

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Avaliação da localização de usinas de biodiesel com o uso de lógica *fuzzy*

AUTORES:

Monique da Silva dos Santos¹; Donato Alexandre Gomes Aranda¹ e Carlos Alberto Nunes Cosenza²

¹Escola de Química (UFRJ)

²Laboratório de Lógica *Fuzzy* (COPPE/UFRJ)

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 8º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba/PR. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 8º PDPETRO.

AVALIAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE USINAS DE BIODIESEL COM O USO DE LÓGICA FUZZY

Abstract

Today, biofuels stand out in the world energy scenery due to awareness of the impacts of dependence on fossil sources in developing models. In this context, biodiesel has great potential as a partial or total substitute for diesel under the environmental and socio-economic perspective. To ensure the use of biodiesel in Brazil and to increase its competitiveness, it is essential to identify existing problems in its productive chain and to solve them. With the purpose to contribute to this, the aim of this study was to evaluate the current location of biodiesel plants in Brazil, by applying the COPPE-COSENZA Hierarchical Analysis Model, which was developed from concepts of fuzzy logic and consists of conducting a confrontation between industrial demand and territorial offer of factors. It was evaluated the service of 51 Brazilian municipalities to four types of plant, considering 24 factors relative to inputs, products and wastes of the studied activity, basic utilities, infrastructure, and relevant economic, social and political issues to the theme. The adopted methodology provided as final results locational indexes that indicate the level of balance between demand and offer. It was found that in the case of biodiesel production with methyl route, only eight municipalities are favorable for not integrated enterprises with the oilseeds processing, while only one municipality satisfactorily serves the plants that are integrated with the obtaining of vegetable oils. In the case of use of ethyl route, only four localities are favorable for not integrated plants with the oilseeds processing, while none location has enough services to integrated projects. For the four plants configurations, the best indexes obtained refer to the municipalities of Lapa (PR) and Araraquara (SP). In contrast, the worst results were checked for Guamaré (RN), Iraquara (BA), Ji-Paraná (RO), Nova Marilândia (MT), Paraíso do Tocantins (TO), Porto Nacional (TO) and Quixadá (CE), indicating greater need for investment in these locations.

Keywords: biodiesel plants; fuzzy logic; COPPE-COSENZA Model

Introdução

Os impactos antropogênicos, por sua dimensão e gravidade na natureza, a sensibilização mundial para as questões ambientais e a instabilidade política e econômica associada ao petróleo têm impulsionado a busca por fontes de energia alternativas. Nesse contexto, o biodiesel, um combustível procedente de óleos vegetais ou de gorduras animais, apresenta grande potencial como substituto parcial ou total do óleo diesel (ANP, 2015; ATABANI *et al.*, 2012; COSTA *et al.*, 2013).

Dentre as diversas razões que o tornam bastante interessante estão: seu caráter renovável; a possibilidade de redução das emissões de poluentes, por exemplo, o dióxido de carbono (CO₂), quando todo o ciclo de vida do biocombustível é considerado; substituição do diesel em diferentes aplicações, tais como caldeiras e motores de combustão, sem a necessidade de grandes modificações e com pequena redução no desempenho; alta biodegradabilidade e mínima toxicidade; e fortes impactos sociais, como a inclusão da agricultura familiar em sua cadeia produtiva (ANP, 2015; ATABANI *et al.*, 2012; COSTA *et al.*, 2013).

Nos últimos anos, houve um rápido aumento da produção e do consumo mundiais desse biocombustível. Dados da *United States Energy Information Administration* (EIA) (2015) revelam que, em 2000, o mundo produziu pouco mais de 882 milhões de litros de biodiesel. Em 2013, a produção global atingiu 26,3 bilhões de litros (REN21, 2014). No Brasil, o seu uso oficial teve início em 2005, com uma produção próxima a 736.160 litros. Em 2014, a produção brasileira ultrapassou

3,41 bilhões de litros, conferindo ao país a posição de segundo maior produtor mundial de biodiesel, atrás apenas dos Estados Unidos. A ANP informou em seu Boletim Mensal do Biodiesel de fevereiro de 2015 que havia 59 plantas produtoras autorizadas para operação no Brasil, correspondendo a uma capacidade total de cerca de 21,5 milhões de litros por dia.

