



21 - 25  
AGOSTO DE 2016  
FORTALEZA - CEARÁ

## EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL DE BABAÇU

Antonio Alison da Silva Mamede, [alisonmamede@aluno.unilab.edu.br](mailto:alisonmamede@aluno.unilab.edu.br)<sup>1</sup>

Ellefson Emmanuel Souza de Oliveira, [ellefson\\_oliveira@hotmail.com](mailto:ellefson_oliveira@hotmail.com)<sup>1</sup>

Cinthia Rachel Bibiano de Araujo, [cinthiakel@gmail.com](mailto:cinthiakel@gmail.com)<sup>1</sup>

Eliane de Jesus da Costa de Carvalho, [elianedecarvalho@hotmail.com](mailto:elianedecarvalho@hotmail.com)<sup>1</sup>

Clodoaldo de Oliveira Carvalho Filho, [clodoaldo@ufc.br](mailto:clodoaldo@ufc.br)<sup>2</sup>

Maria Alessandra de Sousa Rios, [alexsandrarios@ufc.br](mailto:alexsandrarios@ufc.br)<sup>2</sup>

Ada Amelia Sanders Lopes, [ada@unilab.edu.br](mailto:ada@unilab.edu.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável. Avenida da Abolição, 3 – Centro  
CEP.: 62.790-000. Redenção – CE – Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica. Bloco 714. Centro de Tecnologia. Campus do Pici.. CEP.: 60.440-554. Fortaleza – CE – Brasil

**Resumo:** A produção de biocombustíveis apresenta-se como uma alternativa para minimizar impactos relacionados ao meio ambiente, energia e economia, podendo-se destacar o biodiesel. Na escala de produção do biodiesel, os aspectos como matéria-prima e condições operacionais estão relacionados às eficiências energéticas e exergéticas. Nessa vertente, o trabalho apresenta rotas de produção do biodiesel do óleo de babaçu, executadas com os tempos reacionais de 50 e 60 min, o que permitiu a avaliação e monitoramento do processo de produção e caracterização físico-química do mesmo. Os procedimentos experimentais das etapas de produção forneceram subsídios para realização das análises energética e exergética, identificando-se as etapas com menor eficiência energética. Assim, o presente trabalho traz a metodologia de análise energética e exergética, desenvolvida a partir dos balanços de massa, energia e eficiência exergética, aplicados ao processo de produção de biodiesel, analisando-se as reações de transesterificação via rota metílica e catálise básica.

**Palavras-chave:** Biodiesel, Energia e Exergia

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente a maior parte da energia do mundo ainda provém de fontes como petróleo, gás natural e carvão. Por serem consideradas fontes não renováveis, existe a possibilidade de futuramente haver o esgotamento. Além disso, esses tipos de combustíveis são bastante poluidores e agressivos ao meio ambiente, o que vem motivando a população de todo o mundo buscar soluções para minimizar e até mesmo erradicar esses impactos.

Dentre as alternativas encontradas para solucionar esse tipo de problema, estudos relacionados as matérias-primas renováveis capazes de produzir combustíveis, como biodiesel, vem sendo realizados por pesquisadores do mundo inteiro.

O uso de biodiesel vem crescendo significativamente em todo o mundo, pois este apresenta uma cadeia produtiva com um potencial bastante promissor, em distintos setores como economia, social e ambiental. O biodiesel abre oportunidades de geração de emprego no campo, valorizando a mão de obra rural, bem como no setor industrial valorizando a mão de obra especializada na produção do combustível Holanda (2004).

No que se refere ao aspecto ambiental, a contribuição é grande, sendo que haverá uma redução significativa e quantitativa de níveis de poluição ambiental, pois o biodiesel é livre de poluentes como enxofre, emite menor índice de particulados, é biodegradável e não tóxico.

Sendo assim, a utilização dessa fonte de energia alavanca vários benefícios e os estudos relacionados a sua produção devem ser desenvolvidos para melhorar cada vez mais a cadeia produtiva de Biodiesel. Com relação a eficiência do processo de produção e, eficiência energética da fonte, uma alternativa para verificação é a investigação da medida de trabalho pela termodinâmica clássica, através da determinação da exergia.

