

Microemulsões combustíveis à base de óleo de babaçu (*Orbignya martiniana*)

Paulo Roberto Barros Gomes^{1*}; Karlene Kelen Marques Mendonça²; Cássio da Silva Dias²; Victor Elias Mouchrek Filho²; Hilton Costa Louzeiro³; Fernando Carvalho Silva²; Adeilton Pereira Maciel²; Maria Alves Fontenele⁴

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - Campus Abaetetuba, Pará, Brasil.

² Universidade Federal do Maranhão - Campus Bacanga, São Luís, Maranhão, Brasil.

³ Universidade Federal do Maranhão - Campus Pinheiro, Pinheiro, Maranhão, Brasil.

⁴ Universidade Federal do Maranhão - Campus Imperatriz, Imperatriz, Maranhão, Brasil.

*prbgomes@yahoo.com.br

Fecha recepción: febrero 4 de 2019

Fecha aceptación: mayo 17 de 2020

Resumo

Neste trabalho é descrito o preparo e a caracterização físico-química de combustíveis a base de microemulsões, formadas por óleo de babaçu, álcool, água, aguardente comercial e tensoativo. Inicialmente, foram construídos os diagramas de fases pseudoternário para obter as condições de máxima solubilização dos componentes. Em seguida, foram preparadas as microemulsões a partir do óleo de babaçu, álcool etílico 40%, aguardente comercial e isobutanol. Foi determinada a viscosidade cinemática, condutividade elétrica e o ponto de fulgor das microemulsões conforme as normas da American Society for Testing and Materials. Foi observado nos diagramas a formação de duas regiões: uma monofásica onde as formulações existem como uma fase visível na forma de microemulsões termodinamicamente estáveis; e outra bifásica onde as formulações são instáveis e apresentam duas fases de imiscibilidade visíveis. Os sistemas microemulsionados apresentaram viscosidade que variaram entre 6 e 4 mm² s⁻¹. O ponto de fulgor das amostras analisadas apresentou valor de 33 °C, valor considerado baixo comparado com o diesel de petróleo, 70 °C. A condutividade para todos os sistemas foi menor que 1 μS cm⁻¹ indicando a classificação A/O para as microemulsões. Os sistemas microemulsionados apresentaram uma acentuada diminuição da viscosidade quando comparadas com o óleo refinado de babaçu, atingindo valores próximos à viscosidade do óleo diesel.

Palavras-chave: Óleo de Babaçu; Microemulsões; Combustíveis.

Fuel microemulsions based on babassu oil (*Orbignya martiniana*)

Abstract

In this paper is described the preparation and physical-chemical characterization of microemulsion-based fuels, consisting of babassu oil, alcohol, water, commercial spirits and surfactants. Initially, were built the phase diagrams pseudoternary to obtain the conditions of maximum solubilization of the components. Next, were prepared the microemulsions from babassu oil, 40% ethyl alcohol, commercial spirits and isobutanol. Was determined the kinematic viscosity, electrical conductivity and flash point of the microemulsions in accordance with the standards of the American Society for Testing and Materials. Was observed in the diagrams the formation of two regions: a monophasic where the formulations exist as a visible phase in the form of thermodynamically stable microemulsions; and a biphasic one where the formulations are unstable and have two visible phases of immiscibility. The microemulsion systems had viscosities that varied between 6 and 4 mm² s⁻¹. The flash point of the samples analyzed presented a value of 33 °C, a value considered low when compared to petroleum diesel, 70 °C. The conductivity for all systems was less than 1 μS cm⁻¹, indicating the A / O classification for the microemulsions. The microemulsion systems presented a marked decrease in viscosity when compared to refined babassu oil, reaching values close to the viscosity of the diesel oil.

Keywords: Babassu Oil; Microemulsions; Fuels.

Microemulsiones combustibles a base de aceite de babaçu (*Orbignya martiniana*)

Resumen

En este trabajo es descrito la preparación y la caracterización físico-química de combustibles a base de microemulsiones, formada por aceite de babaçu, alcohol, agua, aguardiente comercial y tensoactivo. Inicialmente, se construyeron los diagramas de fases pseudoternario para obtener las condiciones de máxima solubilización de los componentes. A continuación, se prepararon las microemulsiones a partir del aceite de babaçu, alcohol etílico 40%, aguardiente comercial e isobutanol. Se determinó la viscosidad cinemática, la conductividad eléctrica y el punto de inflamación de las microemulsiones según las normas de la American Society for Testing and Materials. Se observó en los diagramas la formación de dos regiones: una monofásica donde las formulaciones existen como una fase visible en la forma de microemulsiones termodinámicamente estables; y otra bifásica donde las formulaciones son inestables y presentan dos fases de inmiscibilidad visibles. Los sistemas microemulsionados presentaron viscosidad que oscilaron entre 6 y 4 mm² s⁻¹. El punto de fulgor de las muestras analizadas presentó valor de 33 °C, valor considerado bajo en comparación con el diesel de petróleo, 70 °C. La conductividad para todos los sistemas fue menor que 1 μS cm⁻¹ indicando la clasificación A/O para las microemulsiones. Los sistemas microemulsionados presentaron una acentuada disminución de la viscosidad en comparación con el aceite refinado de babaçu, alcanzando valores próximos a la viscosidad del aceite diesel.