Para expandir o uso de biodiesel no país e elevar sua competitividade é fundamental analisar detalhadamente sua cadeia produtiva e lidar com seus gargalos. Com o propósito de contribuir nesse sentido, este trabalho avaliou a localização atual das usinas do setor, aplicando o Modelo de Análise Hierárquica COPPE-COSENZA, desenvolvido pelo Programa de Engenharia de Produção (PEP) da COPPE/UFRJ e aprimorado pelo professor Carlos Alberto Nunes Cosenza.

Este modelo científico tem a lógica *fuzzy* como mecanismo de raciocínio e a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* como base para a modelagem em si e para a manipulação computacional. Ele consiste em realizar um confronto entre as demandas de determinada atividade industrial e a oferta territorial de fatores relacionados aos insumos, produtos e resíduos da atividade estudada, às utilidades básicas, à infraestrutura e às questões econômicas, sociais e políticas relevantes para o tema. Esses fatores não são quantificados satisfatoriamente apenas por parâmetros numéricos, mas por termos em linguagem natural, isto é, por parâmetros linguísticos, o que dificulta sua manipulação por métodos convencionais (COSENZA, 2015; MARTINS, 2010).

Sendo assim, a escolha do método mencionado se justifica pela característica da lógica *fuzzy* de contemplar aspectos imprecisos no raciocínio lógico utilizado pelos seres humanos. Ela permite traduzir expressões verbais, vagas e qualitativas, em valores numéricos. Os modelos com enfoque *fuzzy* têm um imenso valor prático, possibilitando a inclusão da experiência de especialistas e de estratégias de tomada de decisão em problemas complexos (MORE, 2004).

Tal abordagem permite a identificação de fatores ofertados de maneira inadequada e insuficiente para a cadeia do biodiesel nas localidades avaliadas. Esse é o primeiro passo imprescindível para que o governo, os produtores e demais interessados se mobilizem em prol da solução dos gargalos e melhoria do setor. Além disso, é possível verificar se as localidades apresentam riquezas adicionais que podem atender a outras solicitações e gerar economias externas.

Metodologia

Neste trabalho, aplicou-se o Modelo de Análise Hierárquica COPPE-COSENZA ao contexto do biodiesel no Brasil. Avaliou-se o atendimento de 51 municípios brasileiros, que já possuem usinas autorizadas para operação, a quatro configurações de plantas: planta com rota metilica integrada ao processamento de oleaginosas; planta com rota metilica não integrada à obtenção de óleos vegetais; planta com rota etilica integrada ao processamento de oleaginosas; e planta com rota etilica não integrada à obtenção de óleos vegetais. A avaliação considerou 24 fatores: água; energia; telecomunicações e tecnologia da informação (TI); transporte rodoviário; transporte ferroviário; transporte hidroviário; porto marítimo; produção de metanol; produção de etanol; armazenamento de oleaginosas; processamento de oleaginosas; produção de óleos vegetais; produção de gorduras animais; mercado de farelo para ração; mercado de torta para adubo; mercado de diesel; armazenamento de diesel; PIB industrial; PIB agropecuário; PIB de serviços; agricultura familiar; IDH; mão de obra; e incentivos fiscais.

Para o cotejo entre demanda e oferta, são definidos:

- $A = (a_{hi})_{p \times n}$: matriz que representa a demanda industrial de p tipos de projeto por n fatores;
- $O = (o_{ij})_{n \times m}$: matriz que representa a oferta de n fatores por m alternativas locais;

- c. $F = \{f_i | i = 1, \dots, n\}$: conjunto finito de fatores gerais de localização denotados genericamente por f_i .

Com abordagem *fuzzy*, é estabelecido o conjunto *fuzzy* $\tilde{A}$ de pares ordenados:

$$\tilde{A} = \{f_i, \mu_{\tilde{A}}(f_i) | f_i \in F\}$$

Onde $\tilde{A}$ é a representação *fuzzy* da matriz de demanda A , e $\mu_{\tilde{A}}(f_i) \in [0, 1]$ e representa o grau de importância do fator i , descrito pelos seguintes níveis linguísticos a partir da opinião de especialistas:

- o Crítico: a existência do fator em níveis elevados é indispensável para o êxito do projeto;
- o Condicionante: a existência do fator em níveis significativos é desejável para o sucesso do empreendimento;
- o Pouco condicionante: a existência do fator não é determinante para a atividade, mas pode indicar condições favoráveis de competitividade;
- o Irrelevante: o fator não impacta significativamente no empreendimento.

