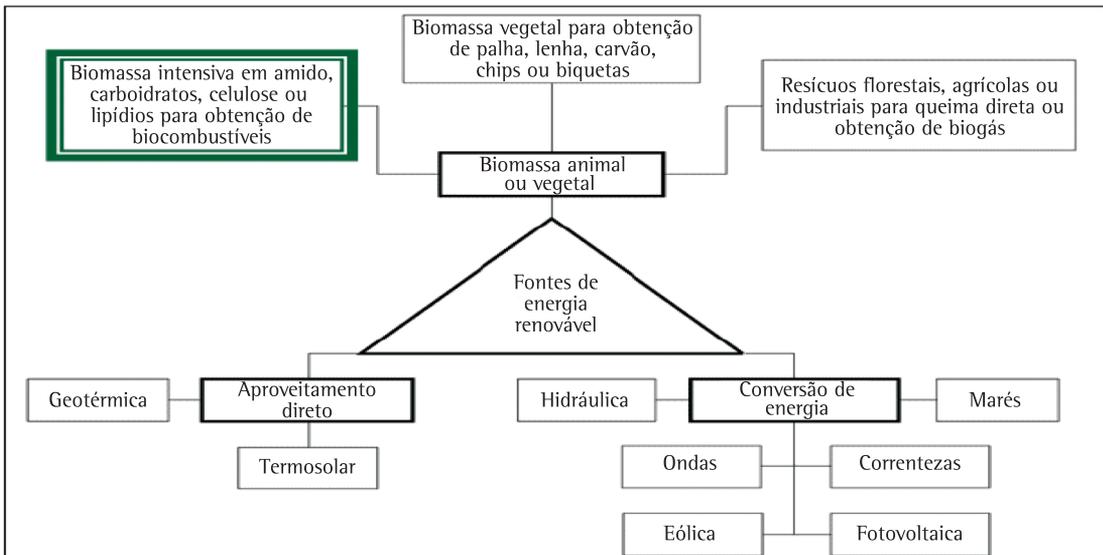


Figura 5. Fontes de energias renováveis e suas formas de aproveitamento. Fonte: BiodieselBR (2011).

Segundo a *Cartilha do Biodiesel* disponibilizada pelo Sebrae (2009), esse biocombustível reduz de forma drástica a emissão de gases poluentes, apresentando benefícios imediatos, principalmente nos grandes centros urbanos. Estudos científicos realizados pela União Europeia indicam que o uso de 1 kg de biodiesel colabora para a redução de 3 kg de CO<sub>2</sub>, um dos gases que provocam o efeito estufa.

Os investimentos em projetos destinados ao desenvolvimento do biodiesel no Brasil ganharam força no final dos anos 1990, mas ficaram restritos às áreas de pesquisa e desenvolvimento (P&D), em especial aos projetos desenvolvidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa.

Em dezembro de 2003, o governo brasileiro constituiu uma comissão executiva interministerial (CEI) e um grupo gestor (GG) para implantação das ações para produção e uso do biodiesel. Com base nos estudos e relatórios da CEI e do GG foi lançado em 2004 o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), vinculado a programas de melhoria do nível de vida de populações de baixa renda e geração de empregos (RODRIGUES; ACCARINI, 2007).

Para garantir a sustentabilidade da cadeia produtiva, a remuneração do agricultor é fundamental nos custos de produção de biodiesel, constituído principalmente pelo custo dos insumos (80%), representado pelas oleaginosas. Os incentivos tributários estabelecidos pelo governo federal, que em áreas mais carentes pode chegar a 100% de isenção fiscal dos tributos federais – restando apenas o imposto sobre a circulação de mercadorias e serviços, o ICMS – promovem ainda

a inclusão social, o desenvolvimento econômico e o equilíbrio ambiental (SAUER, 2007).

Em 2005 foi sancionada a Lei n. 11.097/2005, que fixou em 5% o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado e dá prazo de oito anos para que esse percentual seja atingido. Desde 2008, o diesel vendido no país possui, no mínimo, 2% de biodiesel. Entretanto, em março de 2008 foi estabelecida uma nova regra, pela Resolução n. 2 do Conselho Nacional de Política Energética – CNPE (CONSELHO..., 2008), que aumentou de 2% para 3% o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao óleo diesel.

Em razão da variedade de matérias-primas e as diferentes tecnologias utilizadas, a cadeia produtiva do biodiesel é mais diversificada que a do álcool, permitindo a integração do mercado de óleos vegetais com o de diesel (SAUER, 2007).

## 2.2. Bioetanol

No setor de biocombustíveis, o Brasil é o país com maior experiência mundial, em razão de seu programa de etanol (LEITE; CORTEZ, 2007), implantado em cadeia nacional e com mais de 30 anos de experiência, impulsionado pelo governo federal, pela Petrobras e pela indústria sucroalcooleira.

O Proálcool introduziu no mercado a mistura gasolina-álcool (álcool anidro), que varia de 20% a 25% de acordo com a legislação federal; e incentivou o desenvolvimento de veículos movidos exclusivamente a álcool (álcool hidratado) e dos carros *flex-fuel*,

transformando o Brasil em um dos maiores produtores, consumidores e exportadores de etanol do mundo.

O setor de produção de biocombustíveis no Brasil tem se desenvolvido dentro de parâmetros adequados em relação à sustentabilidade ambiental, sendo possível, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SIMÕES, 2007), incorporar mais de 100 milhões de hectares aos 62 milhões hoje ocupados pela agricultura, sem necessidade de desmatamento de florestas virgens para atender eventual aumento da demanda por etanol.

Com os investimentos em pesquisas, o aprimoramento das técnicas empregadas e os sucessivos ganhos de produtividade na cadeia produtiva do etanol, as áreas utilizadas para produzir a mesma quantidade de cana-de-açúcar tem sido cada vez menores, evitando a necessidade de incorporação de novas áreas de plantio. Essa menor extensão de terra para a mesma produção, ou o aumento da biomassa produzida por unidade de área, e o ciclo de vida da produção da cana-de-açúcar tornam o álcool da cana-de-açúcar muito superior a qualquer outro tipo de biocombustível produzido em larga escala.