Palabras clave: Aceite de Babaçu; Microemulsiones; Combustibles.

Introdução

A maior demanda de energia do mundo é proveniente de recursos convencionais de energia como carvão e o petróleo [1]. A utilização dos combustíveis de origem fóssil como principal fonte energética tem estimulado a procura de novas fontes de energia, os constantes aumentos no preço do petróleo e os problemas ambientais influenciam no investimento de estudos de energias alternativas oriundas de biomassa, como por exemplo, os óleos vegetais [2].

O Brasil pela sua imensa extensão territorial, associada às excelentes condições edafoclimáticas, é considerado promissor para a produção de biomassa destinada a fins alimentares, químicos e energéticos [3]. Os óleos vegetais, como alternativa de combustível, começaram a ser estudados no final do século XIX por Rodolf Diesel, sendo que estes eram usados *in natura*, ou seja, na forma de óleo [4]. A aplicação direta dos óleos vegetais nos motores é limitada por algumas propriedades físico-químicas dos mesmos, principalmente sua alta viscosidade, baixa volatilidade e seu caráter poliinsaturado, que implicam em alguns problemas nos motores, bem como em uma combustão incompleta. Assim, visando reduzir a viscosidade dos óleos vegetais, diferentes alternativas têm sido consideradas, tais como diluição, microemulsão com metanol ou etanol, craqueamento catalítico e reação de transesterificação com etanol ou metanol [3,5].

Os sistemas microemulsionados surgem como um tipo de combustível alternativo ao diesel, devido à possibilidade de se utilizar óleos vegetais. Como vantagens na utilização de microemulsões têm-se: a utilização de fontes renováveis, a diminuição da viscosidade dos óleos vegetais, a redução na fuligem com conseqüente diminuição da emissão de gases como óxidos de nitrogênio, os monóxidos de carbono, entre outras [6].

As microemulsões combustíveis são preparadas a partir de álcoois, surfactantes e principalmente por matérias-primas renováveis, como óleos vegetais e dentre estes o óleo de babaçu [7] se apresenta como uma alternativa visto que o Maranhão possui uma grande concentração de babaçuais, distribuídos de forma descontínua no Estado [8].

Portanto, diante do exposto, este trabalho teve como foco a preparação e a caracterização físico-química de sistemas microemulsionados contendo na sua constituição o óleo de babaçu, que é uma fonte de biomassa produzida no

Estado do Maranhão, visando sua aplicação como biocombustíveis, na substituição do óleo diesel fóssil.

Materiais e Métodos

Equipamentos

Agitador de tubo de ensaio (QUIMIS), Agitador magnético (FANEM), Aparelho Pensky-Martens vaso fechado, Balança analítica (OHAUS), Banho Termostático Visco Bath HVB-438, Condutivímetro (HANNA), Densímetro: Density Meter DMA-4500, Estufa (FANEM) e Capilar de rotina Cannon-Fenske nº 75 e nº 100.

Reagentes

Óleo refinado de babaçu obtido na empresa Oleaginosas do Maranhão (OLEAMA); Álcool Etílico Absoluto P.A Cromoline (pureza = 99,8%); Álcool isobutílico P.A Isofar (pureza = 98%); Aguardente de cana adoçada engarrafada pela Indústria de Bebidas Paris, grau alcoólico 40%, identificada como aguardente A; Aguardente de cana engarrafada pela Companhia Müller de Bebidas, grau alcoólico 39%, identificada como aguardente B.

Preparo das soluções

Foram preparados 50 mL de solução aquosa de etanol a 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 95% (v/v). Obtidas com a adição de 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, 10% e 5% de água destilada ao etanol P.A 99,8%, respectivamente.

Análises físico-químicas do óleo de babaçu

O emprego do óleo de babaçu no preparo de microemulsões combustíveis requer a sua caracterização físico-química para verificar se está em condições adequadas de uso e seu estado de conservação. O óleo de babaçu foi seco em estufa a 120 °C durante 4 h, com a finalidade de retirar a umidade. Nas análises físico-químicas, foi determinado o índice de acidez, o índice de peróxido, o índice de saponificação, a densidade e a viscosidade cinemática. Os testes foram realizados seguindo as normas internacionais do American Oil Chemists' Society - AOCS Official Methods [9], ASTM 6751 [10].

Tensoativo

O tensoativo selecionado foi o álcool isobutílico, que é classificado como tensoativo não iônico e é um constituinte muito importante, pois age

na diminuição da tensão interfacial da mistura heterogênea (óleo + água) e converte essa mistura em microemulsão, não sendo necessária a adição de outro constituinte como um co-tensioativo.