O conjunto *fuzzy* $\tilde{A}$ é representado por um número *fuzzy* triangular cujo suporte (eixo x) é constituído pelos graus de importância dos fatores. Quanto maior é a importância de certo fator, maior é a sua pertinência ao conjunto. Se o fator é crítico, $\mu_{\tilde{A}}(f_i) = 1$; se o fator é condicionante, $\mu_{\tilde{A}}(f_i) = 0,8$; se o fator é pouco condicionante, $\mu_{\tilde{A}}(f_i) = 0,5$; se o fator é irrelevante, $\mu_{\tilde{A}}(f_i) = 0,2$.

Analogamente ao caso da matriz A , tem-se:

$$\tilde{O} = \{f_i, \mu_{\tilde{O}}(f_i) | f_i \in F\}$$

Onde $\tilde{O}$ é a representação *fuzzy* da matriz de oferta, $\mu_{\tilde{O}}(f_i) \in [0, 1]$ e representa o grau de disponibilidade (ou oferta) dos fatores nas localidades estudadas. Este conjunto também pode ser representado por um número *fuzzy* triangular cujo suporte contém quatro níveis linguísticos: fraco, regular, bom e excelente. Se o nível de oferta é excelente, $\mu_{\tilde{O}}(f_i) = 1$; se o nível de oferta é bom, $\mu_{\tilde{O}}(f_i) = 0,8$; se o nível de oferta é regular, $\mu_{\tilde{O}}(f_i) = 0,5$; se o nível de oferta é fraco: $\mu_{\tilde{O}}(f_i) = 0,2$. A mensuração da oferta foi realizada a partir de critérios fornecidos por profissionais especialistas e dados oficiais de instituições públicas e privadas.

Com as duas matrizes prontas, pode-se realizar o confronto entre a demanda e a oferta para cada fator. Essa operação é denotada por $a_{hi} \otimes o_{ij} = c_{hj}$, onde c_{hj} representa o grau de atendimento da alternativa locacional j ao projeto h no que tange ao fator estudado. Nesse sentido, para cada f_i gera-se uma matriz $C = (c_{hj})_{p \times m}$. Para tal operação, pode-se empregar a seguinte matriz de relações de pertinência (matriz de cotejo):

Tabela 1: Matriz de relações de pertinência para o cotejo entre demanda e oferta.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Oferta de fatores

Demanda por fatores	$a_{hi} \otimes o_{ij}$	...	$\mu_{\tilde{O}}(f_i)$	...	1
	...	1	c_{hj}	c_{hj}	c_{hj}
	$\mu_{\tilde{A}}(f_i)$	c_{hj}	1	c_{hj}	c_{hj}
	...	c_{hj}	c_{hj}	1	c_{hj}
	1	c_{hj}	c_{hj}	c_{hj}	1

Onde: $c_{hj} = 1 + [\mu_{\tilde{O}}(f_i) - \mu_{\tilde{A}}(f_i)]$.

Por fim, é possível realizar uma operação para agregar a demanda por todos os fatores e a oferta de todos os fatores e obter, assim, índices locais que permitem chegar a uma conclusão geral sobre cada localidade avaliada. Os índices são os elementos δ_{hj} da matriz Δ_{pxm} calculados da seguinte forma:

$$\delta_{hj} = \frac{[\text{somatório de todos os } \mu_{\tilde{O}}(f_i) \text{ referentes à localização } j]}{[\text{somatório de todos os } \mu_{\tilde{A}}(f_i) \text{ referentes ao projeto } h]}$$

Para os somatórios foram definidas as regras:

1. O somatório de todos os graus de pertinência referentes aos fatores irrelevantes deve ser menor ou igual ao grau de pertinência referente a um fator pouco condicionante.
2. O somatório de todos os graus de pertinência referentes aos fatores pouco condicionantes deve ser menor ou igual ao grau de pertinência referente a um fator condicionante.

A operacionalização destas regras permite que fatores existam em grandes quantidades e, concomitantemente, que apenas os fatores de maior impacto para os projetos direcionem os resultados. Sendo assim, garante-se que as atividades serão prioritariamente avaliadas em função de suas demandas críticas e condicionantes.