O balanço energético verificado na produção do álcool a partir da cana-de-açúcar é excelente, pois a relação entre a energia produzida e a de origem fóssil utilizada como insumo na cadeia de produção do etanol é de 8,3, que significa que, para cada unidade de energia empregada na produção do etanol, mais de oito unidades de energia são produzidas.

Nos Estados Unidos, o balanço energético feito pelo *American Institute of Biological Sciences* é de 1,1, obtido na produção de álcool a partir do milho.

Novas tecnologias também têm permitido o aproveitamento mais eficiente da planta, como a hidrólise do bagaço e da palha da cana, com uma produtividade cada vez maior. Já há consenso científico mundial de que o uso do etanol combustível acarreta redução considerável de diversos poluentes e gases de efeito estufa, em especial do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Além de o etanol substituir aditivos a base de metais pesados (como chumbo e manganês) e o MTBE (éter metil terbutílico), outras vantagens ambientais da sua utilização como combustível são: ausência de enxofre nas emissões; emissão desprezível de partículas e redução de emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos.

### 2.3. Biodiesel de algas

Com a crescente demanda por biodiesel, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas para identificar matérias-primas alternativas aos óleos vegetais de plantas superiores e à gordura animal. Nesse sentido,

novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para a produção de biodiesel a partir de algas e plânctons que podem ser utilizados como biomassa (CASTILHOS, 2008).

Algas são organismos fotossintéticos que usam a energia do sol para converter água e CO<sub>2</sub> em biomassa (VEIGA FILHO, 2007). Elas utilizam também o ambiente aquático para se desenvolverem, não sendo necessária a produção a partir de plantas cultivadas na terra (SUAREZ, 2010). Assim, evita-se o conflito plantações destinadas à alimentação e destinadas à produção de biocombustíveis.

As algas são grandes filtros naturais de carbono – segundo os pesquisadores, elas respondem por 54% do oxigênio da terra, o que é um forte motivador para o desenvolvimento do projeto, pois além de fonte de biodiesel e etanol seriam uma resposta, combate aos gases do efeito estufa. O grande desafio é descobrir a melhor espécie para a produção do combustível, pois existem mais de 300 mil espécies na natureza e apenas 30 mil catalogadas (ESCANDIUZZI, 2008).

Pelo processo realizado no laboratório da Universidade Federal de Santa Catarina, as microalgas são coletadas, isoladas e identificadas, depois levadas para tanques de cultivo, para reprodução. As espécies que se reproduzem com maior velocidade e que possuem maior quantidade de óleo são consideradas as melhores para produção do biodiesel. Após quatro dias, as algas isoladas são levadas para secagem e embaladas para evitar o contato com a luz e o oxigênio do ar. Na última etapa, as microalgas secas são colocadas em reator para extração do óleo que será utilizado na fabricação do combustível por meio de reações químicas (ESCANDIUZZI, 2008).

As principais vantagens (REVISTA..., 2011) de utilização dessa matéria-prima na produção de biocombustíveis em larga escala são:

- O teor de óleo de certas variedades de algas pode chegar a 50% de seu peso seco;
- Um hectare de algas pode produzir 95 mil litros de óleo por ano;
- Regiões desérticas são preferidas para o cultivo da alga por terem altos índices de insolação;
- Até 90% do peso da alga é proveniente do consumo de CO<sub>2</sub>;
- As algas se desenvolvem mais rapidamente quando cultivadas em regiões com alto índice de CO<sub>2</sub>, como as proximidades de fábricas.

O grande problema para a utilização de algas como biodiesel é o elevado custo de produção da matéria-prima e a forma de cultivo das algas.

## 2.4. H-BIO

Diante da necessidade mundial de definição de limites de emissão de poluentes para as tecnologias automotivas, pesquisadores têm buscado alternativas para a produção de combustíveis menos poluentes, economicamente viáveis e de origem renovável.

No Brasil, o CENPES – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras desenvolveu a tecnologia H-BIO, um projeto inovador da carteira do PROTER (PETROBRAS, 2009) para inserir o processamento de matéria-prima renovável no esquema de refino de petróleo e permitir a utilização das instalações já existentes.

O H-BIO é um processo para produção de óleo diesel que utiliza fontes renováveis na sua composição, porém com características físico-químicas finais semelhantes às do óleo diesel mineral. Entretanto, não deve ser confundido com o biodiesel, pois esse é o próprio produto, enquanto o H-BIO é um processo para produção de óleo diesel (PAMPLONA, 2007).

O óleo vegetal ou animal é misturado com frações de diesel de petróleo para ser hidroconvertido em unidades de hidrotreatamento, que são empregadas nas refinarias, principalmente para a redução do teor de enxofre e melhoria da qualidade do óleo diesel, ajustando as características do combustível às especificações da ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (SILVA; CHAGAS; CRUZ, 2012).

Apesar de não ser capaz de reduzir as emissões dos veículos a diesel, o H-BIO é renovável e tem ciclo fechado de emissões de gases de efeito estufa, produzindo menos óxidos de enxofre, responsáveis pelas chuvas ácidas.

A produção de H-BIO apresenta diversas vantagens (PAMPLONA, 2007), uma vez que permite o uso de óleos vegetais de diversas origens, não gera resíduos a serem descartados, incrementa a qualidade do óleo diesel, complementa o programa de utilização de biomassa na matriz energética, otimiza a utilização das frações de óleo nas refinarias, dentre outras.

No desenvolvimento dessa tecnologia foram testados, em planta piloto, diferentes óleos vegetais, tais como os de soja e de mamona, em diferentes condições de operação, que evidenciaram as vantagens do processo, destacando-se o alto rendimento em diesel sem a geração de resíduos e uma pequena produção de propano. Diante disso, a área de refino do abastecimento está realizando testes industriais, que demonstram a adequação e a flexibilidade da tecnologia.