Teste de miscibilidade

Antes da construção dos diagramas de fases, foi realizado o teste de solubilidade dos componentes utilizados para obter as microemulsões; esses componentes são: óleo de babaçu utilizado como fase oleosa; etanol 40% - 95% e aguardentes utilizadas como fase aquosa e o isobutanol como tensioativo.

O teste de miscibilidade indica quais componentes são insolúveis ou solúveis entre si à temperatura ambiente, a fim de verificar se é possível obter um sistema homogêneo sem a presença de outro constituinte.

Obtenção dos diagramas de fases pseudoternário

No estudo de sistemas microemulsionados se faz necessário construir diagramas de fases onde se

obtem a curva de solubilidade a partir da titulação dos constituintes da microemulsão. Os diagramas podem ser obtidos a partir de dados de titulação ou pela preparação de amplo número de amostras com diferentes proporções dos componentes. A vantagem do primeiro método é que este pode ser usado para estudar amplo número de amostras de diferentes composições de maneira rápida [6].

Portanto, determinou-se a região de microemulsão por meio dos diagramas de fases pseudoternário e utilizou-se o método da titulação volumétrica com pesagem analítica das massas dos constituintes do sistema, a fim de se obter as proporções mássicas respectivas. A construção do diagrama, foi a partir de várias proporções formadas pela fase apolar (óleo) e solução aquosa (etanol + água), e cada ponto foi titulado com o tensioativo (isobutanol), segundo ilustra a figura 1. Dessa forma, obtemos as transições adquiridas visualmente, após agitação, foi observado se estas possuem as características próprias segundo a classificação de Winsor, pesquisador que propôs uma classificação baseada na natureza das fases envolvidas [6].

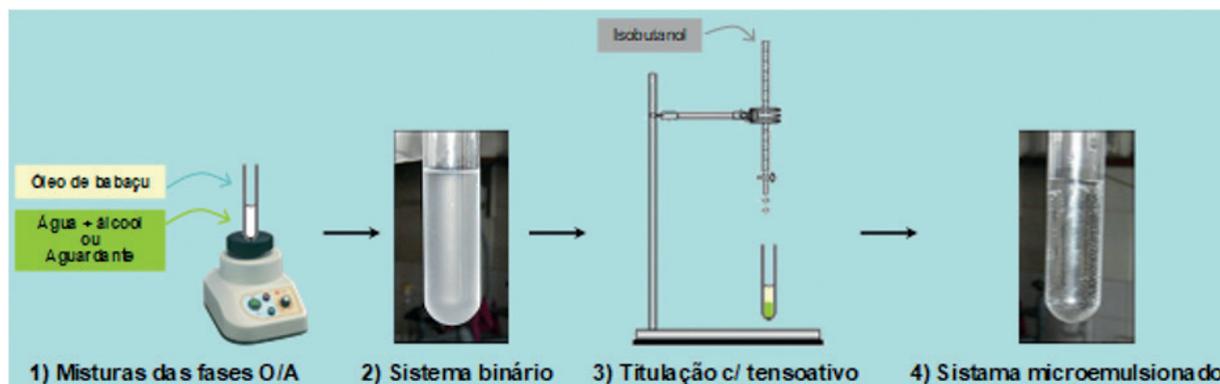


Figura 1. Fluxograma de obtenção do sistema microemulsionado.

Neste trabalho, obtemos nove sistemas microemulsionados, com quatorze frações diferentes de acordo com a tabela 1:

Tabela 1. Composição dos sistemas microemulsionados.

Fase Oleosa	Fase Aquosa	Tensioativo
Óleo de babaçu	etanol 40%	Isobutanol
	etanol 50%	
	etanol 60%	
	etanol 70%	
	etanol 80%	
	etanol 90%	
	etanol 95%	
	Aguardente A	
	Aguardente B	

Inicialmente, foi medida a massa do óleo de babaçu e a solução de etanol (40% a 95%) ou aguardente em proporções que variaram entre 10% e 90% para esses constituintes e misturamos até a obtenção de um aspecto turvo para esse sistema heterogêneo. Em seguida, essa mistura foi titulada com o isobutanol até a obtenção de uma mistura com aspecto transparente e homogêneo que corresponde ao sistema microemulsionado. A partir dos volumes gastos foram obtidas as frações em massa destes componentes, utilizando cálculos estequiométricos. As frações foram calculadas a partir das seguintes relações, onde m_o = massa da fase oleosa; m_a = massa da fase aquosa e m_i = massa de isobutanol (equações 1, 2 e 3)

$$\text{Fração mássica da fase oleosa: } X_o = m_o / m_o + m_a + m_i \quad (1)$$

$$\text{Fração mássica da fase aquosa: } X_a = m_a / m_o + m_a + m_i \quad (2)$$

$$\text{Fração mássica do tensoativo: } X_i = m_i / m_o + m_a + m_i \quad (3)$$

Os resultados dos cálculos obtidos para as frações mássicas foram usados para plotar o diagrama de fases pseudoternário

Preparo das microemulsões

Para a preparação dos sistemas microemulsionados foi selecionado nos diagramas de fases pseudoternários regiões dentro da classificação de Winsor IV, que corresponde à região onde se obtém o sistema monofásico microemulsionado. A região escolhida no diagrama corresponde aos pontos onde encontra-se as maiores frações de fase oleosa, uma vez que o objetivo é preparar um combustível empregando o óleo de babaçu, produto do agroextrativismo do Maranhão. Foram preparados os sistemas microemulsionados utilizando somente a solução de etanol 40% e as aguardentes comerciais A e B como fase aquosa.