O índice δ_{hj} pode ser superior, igual ou inferior a 1. Valores iguais a 1 indicam equilíbrio entre a oferta e a demanda e revelam que a localidade é favorável ao desenvolvimento da atividade de interesse. Valores superiores a 1 indicam que o local estudado oferece mais condições do que as solicitadas pelo projeto, portanto, além de ser favorável à atividade, pode atender a outros empreendimentos e gerar economias externas. Valores abaixo de 1 sinalizam insuficiência de oferta, indicando que a localidade não atende plenamente ao projeto. Valores muito próximos a zero evidenciam um alto déficit no atendimento ao projeto, mostrando que o local necessita de melhorias em diversos fatores importantes.

Resultados e Discussão

Além de realizar o confronto entre a demanda e a oferta para cada fator separadamente, foi possível obter um índice geral para cada município, isto é, um índice que engloba os resultados de todos os fatores avaliados. Conforme já explicado, quando o índice geral (δ_{hj}) é igual a 1, há equilíbrio entre a oferta e a demanda. Resultados superiores a 1 indicam excedente de oferta, enquanto valores numéricos abaixo de 1 apontam insuficiência de oferta.

Pode-se analisar a matriz de resultados (matriz de índices gerais) a partir de duas perspectivas: o valor máximo de uma linha ($\delta_{h \text{ máx}}$) e o valor máximo de uma coluna ($\delta_{j \text{ máx}}$). Na primeira ótica, o maior índice geral aponta o tipo de usina mais adequado ao município correspondente à linha da tabela em análise. Na segunda ótica, o maior índice geral aponta a alternativa locacional mais adequada ao tipo de projeto correspondente à coluna da tabela em análise. Nesse sentido, pode-se estabelecer uma hierarquia (um *ranking*) de áreas disponíveis para um empreendimento. Sendo assim, neste trabalho, foi possível identificar os municípios que atendem mais satisfatoriamente às usinas (melhores colocados no *ranking*) e os municípios que requerem mais investimentos (últimos colocados no *ranking*). A Tabela 2 contém os oito maiores e os sete menores índices obtidos entre os 51 municípios em relação aos quatro tipos de usina analisados.

Tabela 2: Matriz de índices gerais dos municípios em relação aos tipos de usina.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Maiores índices gerais				
	Usina não integrada com uso de metanol	Usina não integrada com uso de etanol	Usina integrada com uso de metanol	Usina integrada com uso de etanol
Araraquara (SP)	1,0722	1,0534	0,9861	0,9569
Cachoeira do Sul (RS)	1,0133	0,922	0,9261	0,8431
Catanduva (SP)	1,0010	1,0072	0,9307	0,9028
Lapa (PR)	1,1540	1,0674	1,0701	0,9917
Lins (SP)	1,0138	1,0011	0,9307	0,8861
Marialva (PR)	1,0242	0,9783	0,9573	0,8931
Rolândia (PR)	1,0172	0,9498	0,9573	0,8764
Sumaré (SP)	1,0081	0,959	0,9519	0,8958
Menores índices gerais				
	Usina não integrada com uso de metanol	Usina não integrada com uso de etanol	Usina integrada com uso de metanol	Usina integrada com uso de etanol
Guamaré (RN)	0,5878	0,5402	0,5402	0,4944
Iraquara (BA)	0,6161	0,6224	0,5875	0,5875
Ji-Paraná (RO)	0,5824	0,5607	0,5452	0,5417
Nova Marilândia (MT)	0,6647	0,6794	0,6212	0,5778
Paraíso do Tocantins (TO)	0,7129	0,6435	0,6388	0,5722
Porto Nacional (TO)	0,7393	0,6388	0,6643	0,5931
Quixadá (CE)	0,6752	0,6246	0,6044	0,5583