A alta do preço do óleo de soja levou a Petrobras a suspender a produção do H-BIO em agosto de

2007 (PETROBRAS, 2009), uma vez que o preço de venda no cenário econômico atual seria o mesmo do preço do diesel derivado do petróleo, o que não seria interessante no momento (VEIGA FILHO, 2007).

## 3. Apoio multicritério à decisão (AMD)

O AMD consiste em um conjunto de métodos e técnicas para auxiliar ou apoiar pessoas e organizações a tomarem decisões quando presente uma multiplicidade de critérios (GOMES; GOMES, 2012; RANGEL; GOMES, 2010).

No modelo para tomada de decisão estão compreendidos os seguintes componentes: critérios, pesos e as classificações que são dadas para cada alternativa, em cada critério. Pressupondo o conhecimento das preferências dos atores da decisão e a qualidade da avaliação, pode-se admitir que uma ação seja tão boa, melhor ou pior que outra, ou seja, hierarquizar as alternativas. O AMD permite a priorização de alternativas em uma situação de critérios conflitantes, buscando satisfazer as restrições com objetivos conflitantes, ou seja, uma solução de compromisso. Salienta-se que o AMD começa a busca da(s) alternativa(s) de solução do problema pelas alternativas não dominadas, ou seja, alternativas que superam outras alternativas em todos os critérios, evidenciando a hierarquia de preferência das alternativas (GOMES; GOMES, 2012).

Os métodos de AMD podem ser classificados conforme diferentes perspectivas. Muitos autores os classificam segundo a teoria principal em que se fundamentam. Nessa linha, destacam-se duas grandes escolas de pensamento: a Escola Americana e a Escola Francesa. Existem ainda os métodos interativos, alternativos e híbridos (CHAVES et al., 2010b).

Segundo Olson (2001), os estudos comparativos entre as diversas modalidades de AMD demonstram que não existe nenhuma metodologia que se destaca das outras em todos os contextos de decisão envolvendo múltiplos critérios. Cabe ao analista determinar qual o melhor método a ser aplicado, de acordo com as características da decisão que deve ser tomada (MORAIS; ALMEIDA, 2006).

A escolha do método a ser empregado depende do tipo de problema em análise, do contexto estudado, dos atores envolvidos, da estrutura de preferência e do tipo de resposta que se deseja alcançar, ou seja, qual a problemática de referência (MORAIS; ALMEIDA, 2006).

No contexto do AMD, o resultado pretendido em determinado problema pode ser identificado entre quatro tipos de problemática de referência, descritas a seguir:

- Problemática P. $\alpha$  – tem como objetivo esclarecer a decisão pela escolha de um subconjunto tão restrito quanto possível, tendo em vista a escolha final de uma única ação. Esse conjunto conterá as “melhores ações” ou as ações “satisfatórias”. O resultado pretendido é, portanto, uma escolha ou um procedimento de seleção;
- Problemática P. $\beta$  – tem como objetivo esclarecer a decisão por uma triagem resultante da alocação de cada ação a uma categoria (ou classe). As diferentes categorias são definidas a priori com base em normas aplicáveis ao conjunto de ações. O resultado pretendido é, portanto, uma triagem ou um procedimento de classificação;
- Problemática P. $\gamma$  – tem como objetivo esclarecer a decisão por um arranjo obtido pelo reagrupamento de todas ou parte (as mais satisfatórias) das ações em classes de equivalência. Essas classes são ordenadas de modo completo ou parcial, conforme as preferências. O resultado pretendido é, portanto, um arranjo ou um procedimento de ordenação;
- Problemática P. $\delta$  – tem como objetivo esclarecer a decisão por uma descrição, em linguagem apropriada, das ações e de suas consequências. O resultado pretendido é, portanto, uma descrição ou um procedimento cognitivo.

Deve-se ressaltar que as problemáticas definidas anteriormente não são independentes umas das outras. Em particular, a ordenação das alternativas (P. $\gamma$ ) pode servir de base para resolver um problema P. $\alpha$  ou P. $\beta$ . Na prática, muitos métodos multicritério, sobretudo aqueles desenvolvidos nos anos 1970 e princípio dos anos 1980, privilegiaram a problemática P. $\gamma$ . O caso em estudo neste trabalho é o P. $\gamma$ . Os modelos baseados em decisão multicritério são indicados para problemas onde existam vários critérios de avaliação (ZAMBON et al., 2005).

O processo de apoio à decisão compreende três fases: (i) estruturação; (ii) avaliação; e (iii) recomendação (BANA E COSTA et al., 2002), embora o processo em si seja interativo. De acordo com Gomes, Gonzalez-Araya e Carignano (2004), essas fases podem apresentar uma sequência de etapas, descritas a seguir.

A fase de estruturação corresponde a cerca de 80% do total do problema (BANA E COSTA; FERREIRA; CORRÊA, 2000). Essa fase compreende a identificação dos agentes e seus objetivos, a definição das alternativas e critérios relevantes para o problema de decisão (Bana e Costa; Vansnick, 1994).

As etapas de avaliação das alternativas em relação aos critérios; a determinação da importância relativa dos critérios; a realização da avaliação global de cada alternativa (GOMES; GONZALEZ-ARAYA; CARIGNANO, 2004) correspondem à segunda fase, a de avaliação.

É nessa fase que é selecionado o método multicritério a ser utilizado como apoio à decisão no problema. Essa escolha depende de vários fatores como: as características do problema; o contexto; a estrutura de preferência do decisor; e o tipo de problemática (ALMEIDA; COSTA, 2003).

A terceira e última fase, composta das etapas de análise de sensibilidade, recomendações e implementação, é a fase de recomendação.

## 4. Estruturação do problema

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada a seguinte metodologia:

- Identificação dos atores;
- Coleta de informações sobre alternativas viáveis;
- Entrevistas para identificação de critérios para comparar as alternativas;
- Atribuição de pesos aos critérios, de acordo com os valores dos atores, obtido por entrevistas com esses atores; e
- Ordenação das alternativas.