Exergia também chamado de análise de segunda lei, ou análise da disponibilidade termodinâmica, designa a capacidade que um sistema ou um processo têm para realizar trabalho útil. Pode pensar-se em exergia como sendo a máxima energia “útil” possível de ser “extraída” do sistema ou processo, Oliveira (2015).

Através desse estudo pode-se melhorar o entendimento sobre o processo e a dinâmica de produção, verificar e quantificar as perdas e também indicar quais melhorias podem ser estabelecidas para a eficiência produtiva.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Produção de Biodiesel

O processo de produção do biodiesel foi realizado por transesterificação, utilizando como matéria prima o óleo de babaçu. A exergia foi analisada em todas as etapas reacionais. O experimento foi realizado em triplicata, no qual variou-se os seguintes parâmetros: temperatura (50 °C, 60 °C e 70 °C) e tempo de reação (50 min, 60 min e 90 min), respectivamente.

Todas as etapas foram conduzidas por rota metílica e catálise básica (KOH). As reações foram conduzidas em escala de bancada, em um reator de vidro de capacidade de 1000 mL. Antes da transesterificação, a matéria-prima foi caracterizada por determinação do *índice de acidez e saponificação*. As análises do óleo de babaçu foram realizadas de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e normas internacionais da American Oil Chemists' Society (AOCS).

Na sequência, realizou-se as determinações das massas de óleo, catalisador e volume de agente transesterificante (metanol) e posteriormente, preparou-se a solução de metóxido de potássio. Na etapa seguinte procedeu-se com a mistura da matéria-prima e solução de metóxido de potássio, controlando-se o tempo e a temperatura da reação. Ao fim da reação, realizou-se a etapa de separação dos ésteres metílicos e glicerina, por meio do processo de decantação. Após a separação foram realizadas três lavagens sendo duas com água em temperatura ambiente e uma com água aquecida a 90 °C. Por fim, foi realizada a etapa de secagem por meio do aquecimento dos ésteres metílicos em uma chapa aquecedora (100 °C,  $\pm 5$  °), para remoção de umidade e resíduo de metanol.

### 2.2. Análise Exergética do Processo de Produção de Biodiesel

Para cada rota química de produção do biodiesel, os seguintes parâmetros de cálculo foram avaliados: massa inicial e final, temperatura, características químicas dos reagentes e produtos, utilização e dimensão dos equipamentos. Nos balanços de exergia foram identificados e quantificados: os insumos, trabalho mecânico, produtos, resíduos líquidos e sólidos, emissões gasosas e exergia destruída.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Calculando o peso molecular

Segundo Arredondo (2009), pode-se determinar o Peso Molecular (PM) dos componentes biomássicos (óleo de babaçu, biodiesel, glicerina e AGL), por meio da seguinte equação (1):

$$PM = \sum y_i (12,01 N_C + 1,008 N_H + 15,9 N_O) i \quad (1)$$

Na qual:

$N_C$  = Número de Carbono

$N_H$  = Número de Hidrogênio

$N_O$  = Número de Oxigênio.

O óleo de babaçu apresentou peso molar (PM) médio de 700,35 g/mol. De acordo com Santos (2008), a equação 1 consiste no somatório do percentual molar dos ácidos graxos presentes no óleo e sua massa molar, multiplicado por três e dividido pelo somatório do percentual molar dos ácidos graxos totais que compõe o óleo. Como uma primeira aproximação, uma vez que a composição em teor de ácidos graxos é a mesma para o biodiesel de babaçu, pode-se inferir que sua massa molar é aproximadamente a mesmo do óleo. Essa informação é importante, pois, sendo a exergia uma propriedade extensiva, as massas dos compostos serão relevantes nos cálculos das exergias do óleo e do biocombustível.