Propriedades físico-químicas

Viscosidade cinemática. A viscosidade da microemulsão é medida através de um viscosímetro Cannon-Fenske, submerso em um banho termostático Visco Bath HVB – 438. Esse método consiste em medir o tempo de um volume de líquido fluindo, sob gravidade, através do viscosímetro Cannon-Fenske. Foi realizado esse procedimento de acordo com o método da ASTM D 445. A amostra foi introduzida no capilar que foi posteriormente imerso em banho estabilizado a temperatura de 40 °C. O capilar com a amostra permaneceu no banho por cerca de 30 minutos, a fim de que a amostra fique estável naquela temperatura. Em seguida, foi medido o tempo de escoamento da amostra e multiplicamos esse valor pela constante de calibração do capilar.

Condutividade elétrica e Densidade relativa.

Para a determinação da condutividade elétrica dos sistemas microemulsionados foi empregada a norma ASTM D 1125 utilizando um condutímetro HI 2300 (HANNA). A densidade é uma propriedade fluidodinâmica e está relacionada diretamente ao funcionamento de motores diesel, pois exerce influência na injeção e circulação de combustíveis. A densidade das microemulsões foi determinada

injetando-se a amostra por meio de uma seringa em um densímetro digital Density Meter (ASTM D-4052).

Ponto de fulgor. O ponto de fulgor indica a temperatura mínima na qual um líquido forma com o ar uma mistura inflamável. Sua importância reflete na segurança dos transportes, manuseio e no armazenamento. Foi determinado conforme o método ASTM D-93.

Resultados e Discussão

A caracterização físico-química do óleo vegetal é uma etapa importante no preparo de sistemas microemulsionados, tendo em vista a sua utilização como combustível. Uma das principais características dos óleos reflete principalmente na acidez, que indica o seu estado de conservação. A tabela 2, apresenta os resultados das características físico-químicas do óleo refinado de babaçu.

Tabela 2. Principais características físico-químicas do óleo refinado de babaçu.

Ensaio	Óleo refinado
Índice de acidez (%)	0,028
Índice de peróxido (meq/kg)	8,456
Índice de saponificação	249,98
Índice de iodo (Wijs)	17,22
Viscosidade cinemática (mm ² /s)	29,18
Massa específica a 20 °C(kg/m ³)	921,3

O resultado obtido para o índice de acidez, índice de peróxido, índice de saponificação e para o índice de iodo estão dentro dos limites regulamentados pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), indicando que o óleo refinado de babaçu está em boas condições de uso, podendo ser utilizado na produção de biocombustíveis dentre outras aplicações.

Diagramas de fases pseudoternários

O objetivo da construção dos diagramas de fases é obtenção dos pontos críticos onde a solubilização das fases interna e dispersa é máxima. O

diagrama de fases descreve em que condição experimental é possível se obter microemulsões e as regiões limites de transição entre emulsões, fases separadas e microemulsões O/A e A/O [11]. A partir da preparação de misturas de dois líquidos pouco miscíveis de composição conhecida, titulados com um tensoativo obtém-se o diagrama

de fase ternário, onde a fase oleosa é o óleo de babaçu, a fase aquosa é a solução de etanol ou a aguardente e o tensoativo é o álcool isobutílico. A tabela 3 apresenta o comportamento observado no teste de solubilidade para os componentes: óleo de babaçu/etanol-água/isobutanol e óleo de babaçu/aguardente/isobutanol.

Tabela 3. Solubilidade do óleo de babaçu, etanol 40%-95%, aguardente e isobutanol.

Sistema	Mistura	Miscibilidade	
1	1 mL de surfactante	1 mL de óleo de babaçu	Miscível
2	1 mL de surfactante	1 mL de sol. de etanol	Miscível
3	1 mL de sol. de etanol	1 mL de óleo de babaçu	Imiscível
4	1 mL de aguardente	1 mL de óleo de babaçu	Imiscível
5	1 mL de aguardente	1 mL de surfactante	Miscível