A etapa de identificação dos critérios, assim como a da atribuição dos pesos, envolveu a interação entre o decisor e o analista, que também foi responsável pela formulação do problema e pela condução do processo de seleção do biocombustível que melhor atendesse aos objetivos.

### 4.1. Construção do modelo

Almeida (2011) destaca que o processo de definição do modelo a ser adotado deve considerar uma série de hipóteses ou formas distintas de estabelecer as variáveis do problema, tais como: espaço de alternativas, escolha dos critérios etc. As etapas de definição da racionalidade, avaliação intracritério e intercritério são desenvolvidas de forma integrada para a definição do método multicritério. Culminando ao final do processo na implementação da ação ou conjunto de ações sugeridas pelo modelo.

A grande complexidade associada à análise dos biocombustíveis faz com que o modelo utilizado seja multicritério. Há uma diferença entre o potencial técnico e o potencial sustentável de biocombustíveis. O mix de energia real e potencial para bioenergia em desenvolvimento é contingente das condições do país e das necessidades, mas também precisa ser visto em um contexto mais amplo de desafios globais. É necessário ter em mente as salvaguardas necessárias para enfrentar os desafios que podem se interpor no caminho de evolução saudável do mercado nacional, regional e global para os biocombustíveis

(BIOFUELS PLATFORMS, 2012). Baseado nessa percepção identificou-se o conjunto de alternativas (seção 2) a serem avaliadas por muitos e conflitantes pontos de vista.

#### 4.2. Identificação dos atores

A fim de escolher o biocombustível mais adequado para o cenário brasileiro, o decisor é um indivíduo que busca o biocombustível menos agressivo ao meio ambiente, porém de fácil aquisição pela população. Caso contrário, as pessoas iriam continuar utilizando os combustíveis poluentes, já que a consciência de que é preciso tornar o mundo mais limpo ainda não é um pensamento de todos.

Embora pareça uma trivialidade, a alternativa selecionada dependerá, em última instância, da informação introduzida pelo decisor no processo. Essa informação, em forma de juízo de valor, é fundamentalmente subjetiva e obedece à estrutura interna de preferências do decisor (GOMES; GONZALEZ-ARAYA; CARIGNO, 2004). Decisor refere-se a quem está à frente do processo de decisão e o influencia e a quem a responsabilidade pelo sucesso do processo decisório é atribuída. Salienta-se que esse decisor poderá delegar autoridade, mas não responsabilidade.

#### 4.3. Definição das alternativas

Foi realizado um estudo sobre fontes de energia obtidas a partir da biomassa, dentre as quais foram considerados somente os biocombustíveis por serem, atualmente, o principal foco de estudos e investimentos na pesquisa de novos meios de produção de energia e novas tecnologias para sua fabricação e utilização em massa. Como exposto anteriormente no item 2, as alternativas selecionadas, por possuírem fins homogêneos, foram: biodiesel, bioetanol, biodiesel de algas e H-BIO (BIOFUELS PLATFORMS, 2012; BIODIESEL, 2011).

#### 4.4. Critérios de avaliação

Os métodos de apoio multicritério a decisão têm como princípio buscar o estabelecimento de uma relação de preferência (subjetiva) entre as alternativas que estão sendo avaliadas sob a influência de vários critérios, no processo de decisão (GOMES; GOMES, 2012; ALMEIDA; COSTA, 2003).

Para eleger uma alternativa, o decisor possui vários parâmetros de avaliação para o conjunto de alternativas. Quando se acrescenta a esses atributos uma informação referente às preferências do decisor, de forma a proporcionar um conjunto de regras pelo

qual é possível afirmar algo sobre as preferências entre um par de alternativas qualquer em relação ao atributo em questão, diz-se que esse conjunto de regras representa um critério de decisão. Em resumo, um critério é uma função que reflete as preferências do decisor quanto a um atributo (GOMES; GONZALEZ-ARAYA; CARIGNANO, 2004).

Após uma fase de interação do decisor com especialistas, foram identificados os critérios que espelhavam os objetivos definidos (representados na figura do decisor), buscando estabelecer os que fossem mais relevantes no contexto considerado.

Para o estudo desse problema, os critérios identificados foram agrupados em duas categorias: aqueles de valores qualitativos e aqueles de valores quantitativos.

##### 4.4.1. Critérios qualitativos

Os critérios aqui considerados foram custo de tecnologia, ambiental (emissão de gases poluentes) e social (geração de emprego). Esses critérios são tradicionalmente expressos por meio de variáveis quantificáveis. Contudo, a não disponibilidade de informações precisas acerca dos valores dos parâmetros correspondentes a esses critérios fez com que a análise fosse feita por meio de especialistas, os quais usaram uma escala verbal qualitativa para comparar as alternativas. Esse fato também corroborou para que a ferramenta MACBETH fosse indicada para conduzir a análise do problema. Os critérios selecionados incorporaram algumas das principais características que um combustível de substituição deve apresentar, ou seja, não ser agressivo ao meio ambiente e à saúde e impulsionar a economia interna.

##### a) Aspectos econômicos

Os aspectos econômicos da produção de biocombustíveis acabam por incidir sobre a população, que é a principal consumidora. Devido à escolha das alternativas, que incluem biocombustíveis que estão iniciando a produção em larga escala, não foi possível mensurar o custo exato de cada alternativa.

##### Critério 1: Custo da tecnologia desenvolvida para a produção

O custo tecnológico para fabricação do biocombustível é um critério que tem por finalidade avaliar o quanto a tecnologia já está desenvolvida para produção em larga escala; também analisa o risco envolvido em tecnologias recentes que, por serem novas, não possuem dados concretos. Considera-se que quanto mais barata e acessível, mais propícia para a produção.

### b) Aspectos ambientais

Desde a obtenção da matéria-prima até a utilização dos biocombustíveis são realizados diversos estudos sobre o impacto ambiental gerado. No cultivo das plantas ou algas, durante o processo de produção e na geração de energia a partir do biocombustível, a alteração no meio ambiente é inevitável, mas deve-se minimizar esse impacto de acordo com o possível.