### 3.2. Rendimentos

Os rendimentos obtidos, variando-se o parâmetro temperatura, estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Rendimentos obtidos nas três rotas alterando parâmetros**

| TEMPERATURA (°C) | TEMPO (min) | RENDIMENTO (%) |
|------------------|-------------|----------------|
| 50               | 50          | 89,7           |
| 60               | 60          | 89,0           |
| 70               | 50          | 86,1           |

Fonte: Autores.

De acordo com os resultados, verificou-se que o maior rendimento é obtido quando se realiza a reação de transesterificação a temperatura de 50 °C e tempo reacional de 50 minutos, além disso, os custos energéticos são menores. Deve-se ressaltar que o fato de executarmos a reação a 50 °C também garantiu uma menor demanda do potencial do equipamento. Observa-se também, que a reação executada a 70 °C apresentou um menor rendimento, provavelmente, devido ao escape de metanol, agente transesterificante, o qual possui ponto de ebulição de 64,7 °C, comprometendo a estequiometria que favorece a obtenção dos ésteres metílicos.

### 3.3. Índice de saponificação

Os resultados para o índice de saponificação, das amostras do óleo *in natura* 1 e 2, indicou que o óleo de babaçu estava apropriado para obtenção de biodiesel, uma vez que os valores obtidos estavam em conformidade com os limites estabelecidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Tabelas 2 e 3. Nas Tabelas 4 e 5 estão apresentados os resultados do índice de saponificação para as amostras do óleo *in natura* 1 e 2.

**Tabela 2 – Características Físico-Química do Óleo de Babaçu por Luiz *et al.*, (2011)**

| Características Físico-Químicas             | Óleo Bruto de Babaçu | Codex Stand 210 1999 | Oliveira <i>et al.</i> , 2007 |
|---------------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|
| Índice de acidez (mgKOH/g)                  | 3,75 ± 0,05          | Máx. 5%              | 3,31-3,38                     |
| Índice de peróxido (meq O <sub>2</sub> /kg) | 0,40 ± 0,03          | -                    | 0,0                           |
| Umidade (%)                                 | 0,17 ± 0,05          | -                    | -                             |
| Índice de iodo (Wjs)                        | 17,03 ± 0,05         | 10-18                | -                             |
| Índice de saponificação (mgKOH/g)           | 189,8 ± 0,01         | 245-246              | 164-252                       |
| Densidade relativa a 25 °C                  | 0,914 ± 0,03         | 0,914-0,917          | 0,918-0,924                   |

Fonte: Luiz *et al.*, (2011)

**Tabela 3 – Características Físico-Química do Óleo de Babaçu**

| Propriedades                                | Limites     |
|---------------------------------------------|-------------|
| Massa específica, 40°C/25°C                 | 0,911-0,914 |
| Índice de refração (nD40)                   | 1,448-1,451 |
| Índice de saponificação                     | 245-256     |
| Índice de iodo (Wjs)                        | 10-18       |
| Matéria insaponificável, g/100g             | Máximo 1,2% |
| Acidez (g de ácido oleico/100g)             | -           |
| Óleo de babaçu                              | Máximo 0,3% |
| Óleo de babaçu bruto                        | Máximo 5,0% |
| Índice de peróxido (meq O <sub>2</sub> /kg) | Máximo 10   |

Fonte: Anvisa (1999)

**Tabela 4 - Resultado para índice de saponificação óleo *in natura* I**

| PARÂMETRO               | AMOSTRA 1       | AMOSTRA 2       | AMOSTRA 3       | BRANCO  |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|
| Massa do óleo           | 4,00 g          | 4,00 g          | 4,00 g          | -       |
| Volume de HCl           | 22,4 ml         | 21,3 ml         | 20,8 ml         | 57,6 ml |
| Índice de saponificação | 256,12 mg KOH/g | 264,12 mg KOH/g | 267,76 mg KOH/g | -       |

Fonte: Autores.