De acordo tabela 3, a imiscibilidade do óleo de babaçu com a solução de etanol. O óleo de babaçu é composto por ácidos graxos de longas cadeias carbônicas, o etanol possui somente dois átomos de carbono em sua estrutura e um grupo hidroxila (OH) dando-lhe o caráter polar, que misturado com uma percentagem de água aumenta mais esse caráter polar. O isobutanol foi o tensoativo utilizado devido a sua solubilidade tanto na fase aquosa quanto na fase oleosa. A presença da cadeia carbônica (C₄) indica a solubilização em um constituinte com a mesma característica, neste caso, os ácidos graxos que constituem o óleo de babaçu. A aguardente possui em sua composição o etanol e a água, que apresenta caráter polar e não solubiliza no óleo. Além desses, a aguardente contém o ácido acético, álcool n-propílico, álcool isobutílico, álcool isoamílico, álcoois superiores, aldeídos (aldeído acético), ésteres (acetato de etila) e metanol. Pois durante a fermentação alcoólica, que consiste no desdobramento dos açúcares do caldo de cana-de-açúcar para formação de álcool etílico e dióxido de carbono, formam esses produtos secundários de pequenas quantidades [12]. Após a titulação das misturas de óleo/solução de etanol e óleo/aguardente com o isobutanol, foram calculadas as frações em massa, sendo que $x_o\%$, $x_a\%$ e $x_i\%$ correspondem às percentagens das frações da fase oleosa; fase aquosa e isobutanol, respectivamente, para cada componente da microemulsão.

As frações em massa foram utilizadas na plotagem dos diagramas pseudoternários (figura 2 a figura 10), onde os eixos são representados pelos constituintes dos sistemas microemulsionados.

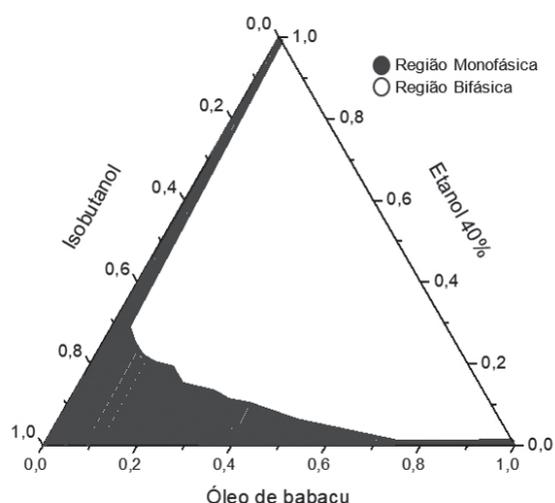


Figura 2. Diagrama de fases ternário obtido para o sistema óleo de babaçu/etanol 40%/isobutanol a 25 °C.

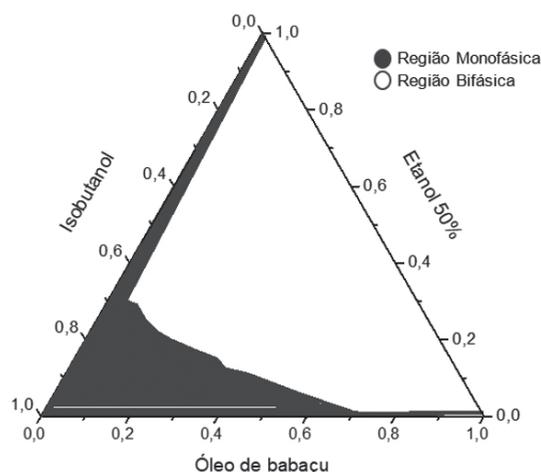


Figura 3. Diagrama de fases ternário obtido para o sistema óleo de babaçu/etanol 50%/isobutanol a 25 °C.

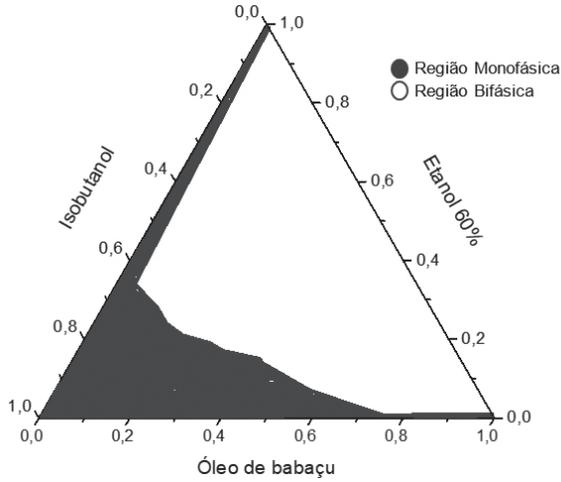


Figura 4. Diagrama de fases ternário obtido para o sistema óleo de babaçu/etanol 60%/isobutanol a 25 °C.