#### Critério 2: Emissão de gases poluentes devido à queima na combustão no motor

A queima de combustíveis gera emissão de gases poluentes e esse é um dos principais motivos do investimento em novas fontes renováveis de energia. Levando em consideração a emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), entre outros, o objetivo, nesse caso, é reduzir ao máximo a emissão desses gases, causando menor impacto ao meio ambiente.

### c) Aspectos sociais

O impacto social para a população é de modo geral positivo. Nesse contexto, foi considerado esse critério com a finalidade de abordar fatores sociais que incidem sobre a população das áreas em que a produção dos biocombustíveis é possível.

#### Critério 3: Geração de postos de emprego

Esse critério analisa o desenvolvimento de programas de incentivo tanto ao cultivo de matérias-primas quanto à produção de biocombustíveis, gerando empregos para a população e, dessa forma, promovendo a inclusão social. Quanto mais incentivado o trabalho nessa área, maior a oportunidade de emprego.

## 4.4.2. Critérios Quantitativos

### a) Aspectos técnicos

A análise técnica tem como finalidade analisar as características existentes relacionadas às matérias-primas para a produção dos biocombustíveis.

#### Critério 4: Produtividade da matéria-prima

Foram analisadas as características das matérias-primas utilizadas para a obtenção de cada alternativa, considerando-se sua produtividade, ou seja, a quantidade de óleo em litros por hectare. Esse critério tem como fim favorecer a planta com maior produtividade.

## 4.5. Definição do método multicritério

MACBETH é uma metodologia de apoio à tomada de decisão que permite avaliar opções considerando-se múltiplos critérios.

A escolha do método MACBETH deve-se aos seguintes fatores principais (MELLO; GOMES; LINS, 2001):

- Permite a transformação de avaliações qualitativas em quantitativas, o que também é feito pelo método AHP. Todos os critérios deste artigo têm avaliação qualitativa.
- Não permite nenhum grau de inconsistência nos julgamentos do decisor, estabelecendo um processo iterativo de revisão dos julgamentos, inclusive sugerindo quais devem ser revistos. Ressalta-se que o método AHP não apresenta essa possibilidade, arbitrando um valor de 10% para a inconsistência máxima nos julgamentos.
- Proporciona que o decisor fique confortável com a metodologia, em função de seu fácil entendimento.

É um método útil na fase de avaliação do processo de apoio à tomada de decisão. Seu procedimento iterativo auxilia a construção de uma escala cardinal que representa o julgamento do decisor sobre o grau de atratividade dos elementos. A distinção fundamental entre esse e outros métodos de análise de decisão com múltiplos critérios é que o MACBETH requer apenas julgamentos qualitativos sobre as diferenças de atratividade entre elementos para gerar pontuações para as opções em cada critério e ponderar os critérios (Bana e Costa; Chagas, 2004). A matriz de pares de comparações é construída de acordo com a escala semântica e as preferências são determinadas de forma semântica e depois, através de um modelo de programação linear, são transformadas numa escala de valores numéricos, representando da melhor forma possível as preferências dos decisores. Quanto ao julgamento, ele se refere às diferenças de atratividade. A quantificação dos julgamentos mede o grau de atratividade entre os elementos e, ao contrário, por exemplo, do método AHP (Saaty, 2010a; 2010b), refere-se às relações de prioridade ou importância. A quantificação dos julgamentos mede o grau de importância entre os elementos.

O método MACBETH permite construir uma função de valor intracritério e, por meio de uma análise intercritério, agregar os diversos critérios de avaliação em um critério único de síntese pela atribuição de pesos aos critérios, com respeito às opiniões dos decisores (GOMES; MELLO; MANGABEIRA, 2008).

Para a definição de diferença de atratividade entre as alternativas, o *software* utiliza uma escala semântica composta de sete categorias: nula, muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte e extrema (BANA E COSTA; DE CORTE; VANSNICK, 2005).

O *software* que implementa computacionalmente o método faz a análise de coerência dos julgamentos e sugere, em caso de incoerência, como resolvê-la. Por

programação linear é sugerida uma escala de valores e os intervalos em que eles podem variar sem tornar o problema inconsistente (problema de programação linear inviável). É ainda facultado ao decisor ajustar graficamente os valores atribuídos, dentro dos intervalos permitidos (análise de sensibilidade) (GOMES; MELLO; MANGABEIRA, 2008).

Para realização deste trabalho será utilizado o sistema de apoio à decisão M-MACBETH (BANA E COSTA; DE CORTE; VANSNICK, 2005) que implementa a metodologia MACBETH. A escolha desse método ocorreu devido a dois fatores principais: (i) é capaz de transformar julgamentos qualitativos em quantitativos; (ii) verifica automaticamente a consistência dos julgamentos, oferecendo sugestões para resolver

eventuais inconsistências; (iii) o *software* é de fácil uso e de fácil explicação para o decisor, incluindo, nesse caso, a explicação da base axiomática; (iv) permitiu explicitar as preferências do decisor.

## 5. Aplicação do método MACBETH na seleção de biocombustíveis

Conforme exposto no item 4, optou-se pela utilização da abordagem MACBETH por acreditar-se que o *software* (M-MACBETH) possui as qualidades e facilidades adequadas para o problema em questão. A aplicação do método estimulou a participação do decisor, permitindo englobar os interesses conflitantes, forçando a análise dos aspectos mais relevantes e conduzindo assim a solução de compromisso.

As etapas do processo MACBETH, que serão adotadas no item 5 deste trabalho, estão detalhadas na Figura 5.

A etapa inicial de aplicação do método MACBETH consistiu em montar a árvore de critérios para a escolha de um biocombustível, representada nas Figuras 6 e 7.

Para os critérios qualitativos, foi escolhida a base de comparação direta. As opções, que indica ao *software* que se quer comparar diretamente as alternativas entre si, para avaliar a sua atratividade relativa. Para o critério quantitativo foi selecionada a base de comparação indireta. Níveis quantitativos de desempenho, que indica ao *software* que se pretende avaliar indiretamente a atratividade das alternativas no critério usando uma função de valor para converter as *performances* das opções em pontuações.