**Tabela 5 - Resultado para índice de saponificação óleo *in natura* II**

| PARÂMETRO               | AMOSTRA 1       | AMOSTRA 2       | AMOSTRA 3       | BRANCO  |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|
| Massa do óleo           | 4,0473 g        | 4,0307 g        | 4,0110 g        | -       |
| Volume de HCl           | 26 ml           | 28,2 ml         | 27,0 ml         | 62,1 ml |
| Índice de saponificação | 259,59 mg KOH/g | 244,78 mg KOH/g | 254,69 mg KOH/g | -       |

Fonte: Autores.

### 3.4. Índice de acidez

O índice de acidez do óleo de babaçu estava dentro dos padrões de qualidade aceitável para a produção do biodiesel, sendo utilizado sem nenhum tratamento prévio. De acordo com dados da EMBRAPA (2009), para que o processo de transesterificação seja satisfatório, os óleos vegetais devem conter no máximo 3% de acidez. Os resultados dos ensaios são apresentados nas Tabelas 6 e 7.

**Tabela 6 - Resultados dos índices de acidez utilizando 2g da amostra do óleo 1**

| PARÂMETRO          | AMOSTRA 1 | AMOSTRA 2 | AMOSTRA 3 |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| Massa do óleo      | 2,00g     | 2,00g     | 2,00g     |
| Volume de KOH      | 0,45 ml   | 0,35 ml   | 0,35 ml   |
| Volume de Solvente | 100 ml    | 100 ml    | 100 ml    |
| Índice de acidez   | 1,2021    | 0,9350    | 0,9350    |

Fonte: Autores.

**Tabela 7 - Resultados dos índices de acidez utilizando 2g da amostra do óleo 2**

| PARÂMETRO          | AMOSTRA 1       | AMOSTRA 2       | AMOSTRA 3       |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Massa do óleo      | 2,01g           | 2,01g           | 2,00g           |
| Volume de KOH      | 0,45 ml         | 0,45 ml         | 0,45 ml         |
| Volume de Solvente | 100 ml          | 100 ml          | 100 ml          |
| Índice de acidez   | 1,1961 mg KOH/g | 1,1961 mg KOH/g | 1,2021 mg KOH/g |

Fonte: Autores.

### 3.5. Cálculo das exergias químicas

Segundo Ferreira (2014), para encontrar a exergia química do óleo do babaçu, do biodiesel, da glicerina e do ácido graxo livre (AGL) foi quantificado os percentuais mássicos de carbono, hidrogênio e oxigênio presentes nessas substâncias, que estão disponíveis nas Tabelas 2 e 3, e seus respectivos PCS (Poder calorífico superior) e PCI (Poder calorífico inferior). Utilizou-se essa metodologia de determinação de PCS apenas para o biodiesel 3. Já para os biodieseis 1 e 2 tomou-se os valores de PCS através da bomba calorimétrica, para cálculo do PCI. A exergia química dos compostos biomássicos foi calculada pelas equações 2 e 3:

$$b^{CH} = \beta PCI \quad (2)$$

$$\beta = 1037 + 0,0159 H/C + 0,0567 O/C \quad (3)$$

Na qual:

H, C e O – porcentagem mássica do hidrogênio, carbono e oxigênio presentes na biomassa líquida.

#### 3.5.1. Calculando o poder calorífico

O poder calorífico é uma das mais importantes características de um combustível e indica a quantidade de calor que se libera durante a combustão completa do combustível. Pode-se obter experimentalmente ou em forma analítica, sempre que seja conhecida a composição química elementar da substância. Baseando-se no exposto, determinou-se os PCS e PCI para os biodieseis de babaçu da terceira síntese e apenas PCI para os biodieseis 1 e 2.

Segundo Arredondo (2009), os poderes caloríficos superiores e inferiores (PCI e PCS) podem ser determinados matematicamente, desde que se considere que a água formada do hidrogênio que fez parte da composição do combustível, encontre-se na fase vapor. No entanto, o PCS pode ser determinado diretamente em bomba calorimétrica, podendo-se calcular PCI, como determina as equações 4 e 5.

$$PCI = PCS - 0,0894 * 2442,3 * H \quad (4)$$

$$PCS = 349,1C + 1178,3H + 100,5S - 103,4O - 15,1N - 21,1W \quad (5)$$

Na qual: C, H, S, O, N, A e W são respectivamente as porcentagens mássicas de carbono, hidrogênio, enxofre, oxigênio, nitrogênio, cinzas e umidade no combustível.