Seguindo essa concepção, somente oito municípios não apresentam déficit no atendimento às usinas não integradas com rota metilica. São eles: Araraquara (SP), Cachoeira do Sul (RS), Catanduva (SP), Lapa (PR), Lins (SP), Marialva (PR), Rolândia (PR) e Sumaré (SP). Dentre estes, os municípios com os três melhores índices são: Lapa (PR) – $\delta_{hj} = 1,1540$; Araraquara (SP) – $\delta_{hj} = 1,0722$; e Marialva (PR) – $\delta_{hj} = 1,0242$. Por outro lado, dentre as 43 áreas que não atendem plenamente a esse tipo de empreendimento, os municípios com os menores índices e, portanto, com maior carência de investimentos são: Ji-Paraná (RO) – $\delta_{hj} = 0,5824$; Guamaré (RN) – $\delta_{hj} = 0,5878$; Iraquara (BA) – $\delta_{hj} = 0,6161$; Nova Marilândia (MT) – $\delta_{hj} = 0,6647$; e Quixadá (CE) – $\delta_{hj} = 0,6752$.

No que tange às usinas não integradas com rota etilica, apenas quatro municípios apresentam $\delta_{hj} \geq 1$: Lapa (PR) – $\delta_{hj} = 1,0674$; Araraquara (SP) – $\delta_{hj} = 1,0534$; Catanduva (SP) – $\delta_{hj} = 1,0072$; e Lins (SP) – $\delta_{hj} = 1,0011$. Em contrapartida, 47 áreas não são favoráveis a esse tipo de planta, sendo os piores resultados verificados para: Guamaré (RN) – $\delta_{hj} = 0,5402$; Ji-Paraná (RO) – $\delta_{hj} = 0,5607$; Iraquara (BA) – $\delta_{hj} = 0,6224$; Quixadá (CE) – $\delta_{hj} = 0,6246$; e Porto Nacional (TO) – $\delta_{hj} = 0,6388$.

No que concerne às plantas com processo metílico e produção integrada de óleos vegetais, somente o município da Lapa (PR) apresenta atendimento pleno ($\delta_{hj} = 1,0701$). As demais localidades atendem a essa modalidade de usina em nível insuficiente. Sem contar com a Lapa (PR), os três melhores resultados foram verificados para: Araraquara (SP) – $\delta_{hj} = 0,9861$; Marialva (PR) – $\delta_{hj} = 0,9573$; e Rolândia (PR) – $\delta_{hj} = 0,9573$. De outro modo, os índices gerais mais baixos foram constatados para: Guamaré (RN) – $\delta_{hj} = 0,5402$; Ji-Paraná (RO) – $\delta_{hj} = 0,5452$; Iraquara (BA) – $\delta_{hj} = 0,5875$; Quixadá (CE) – $\delta_{hj} = 0,6044$; e Nova Marilândia (MT) – $\delta_{hj} = 0,6212$.

Em relação às usinas com rota etílica e processamento de oleaginosas integrado, verificou-se que nenhuma localidade apresenta atendimento suficiente. Dessa forma, se uma empresa desejar operar com essa modalidade de usina em algum dos municípios estudados, serão necessários investimentos e modificações para atender ao projeto. Os municípios que requerem menos adaptações são: Lapa (PR) – $\delta_{hj} = 0,9917$; Araraquara (SP) – $\delta_{hj} = 0,9569$; e Catanduva (SP) – $\delta_{hj} = 0,9028$. De outro ponto de vista, nas últimas posições do *ranking* de atendimento estão: Guamaré (RN) – $\delta_{hj} = 0,4944$; Ji-Paraná (RO) – $\delta_{hj} = 0,5417$; Quixadá (CE) – $\delta_{hj} = 0,5583$; Paraíso do Tocantins (TO) – $\delta_{hj} = 0,5722$; e Nova Marilândia (MT) – $\delta_{hj} = 0,5778$.

Conclusões

Constatou-se que é possível aplicar o Modelo COPPE-COSENZA em um contexto de avaliação de localização industrial. Para o caso de usinas de biodiesel, a metodologia se mostrou bastante útil e interessante, permitindo examinar o atendimento de 51 municípios brasileiros, distribuídos entre as cinco regiões do país, a quatro configurações desses empreendimentos, em termos de 24 fatores.

A abordagem *fuzzy* do modelo se aproxima bastante do raciocínio humano em processos decisórios, o que tornou intuitivo o desenvolvimento deste trabalho e facilitou a compreensão dos resultados. No entanto, houve dificuldades na mensuração do nível de oferta de alguns fatores, em virtude da sua complexidade no cenário industrial e da inacessibilidade a dados oficiais. Para contornar tais empecilhos, foram adotadas algumas simplificações na metodologia, que viabilizaram o cumprimento do objetivo geral deste trabalho sem reduzir a relevância do trabalho para fins acadêmicos.