A Figura 8 mostra a matriz de julgamentos efetuados pelos analistas para o critério Custo da tecnologia da



Figura 6. Etapas do processo MACBETH. Fonte: Bana e Costa, De Corte e Vansnick (2005).

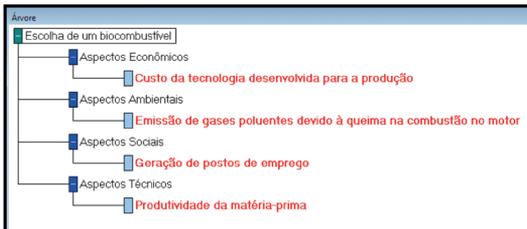


Figura 7. Árvore de aspectos de avaliação dos biocombustíveis.

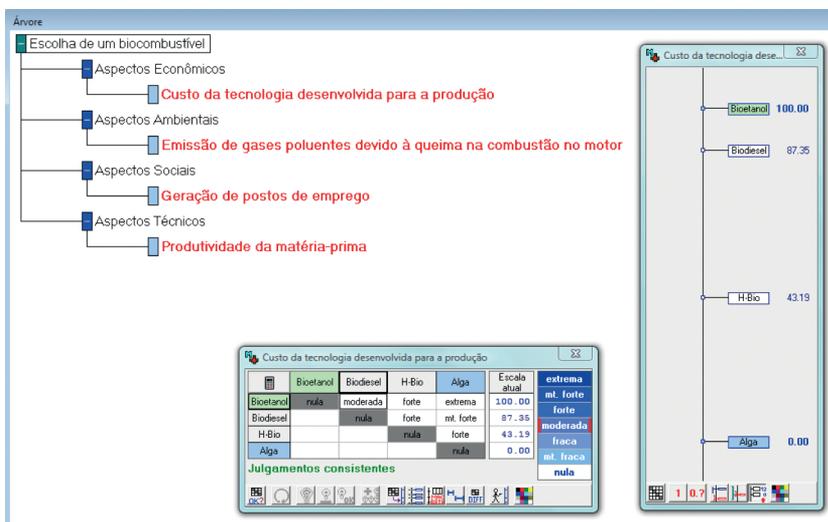


Figura 8. Aplicação do MACBETH para construir a função de valor do critério Custo da tecnologia.

tecnologia, a função de valor determinada pelo *software* M-MACBETH para o mesmo critério e as ponderações dos critérios. A Figura 9 destaca o fato de o decisor ter considerado como critério mais importante o ambiental. Isso mostra a aderência do decisor a uma forma de pensar verde e que considera que o paradigma atual deve ser mudado, assim defendendo o ponto de vista que deve-se sim pagar mais caro por uma tecnologia mais amigável ao meio ambiente.

A aplicação do modelo para os biocombustíveis teve como resultado as pontuações relacionadas da Figura 10. Pode-se observar que nenhuma alternativa obteve pontuação global igual a 100, o que significa que não há um biocombustível que seja excelente quando considerados diversos critérios. Porém, a maior pontuação global (84,10) é a do bioetanol, biocombustível utilizado há mais tempo no país e que recebe forte incentivo do governo desde a década de 1970, possuindo tecnologia mais desenvolvida.

Foram realizadas análises de sensibilidade em cada critério, com o intuito de perceber a resistência dos valores das alternativas a possíveis mudanças nas preferências do decisor. A análise mostrou que o critério Produtividade, caso tenha os coeficientes de ponderação alterados para pelo menos o dobro, acarretaria alteração nas recomendações do M-MACBETH. Esse critério foi escolhido para essa análise, pois foi o que provocaria maior alteração na recomendação do modelo se ocorresse mudanças nas preferências do tomador de decisão. O modelo mostrou-se robusto já que mesmo com a alteração dos pesos dos critérios a classificação das alternativas

selecionadas permaneceu praticamente a mesma da aplicação original do modelo.

## 6. Conclusões

No mundo, um dos principais meios de emissão de gases é o setor de transporte, responsável por mais da metade do consumo mundial de petróleo. Ainda, as reservas dos combustíveis fósseis encontram-se cada vez menores. Frente a esses problemas faz-se necessário pesquisar e investir em biocombustíveis, que são fontes de energia renováveis e menos prejudiciais ao já comprometido meio ambiente. Dentre eles foram escolhidos o biodiesel, o bioetanol, o biodiesel de algas e o H-Bio, já que possuem o mesmo fim: o transporte.

Esses quatro biocombustíveis têm características distintas, tornando difícil a escolha de um em relação a outro. Assim, esse problema pode ser caracterizado como multicritério, já que possui diversos pontos de vista conflitantes, necessitando, no processo de tomada de decisão, o auxílio de uma ferramenta de apoio multicritério à decisão.

Após a aplicação da metodologia, concluiu-se que o bioetanol é o biocombustível mais adequado de acordo com os juízos de valor estabelecidos pelo decisor fictício em relação aos critérios adotados. Como visto, o bioetanol se destacou na pouca emissão de gases, no bom desenvolvimento tecnológico já atingido e na geração de postos de trabalho, não tendo desempenho tão apreciável quanto à produtividade.

De acordo com Gomes e Gomes (2012), deve-se notar, também, que a abordagem do problema de decisão, sob o enfoque do apoio multicritério à decisão, não visa apresentar ao decisor uma solução para seu problema elegendo uma única verdade, representada pela ação selecionada, mas sim apoiar o processo decisório por meio da recomendação de ações a quem vai tomar a decisão. Assim, a escolha do bioetanol como melhor biocombustível não faz com que seja ignorada ou desprezada a necessidade que possa existir de investimento em mais de uma linha de produção. Desse modo, o biodiesel, considerado o segundo melhor biocombustível, também deve receber investimentos a fim de obter um melhor desenvolvimento.

No futuro, este trabalho poderá ser ampliado por meio de uma integração dos métodos *VIP Analysis* (DIAS; CLÍMACO, 2000) e MACBETH. A ideia seria usar o potencial de interação e aprendizado sucessivo do VIP com apoio do MACBETH, para ajudar o decisor a quantificar as suas preferências conforme proposto em Chaves et al. (2010a).