Nas Tabelas 8 e 9 estão apresentados os poderes caloríficos dos biodieseis 1 e 2, obtidos experimentalmente.

**Tabela 8 - Poder calorífico superior do biodiesel 1**

| AMOSTRA   | MASSA DA AMOSTRA (g) | PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS em MJ/kg) |
|-----------|----------------------|------------------------------------------|
| Amostra 1 | 0,5351               | 37 923                                   |
| Amostra 2 | 0,5213               | 37 370                                   |
| Amostra 3 | 0,5421               | 37 172                                   |

FONTE: Autores.

**Tabela 9 – Poder calorífico superior do Biodiesel 2**

| AMOSTRA   | MASSA DA AMOSTRA (g) | PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS em MJ/kg) |
|-----------|----------------------|------------------------------------------|
| Amostra 1 | 0,5109               | 37 324                                   |
| Amostra 2 | 0,5464               | 37 128                                   |
| Amostra 3 | 0,5270               | 37 511                                   |

FONTE: Autores.

Os resultados obtidos para os PCI's e para o coeficiente  $\beta$  através da equação (3) dos biodieseis 1 e 2, são apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10 - PCI e  $\beta$  para os Biodiesel 1 e 2**

|         | Biodiesel 1    | Biodiesel 2    |
|---------|----------------|----------------|
| PCI     | 36,491 (MJ/kg) | 35,990 (MJ/kg) |
| $\beta$ | 1,04994        | 1,04994        |

Fonte: Autores.

As exergias para os biodieseis 1 e 2 estão apresentadas na Tabela 11.

**Tabela 11 – Exergias Calculadas**

|         | Biodiesel 1  | Biodiesel 2  |
|---------|--------------|--------------|
| Exergia | 38. 313,6043 | 37. 787,9308 |

Fonte: Autores.

No entanto, baseando-se nos resultados de Ferreira (2014) e Arredondo (2008), é necessário multiplicar esses valores pelas massas molares, para tanto, temos de determiná-las.

### 3.5.2. Determinação da massa molar

O óleo de babaçu apresenta massa molar (MM) média de 700,35 g/mol, que se calculou de acordo com a equação (1). Na Tabela 12 estão apresentadas as exergias multiplicadas pela massa molar.

**Tabela 12 – Exergias Multiplicadas pela Massa Molar**

|         | Biodiesel 1      | Biodiesel 2     | Biodiesel 3   |
|---------|------------------|-----------------|---------------|
| Exergia | 26.832.932, 7715 | 26.464.777, 335 | 22.300.000,00 |

Fonte: Autores

Na Tabela 13 estão apresentados os valores de exergias de insumos disponíveis na literatura. Os resultados de saída foram baseados no trabalho de Ferreira (2014).

**Tabela 13 – Balanços Exergético da Planta de Produção de Biodiesel de Babaçu por Rota Metílica (kg/tonelada de amêndoas)**

| Entradas                                                                         | Saídas                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| E <sub>O</sub> (exergia do óleo)<br>2,36.10 <sup>7</sup>                         | EP (exergia do produto) Biodiesel<br>2,23.10 <sup>7</sup>    |
| E <sub>in</sub> (exergia do insumo)<br>CH <sub>3</sub> OH<br>0,5.10 <sup>7</sup> | Glicerina<br>1.590,742                                       |
| KOH<br>14.634,38                                                                 | CH <sub>3</sub> OH<br>0,383.10 <sup>7</sup>                  |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>163.025                                        | AGL 274.404                                                  |
| E <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (exergia da água)<br>137.970                         | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3751,8                       |
| E <sub>w</sub><br>11.340                                                         | E <sub>R</sub> (exergia do resíduo) H <sub>2</sub> O 123.735 |
| E <sub>v</sub><br>199.715                                                        | E <sub>C</sub> (exergia do condensado) 230.670               |
|                                                                                  | E <sub>D</sub> (exergia destruída) 0,066.10 <sup>7</sup>     |

Fonte: Ferreira 2014.