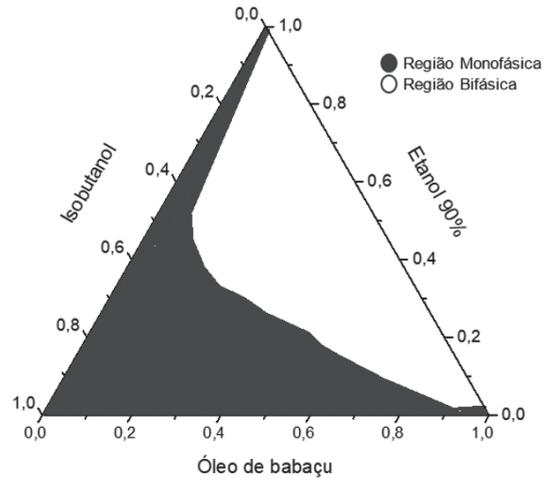


Figura 7. Diagrama de fases ternário obtido para o sistema óleo de babaçu/etanol 90%/isobutanol a 25 °C.

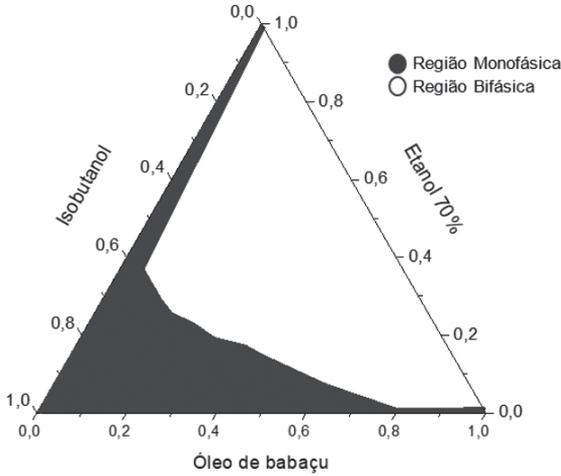


Figura 5. Diagrama de fases ternário obtido para o sistema óleo de babaçu/etanol 70%/isobutanol a 25 °C.

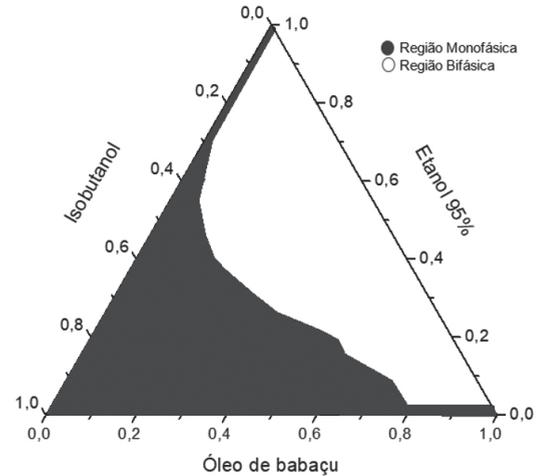


Figura 8. Diagrama de fases ternário obtido para o sistema óleo de babaçu/etanol 95%/isobutanol a 25 °C.

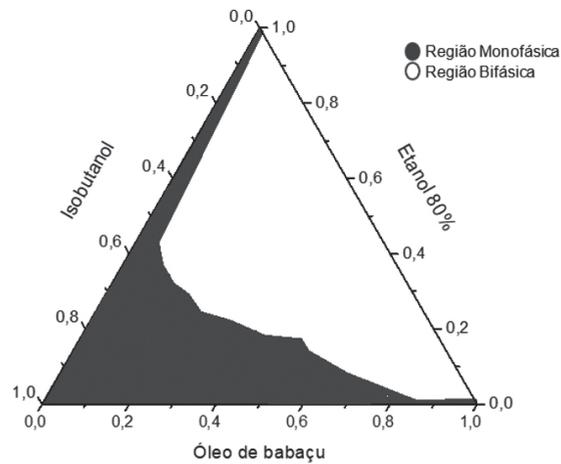


Figura 6. Diagrama de fases ternário obtido para o sistema óleo de babaçu/etanol 80%/isobutanol a 25 °C.

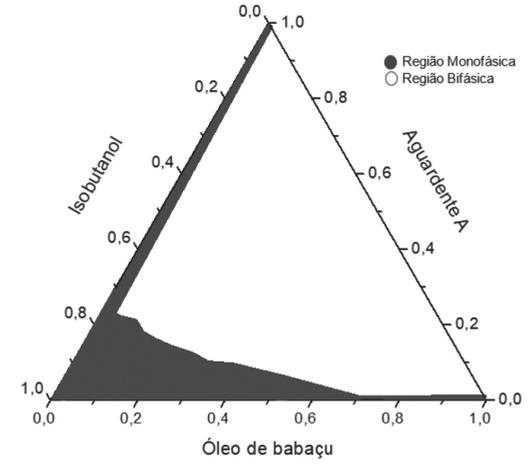


Figura 9. Diagrama de fases ternário obtido para o sistema óleo de babaçu/ aguardente A/isobutanol a 25 °C.