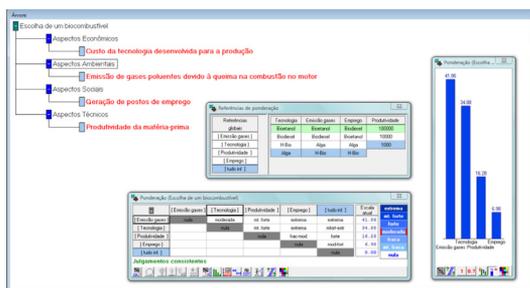


Figura 9. Ponderação dos critérios.

Opções	Global	Tecnologia	Emissão gases	Emprego	Produtividade
[ tudo sup. ]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Bioetanol	84.10	100.00	100.00	90.27	6.52
Biodiesel	75.42	87.35	90.27	100.00	1.12
Alga	50.93	0.00	80.35	26.26	95.01
H-Bio	15.25	43.19	0.00	0.00	1.12
[ tudo inf. ]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos :		0.3488	0.4186	0.0698	0.1628

Figura 10. Pontuações dos biocombustíveis.

## Referências

- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. *Aplicações com Métodos Multicritério de Apoio a Decisão*. Recife: Universitária UFPE, 2003.
- ALMEIDA, A. T. *O Conhecimento e o Uso de Métodos Multicritério de Apoio a Decisão*. 2. ed. Editora Universitária, Recife, 2011.
- BANA E COSTA, C. A.; CHAGAS, M. P. A career choice problem: an example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments. *European Journal of Operational Research*, v. 153, n. 2, p. 323-331, 2004. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00155-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00155-3)
- BANA E COSTA, C. A.; DE CORTE, J. M.; VANSNICK, J. C. *M-MACBETH*. versão 1.1 Manual do Usuário. 2005. Disponível em: <http://www.m-macbeth.com/downloads.html#guide>.
- BANA E COSTA, C.A.; FERREIRA, J.A.A.; CORRÊA, E.C. Metodologia Multicritério de Apoio à Avaliação de Propostas em Concursos Públicos. In: ANTUNES, C. H.; VALADARES TAVARES, L. (Eds.). *Casos de Aplicação da Investigação Operacional*. Lisboa: McGraw-Hill, 2000. p. 336-363.
- BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. MACBETH - an interactive path towards the construction of cardinal value functions. *International Transactions in Operational Research*, v. 1, p. 489-500, 1994. [http://dx.doi.org/10.1016/0969-6016\(94\)90010-8](http://dx.doi.org/10.1016/0969-6016(94)90010-8)
- BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. A theoretical framework for Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH). In: CLÍMACO, J. (Ed.). *Multicriteria Analysis*. Berlim: Springer Verlag, 1995. p. 15-24.
- BANA E COSTA, C. A. et al. Facilitating bid evaluation in public call for tenders: a social-technical approach. *Omega*, v. 30, 227-242, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0305-0483\(02\)00029-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0305-0483(02)00029-4)
- BIODIESEL. *Selo Combustível Social*. Disponível em: <http://www.biodiesel.gov.br/>. Acesso em: abr. 2011.
- BIODIESELBR. *Energia Alternativa*. 2011. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/energia/alternativa/energia-renovavel.htm/>. Acesso em: Abr. 2011.
- BIOFUELS PLATFORMS. *Biofuels*. Disponível em: <http://www.biofuels-platform.ch/en/infos/>. Acesso em: jun. 2012.
- CASTILHOS, W. *Biodiesel feito de algas*. 2008. Disponível em: <http://www.agencia.fapesp.br/materia/9839/especiais/biodiesel-feito-de-algas.htm>. Acesso em: jun. 2009.
- CHAVES, M. C. C. et al. Uso integrado de dois métodos de apoio à decisão multicritério: VIP Analysis e MACBETH. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 2, n. 2, p. 89-99, 2010a.
- CHAVES, M. C. C. et al. Utilização do método ELECTRE II para avaliação de pilotos no campeonato de Fórmula 1. *Produção*, v. 20, n. 1, p. 102-113, 2010b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132010005000012>
- CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA - CNPE. Resolução nº 2, de 13 de março de 2008. Estabelece em três por cento, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, nos termos do art. 2º da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, mar. 2008. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/conselhos\\_comite/CNPE/resolucao\\_2008/Resolucao02.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/conselhos_comite/CNPE/resolucao_2008/Resolucao02.pdf). Acesso em: maio 2011.
- COSTA, H. G. et al. ELECTRE TRI aplicado a avaliação da satisfação de consumidores. *Produção*, v. 17, n. 2, p. 230-245, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132007000200002>
- DIAS, L. C.; CLÍMACO, J. N. Additive Aggregation with Variable Interdependent Parameters: the VIP Analysis Software. *Journal of Operational Research Society*, v. 51, n. 9, p. 1070-1082, 2000.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. *Balanco Energético Nacional 2007*: ano base 2006. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Relatório Final. Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2007\\_Versao\\_Completa.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2007_Versao_Completa.pdf). Acesso em: abr. 2011.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. *Balanco Energético Nacional 2008*: ano base 2007. Rio de Janeiro: EPE, 2008. Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2007\\_Versao\\_Completa.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2007_Versao_Completa.pdf). Acesso em: abr. 2011.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. *Relatorio Final do Balanco Energético Nacional 2010*: Ano base 2009. Rio de Janeiro: EPE, 2010. Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2010.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf). Acesso em: mar. 2011.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. *Anuário estatístico de energia elétrica 2012*. Rio de Janeiro: EPE, 2012. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaElétrica/20120914\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaElétrica/20120914_1.pdf). Acesso em: jul. 2012.
- ESCANDIUZZI, F. *UFSC Estuda Microalgas para Produção de Combustível*. 2008. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/r1-ufsc-estuda-microalgas-producao-combustivel-09-11-08.htm>. Acesso em: abr. 2011.
- GOMES, C. F.; GOMES, L. F. A. M.; COELHO, F. J. Decision analysis for the exploration of gas reserves: merging TODIM and THOR. *Pesquisa Operacional*, v. 30, n. 3, p. 601-617, set./dez. 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382010000300006>
- GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; MANGABEIRA, J. A. C. Índice multicritério de bem estar social rural em um município da Região Amazônica. *Pesquisa Operacional*, v. 28, n. 1, p. 141-160, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382008000100008>
- GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério*. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2012.
- GOMES, L. F. A. M.; GONZALEZ-ARAYA, M. C. G.; CARIGNO, C. *Tomada de Decisões em Cenários Complexos*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.
- GREEN PEACE. Clima. *Protocolo de Kyoto*. Disponível em: [http://www.greenpeace.org.br/clima/pdf/protocolo\\_kyoto.pdf](http://www.greenpeace.org.br/clima/pdf/protocolo_kyoto.pdf). Acesso em: jun. 2009.
- LEITE, R. C.; CORTEZ, L. A. B. E. O Etanol Combustível no Brasil. In: BRASIL. Ministério das relações exteriores - MRE (Org.). *Biocombustíveis no Brasil: realidades e perspectivas*. Brasília: Arte Impressora Gráfica LTDA, 2007.p. 60-75.
- MELLO, J. C. C. B. S.; GOMES, E. G.; LINS, M. P. E. Análise multicritério da presença da Universidade Federal