### 3.5.3. Balanço exergético

Para a realização do balanço exergético foram necessários os cálculos das gerações de entropia, por conseguinte das irreversibilidades, das exergias do trabalho mecânico e das exergias associadas ao fluxo de calor para as três reações. As equações segundo Oliveira (2015), estão apresentadas a seguir (6 a 9).

Geração de entropia:

$$\dot{I} = Q \left( \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right) \quad (6)$$

Irreversibilidade ou exergia destruída:

$$W_R = I = T_0 \dot{I} \quad (7)$$

Exergia do trabalho:

$$W_{CAR} = E^Q \quad (8)$$

Exergia por transferência de calor

$$\dot{E}_q = \left( 1 - \frac{T_0}{T_b} \right) \dot{Q} \quad (9)$$

Na qual:

$\dot{I}$  = taxa de geração de entropia;

$\dot{Q}$  = taxa de transferência de calor;

$\dot{I}$  = irreversibilidade;

$W_{car}$  = exergia do trabalho mecânico;

$\dot{E}_q$  = exergia por transferência de calor;

$T_0$  = temperatura ambiente;

$T_b$  = temperatura do volume de controle.

Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 14 e 15

**Tabela 14 – Resultados para taxa de geração de entropia, exergia de trabalho, exergia por transferência de calor e exergia destruída.**

|                    | $\dot{I} (J/sK)$ | $W_{CAR} (J/s)$ | $\dot{E}_q (W)$ | $\dot{I} (W)$ |
|--------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| <b>Biodiesel 1</b> | 0,2337           | 900             | 69,6594         | 69,6426       |
| <b>Biodiesel 2</b> | 0,3174           | 900             | 94,59           | 94,5941       |
| <b>Biodiesel 3</b> | 0,3962           | 900             | 118,08          | 118,0735      |

Fonte: Autores.

De posse desses valores, calculou-se o balanço exergético através da equação (1), Shapiro (2011).

$$0 = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_b}\right) \dot{Q} - \dot{W}_{vc} - \dot{m}(e_{f1} - e_{f2}) - \dot{E}_d \quad (10)$$

**Tabela 15 – Resultados para as Exergias Específicas**

|                    | <b>Exergias específicas (kJ/kg)</b> |
|--------------------|-------------------------------------|
| <b>Biodiesel 1</b> | 899,98                              |
| <b>Biodiesel 2</b> | 900,00                              |
| <b>Biodiesel 3</b> | 899,98                              |

Fonte: Autores.

#### 4. CONCLUSÃO

Concluiu-se que em termos energéticos o biodiesel sintetizado a temperatura de 50 °C e 50 min, apresentou o maior rendimento, o que nos permite inferir que o biocombustível possui produção que apresenta menores custo em termos energéticos, uma vez que exige dos equipamentos menor tempo de funcionamento. Também se obteve um maior valor de exergia química para o biodiesel produzido através dessa síntese o que é algo satisfatório, uma vez que alterando parâmetros como tempo e temperatura foi possível proporcionar a geração de um biocombustível mais eficiente.

Quanto ao balanço exergético, é notório que houve uma maior destruição de exergia na última reação, quantificada em 118, 07356 KW, e a síntese 1 como já esperado diante dos valores de exergia química já obtidos, apresentou-se como o procedimento com menores perdas exergéticas, reforçando que esta síntese apresentou-se como a mais eficiente, no entanto, deve-se deter ao fato de que há muito a ser averiguado à cerca dos parâmetros que se pode alterar e assim obter melhores resultados, bem como existem etapas de metodologia que ainda merecem mais atenção, uma vez que contribuirão para o enriquecimento do trabalho e maior credibilidade dos resultados apresentados.