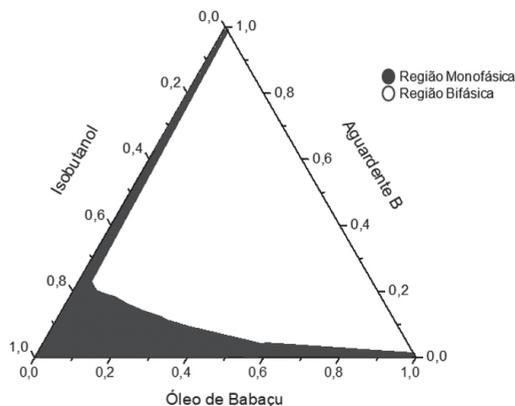


Figura 10. Diagrama de fases ternário obtido para o sistema óleo de babaçu/ aguardente B/isobutanol a 25 °C.

De acordo com os resultados das figuras 2 a 10, os sistemas monofásica encontra-se abaixo da curva de miscibilidade; as formulações nessa região existirão como uma fase visível, homogênea, na forma de microemulsões termodinamicamente estáveis. A região acima da curva de miscibilidade corresponde à região de duas fases; as formulações ocorrem como sistemas instáveis e apresentam duas fases de imiscibilidade visíveis. Logo, as formulações preparadas com esses componentes devem estar dentro da região de microemulsão no diagrama, neste caso, a região abaixo da curva de miscibilidade.

O efeito do teor de água no sistema pôde ser observado comparando os diagramas das figuras 2 a 10. Pode ser verificado que o aumento na região monofásica diminuiu a hidratação do etanol. Para os sistemas com maior teor de água são necessários maiores volumes de surfactante para estabilizar a solubilização das fases. Portanto, o aumento da quantidade de água apresentou um efeito negativo limitando o uso da aguardente na preparação das microemulsões combustíveis, podendo ser

substituída por outro produto oriundo dos alambiques artesanais como a “cabeça de destilação” que possui um teor alcoólico superior. Nos diagramas, o tensoativo possuiu maior afinidade pela fase oleosa. Para maiores frações de óleo são requeridas menores frações do tensoativo, que adicionado à mistura heterogênea age diminuindo a tensão interfacial, favorecendo a estabilidade dos sistemas.

Propriedades físico-químicas das microemulsões

Os sistemas microemulsionados foram preparados utilizando como fase aquosa uma solução de etanol 40%, e as aguardentes comerciais A e B. A região equivalente à classificação de Winsor IV escolhida nos diagramas de fases pseudoternários corresponde às percentagens das frações em massa 35,00%, 40,00% e 50,00% para óleo de babaçu. Para a solução de etanol 40% e aguardentes 8,00%, 7,00% e 1,00% e ainda as frações 56,00%, 53,00% e 49,00% para o surfactante isobutanol. As propriedades físico-químicas avaliadas para os sistemas foram viscosidade cinemática, densidade e ponto de fulgor.

A viscosidade é uma característica comumente medida entre os combustíveis. Ela é uma propriedade fluidodinâmica importante no que diz respeito ao funcionamento de motores de injeção por compressão (motores a diesel). Para efeito de comparação, determinou-se a viscosidade do óleo diesel segundo as Normas da American Society for Testing and Materials (ASTM) D 445. A amostra apresentou uma viscosidade cinemática de $3,41 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$. Pode ser observado nas tabelas 4, 5 e 6 a composição das microemulsões com solução aquosa de etanol 40%, aguardente A e aguardente B respectivamente, assim como também os resultados das proporções utilizadas e seus valores de viscosidade cinemática.

Tabela 4. Composição das microemulsões com etanol 40% e valor da viscosidade cinemática.

Sistema	Óleo de babaçu (X_o) _%	Etanol 40% (X_e) _%	Isobutanol (X_i) _%	Viscosidade cinemática ($\text{mm}^2 \text{ s}^{-1}$)
1	50,00	1,00	49,00	6,37
2	40,00	7,00	53,00	5,17
3	35,00	8,00	56,00	4,73

Tabela 5. Composição das microemulsões com aguardente A e valor da viscosidade cinemática.

Sistema	Óleo de babaçu (X_o) _%	Aguardente A (X_a) _%	Isobutanol (X_i) _%	Viscosidade cinemática ($\text{mm}^2 \text{ s}^{-1}$)
1A	50,00	1,00	49,00	6,42
2A	40,00	7,00	53,00	5,12
3A	35,00	8,00	56,00	4,70

Tabela 6. Composição das microemulsões com aguardente B e valor da viscosidade cinemática.

Sistema	Óleo de babaçu (X _o)%	Aguardente B (X _a)%	Isobutanol (X _i)%	Viscosidade cinemática (mm ² s ⁻¹)
1B	50,00	1,00	49,00	6,39
2B	40,00	7,00	53,00	5,16
3B	35,00	8,00	56,00	4,66

Observa-se nas tabelas 4 a 6 que as microemulsões com menor percentual de fase oleosa (óleo de babaçu) e maior percentual de fase aquosa e surfactante (isobutanol) apresentaram uma viscosidade cinemática menor. Portanto, conclui-se que à medida que se diminui a proporção do óleo de babaçu e aumenta a proporção do etanol do isobutanol à viscosidade cinemática diminui. Esse resultado indica que o teor de óleo nos sistemas influencia diretamente na viscosidade dos mesmos.