- Fluminense com o uso do método Macbeth. *Produção*, v. 11, n. 2, p. 53-67, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132001000200004>
- MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água. *Pesquisa Operacional*, v. 26, n. 3, p. 567-584, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382006000300007>
- OLSON, D. L. Comparison of three multicriteria methods to predict known outcome. *European Journal of Operational Research*, v. 130, p. 576-587, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00416-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00416-6)
- PAMPLONA, N. *Petrobras Para de Produzir H-Bio*. 2007. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/petrobras-produzir-hbio-30-07-07.htm>>. Acesso em: abr. 2011.
- PETROBRAS. *Tecnologia, Áreas de Atuação, Tecnologias Estratégicas de Refino*. 2009. Disponível em: <<http://www2.petrobras.com.br/tecnologia/port/hbio.asp>>. Acesso em: jun. 2010
- RANGEL, L. A. D.; GOMES, L. F. A. M. O apoio multicritério à decisão na avaliação de candidatos. *Produção online*, v. 20, n. 1, p. 92-101, 2010.
- RODRIGUES, R. A.; ACCARINI, J. H. Programa Brasileiro de Biodiesel. In: BRASIL. Ministério das relações exteriores – MRE (Org.). *Biocombustíveis no Brasil: realidades e perspectivas*. Brasília: Arte Impressora Gráfica LTDA, 2007. p. 158-181.
- SAATY, T. L. *Decision Making With the Analytic Hierarchy Process*. 2010a. Disponível em: <[http://www.colorado.edu/geography/leyk/geog\\_5113/readings/saaty\\_2008.pdf](http://www.colorado.edu/geography/leyk/geog_5113/readings/saaty_2008.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2010.
- SAATY, T. L. *How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process*. 2010b. Disponível em: <<http://dunamis.ce.berkeley.edu/rebar/resources/workshop7/Saaty%201990%20How%20to%20Make%20a%20Decision.pdf>>. Acessado em: 15 mar. 2010.
- SAUER, I. Biocombustíveis no Brasil Comercialização e Logística. In: BRASIL. Ministério das relações exteriores – MRE (Org.). *Biocombustíveis no Brasil: realidades e perspectivas*. Brasília: Arte Impressora Gráfica LTDA, 2007. p. 34-59.
- SEBRAE. *Biodiesel, Cartilha Biodiesel*. Disponível em: <[http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/D170D324C7521915832572B200470F63/\\$File/NT00035116.pdf](http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/D170D324C7521915832572B200470F63/$File/NT00035116.pdf)>. Acesso em: jul. 2009.
- SILVA, K. L.; CHAGAS, K. C.; CRUZ, M. C. P. Produção de biocombustíveis a partir de resíduos vegetais. *Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense*, v. 2, n. 1, p. 183-189, 2012.
- SIMÕES, A. J. F. Biocombustíveis: A Experiência Brasileira e o Desafio da Consolidação do Mercado Internacional. In: BRASIL. Ministério das relações exteriores – MRE (Org.). *Biocombustíveis no Brasil: realidades e perspectivas*. Brasília: Arte Impressora Gráfica LTDA, 2007. p. 10-33.
- SUAREZ, P. Biodiesel de algas: algumas considerações. *Revista BiodieselBR*, n. 20, dez. 2010. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/revista/020/coluna-paulo-suarez.htm>>. Acesso em: fev. 2011
- VALOIS, U.; ALMEIDA, A. T. Modelo de apoio à decisão multicritério para terceirização de atividades produtivas baseado no método SMARTS. *Produção*, v. 19, p. 251-263, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132009000200003>
- VEIGA FILHO, L. *H-Bio Economiza Dólares e Reduz a Dependência*. 2007. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/h-bio-economiza-dolares-reduz-dependencia-18-05-07.htm>>. Acesso em: abr. 2011.
- ZAMBON, K. L. et al. Análise de decisão multicritério na localização de usinas termelétricas utilizando SIG. *Pesquisa Operacional*, v. 25, n. 2, p.183-199, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382005000200002>

## Evaluation of Biofuels Using Multicriteria Decision Aid

### Abstract

For some decades the world has sought a sustainable and environmentally friendly, socially just and economically viable. The concern about various environmental issues is not limited to preserving the planet. The objective of this paper is to present the importance of biofuels in world energy matrix, showing the main biomass currently available, its characteristics, qualities and defects in order to select the most suitable for biofuel Brazilian context. This fuel should be presented as a viable alternative and aggressive to the environment than oil. To compare the alternatives will be used MACBETH methodology due to multiple criteria and value judgments involved in decision making.

### Keywords

MACBETH. Biofuel. Sustainability.