No que diz respeito aos resultados finais do modelo, constatou-se que para plantas de biodiesel não integradas ao processamento de oleaginosas, caso se empregue rota metílica, oito municípios são favoráveis: Araraquara (SP), Cachoeira do Sul (RS), Catanduva (SP), Lapa (PR), Lins (SP), Marialva (PR), Rolândia (PR) e Sumaré (SP). Caso se opte pela rota etílica, quatro localidades estão apropriadas: Araraquara (SP), Catanduva (SP), Lapa (PR) e Lins (SP). Considerando projetos com obtenção de óleos vegetais integrada à produção de biocombustível, para a rota metílica, apenas o município da Lapa (PR) apresenta atendimento satisfatório. Já para a rota etílica, nenhuma alternativa locacional apresenta atendimento suficiente. Em relação às deficiências locacionais, para todas as modalidades de usina, verificou-se que os municípios mais carentes de investimento são: Guamaré (RN), Iraquara (BA), Ji-Paraná (RO), Nova Marilândia (MT), Paraíso do Tocantins (TO), Porto Nacional (TO) e Quixadá (CE).

Postos os resultados, é imprescindível considerar a dinâmica da realidade industrial. Ao longo do tempo, é possível que os municípios troquem de posição na hierarquia de atendimento aos projetos em decorrência de mudanças na demanda ou na oferta de fatores. Focando em alterações na demanda, pode ocorrer, por exemplo, um avanço tecnológico que ocasione a modificação do processo produtivo de biodiesel, alterando também o grau de importância de fatores relativos aos insumos, subprodutos e resíduos da atividade. Pensando na oferta, podem ocorrer mudanças, por exemplo, na infraestrutura das localidades – *e.g.* construção de rodovias, ferrovias e portos; ampliação das redes de distribuição de água e energia elétrica – e, conseqüentemente, na disponibilidade de seus fatores correspondentes.

Também é importante mencionar que o Modelo COPPE-COSENZA é flexível, permitindo a inclusão ou a exclusão de fatores e a alteração dos seus graus de importância, em função das percepções dos profissionais especialistas e do interesse ou da necessidade de quem o aplica. Desse

modo, principalmente quando o foco é localização industrial, pesquisadores ou empresas diferentes podem avaliar o mesmo contexto, mas obter resultados distintos.

Agradecimentos

Ao apoio financeiro da **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis** (ANP), da **Petrobras** e da **Financiadora de Estudos e Projetos** (FINEP) por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás (PRH-ANP/MCT), em particular ao **PRH 13**, da Escola de Química – Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria do Petróleo e Gás Natural.

Referências Bibliográficas

ANP, 2015. Página da Internet da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>> Acesso em 14 jan. 2015.

ATABANI, A. E.; SILITONGA, A. S.; BADRUDDIN I. A.; MAHLIA, T. M. I.; MASJUKI, H. H.; MEKHILEF, S. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 2070-2093, 2012.

COSENZA, C. A. N. **Introdução à Lógica Fuzzy**. Disciplina ministrada no Programa de Engenharia de Produção da COPPE/UFRJ de março a junho de 2015. Notas de aula.

COSTA, A. O.; OLIVEIRA, L. B.; LINS, M. P. E.; SILVA, A. C. M.; ARAUJO, M. S. M.; PEREIRA JR., A. O.; ROSA, L. P. Sustainability analysis of biodiesel production: A review on different resources in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 407-412, 2013.

EIA, 2015. Página da Internet da United States Energy Information Administration. Disponível em: <<http://www.eia.gov/>> Acesso em 19 fev. 2015.

MARTINS, G. W. Uma contribuição aos estudos de localização industrial: determinando o potencial de transporte aéreo de uma região com base no Modelo de Análise Hierárquica COPPE-COSENZA. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

MORÉ, J. D. Aplicação da lógica fuzzy na avaliação da confiabilidade humana nos ensaios não destrutivos por ultra-som. 2004. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2004.

REN21, 2014. Renewables 2014 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). Disponível em: <http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_full%20report_low%20res.pdf> Acesso em 19 fev. 2015.