#### 5. REFERÊNCIAS

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 14, de 11.5.2012. Disponível em: <[www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br)>

American Oil Chemists' Society (AOCS). Disponível em: <[www.aocs.org](http://www.aocs.org)>

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Disponível em: < [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)>

ARREDONDO, H.I.V. Avaliação exergética e exergo-ambiental da produção de biocombustíveis. p. 19-75. 2009

Çengel, Yunus A.; Boles, Michael A., “Termodinâmica”, 5ª Ed. Mc Graw Hill.

FERREIRA, M.E.M. Análise exergoeconômica da produção de biodiesel de Babaçu obtido por via metílico e etílico. p. 34-80. 2014.

HOLANDA, A.; Biodiesel e Inclusão Social, Câmara dos Deputados Federais: Brasília, DF, 2004

Moran; Shapiro; Munson; De Witty; 2005, “Introdução à Engenharia de Sistemas Técnicos”. Ed LTC

SANTOS, J.R.J. Biodiesel de babaçu: *Avaliação Térmica, Oxidativa e Misturas Binárias* 2008.

Nascimento U.M., K.S.R. Brandão (PG), Silva, F.C., 2004, “Estudo do processo de produção de biodiesel metílico e etílico a partir do óleo de babaçu (Orbignya Martiniana).”

OLIVEIRA, P.P. Fundamentos de Termodinâmica aplicada: Análise Energética e Exergética. Lisboa: Editora Lidel, 2015.

OMETTO, A. R. Avaliação do Ciclo de Vida do Álcool Etílico Hidratado Combustível pelos Métodos Edip, Exergia e Emergia. São Carlos. (2005).

## 6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

# ENERGY EFFICIENCY AND EXERGETIC OF THE PROCESS OF BABASSU BIODIESEL PRODUCTION

Antonio Alison da Silva Mamede, [alisonmamede@aluno.unilab.edu.br](mailto:alisonmamede@aluno.unilab.edu.br)<sup>1</sup>

Ellefson Emmanuel Souza de Oliveira, [ellefson\\_oliveira@hotmail.com](mailto:ellefson_oliveira@hotmail.com)<sup>1</sup>

Cinthia Rachel Bibiano de Araujo, [cinthiakel@gmail.com](mailto:cinthiakel@gmail.com)<sup>1</sup>

Eliane de Jesus da Costa de Carvalho, [elianedecarvalho-@hotmail.com](mailto:elianedecarvalho-@hotmail.com)<sup>1</sup>

Clodoaldo de Oliveira Carvalho Filho, [clodoaldo@ufc.br](mailto:clodoaldo@ufc.br)<sup>2</sup>

Maria Alessandra de Souza Rios, [alexandrarios@ufc.br](mailto:alexandrarios@ufc.br)<sup>2</sup>

Ada Amelia Sanders Lopes, [ada@unilab.edu.br](mailto:ada@unilab.edu.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University for the International Integration of the Afro-Brazilian Lusophony. Institute for Engineering and Sustainable Development – IEDS. Avenida da Abolição, 3 – Centro. CEP.: 62.790-000. Redenção – CE – Brazil

<sup>2</sup> Federal University of Ceara, Department of Mechanical Engineering. 714. Technology Center. Campus do Pici.. CEP.: 60.440-554. Fortaleza – CE – Brazil

**Abstract:** The production of biofuels is presented as an alternative to minimize impacts related to the environment, energy and economy, and can out-biodiesel. In biodiesel production scale, aspects such as raw material and operating conditions are related to energy and exergetic efficiencies. In this aspect, the work presents biodiesel production routes of babassu oil, performed with reaction times of 50 and 60 min, allowing the evaluation and monitoring of the production process and physicochemical characterization of it. The experimental procedures of the production steps provided subsidies for realization of energy and exergy analysis, identifying the steps less energy efficient. Thus, this paper presents the methodology of energy and exergy analysis, developed from the mass balance, energy and exergy efficiency, applied to the biodiesel production process, analyzing the reactions of transesterification via methyl route and basic catalysis.

**Keywords:** Biodiesel, Energy and Exergy