Os óleos vegetais geralmente apresentam elevada viscosidade, pois são constituídos em sua maioria pelos triacilgliceróis em adição de compostos minoritários como os fosfolipídios, carotenóides entre outros. A variedade, tipo e quantidade de triacilgliceróis influenciam em suas propriedades.

A viscosidade dos óleos aumenta com o

comprimento das cadeias carbônicas dos ácidos graxos e diminui quando a insaturação aumenta [13]. No geral os sistemas microemulsionados apresentaram uma acentuada diminuição da viscosidade quando comparadas com o óleo de babaçu refinado, atingindo valores próximos à viscosidade do óleo diesel.

Para análise de densidade e ponto de fulgor, foram escolhidas as amostras de microemulsões que apresentaram menores valores de viscosidade, portanto, os sistemas 3, 3A, e 3B que correspondem àqueles com percentagens das frações em massa 35,00% para fase oleosa 8,00% para fase aquosa e 56,00% para o surfactante que corresponde aos sistemas. O óleo diesel também foi analisado para efeito de comparações. Na tabela 7 constam os resultados obtidos para densidade relativa e ponto de fulgor.

Tabela 7. Propriedade de densidade e ponto de fulgor obtido para as microemulsões combustíveis e o diesel de petróleo.

Propriedade Físico-química	Sistema 3	Sistema 3A	Sistema 3B	Diesel
Densidade (kg m ⁻³)	853,8	853,9	853,6	860
Ponto de fulgor (°C)	34	33	33	70

Pode ser observado, na tabela 7, que a densidade das microemulsões foram próximas as do óleo diesel, porém devido ao alto teor de surfactante (isobutanol) o ponto de fulgor desses sistemas foi bem menor em comparação ao do diesel, indicado que as misturas necessitam de cuidado no manuseio e armazenamento.

No estudo dos sistemas microemulsionados a

condutividade elétrica é utilizada para identificar os tipos de microemulsões que são formadas. No entanto, utiliza-se essa propriedade para avaliar o efeito da presença de água e sais. Nesse sentido, determinamos a condutividade elétrica dos sistemas a 25 °C. Mostramos esses resultados nas Tabelas 8 a 10.

Tabela 8. Composição das microemulsões com etanol 40% e valor da condutividade.

Sistema	Óleo de babaçu (X _o)%	Etanol 40% (X _a)%	Isobutanol (X _i)%	Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)
1	50,00	1,00	49,00	0,11
2	40,00	7,00	53,00	0,23
3	35,00	8,00	56,00	0,47

Tabela 9. Composição das microemulsões com aguardente A e valor da condutividade.

Sistema	Óleo de babaçu (X_o) _%	Aguardente A (X_a) _%	Isobutanol (X_i) _%	Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
1A	50,00	1,00	49,00	0,08
2A	40,00	7,00	53,00	0,31
3A	35,00	8,00	56,00	0,50

Tabela 10. Composição das microemulsões com aguardente B e valor da condutividade.

Sistema	Óleo de babaçu (X_o) _%	Aguardente B (X_a) _%	Isobutanol (X_i) _%	Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
1B	50,00	1,00	49,00	0,10
2B	40,00	7,00	53,00	0,20
3B	35,00	8,00	56,00	0,26

No geral, as amostras apresentaram baixo valor de condutividade, sendo que as maiores condutividades foram obtidas para os sistemas com maior quantidade de água e álcool. No estudo realizado por Ferreira (2006) [14] mainly for being a renewable energy source and for not generating toxic gases during the burning, consequently reducing the emission of noxious gases into the atmosphere. Some disadvantages, such as its high viscosity and low volatility, had turned improper the use of this raw material in diesel engines. As to remedy such problems, alternatives like transesterification processes, pyrolysis and microemulsion of the vegetal oils are being performed. Micro-emulsions are isotropic systems formed by mixtures of organic and inorganic phases and, as fuels, they present advantages related with the use of renewable sources, the reduction of viscosity and soot, with consequent reduction of gas emissions. The aim of this work was to formulate and to develop fuels in microemulsified systems with raw material (vegetal oils and derivatives) as amostras que apresentaram condutividade elétrica maior que $3 \mu\text{S cm}^{-1}$ foram avaliadas como microemulsões do tipo O/A. Em nosso estudo tem-se que todas as amostras apresentaram baixa condutividade. Utilizando esses valores para caracterizar o tipo de microemulsão em relação à fase contínua e à fase dispersa, podemos classificá-las em microemulsões do tipo A/O, devido ao baixo valor de condutividade elétrica.

Conclusões

Analisando os resultados é possível concluir que foram obtidos sistemas microemulsionados

estáveis e isotrópicos, a quantidade de água no sistema foi um fator limitante na obtenção dos sistemas monofásicos, quanto maior for a proporção de surfactante maior a tendência de se obter sistemas isotrópicos estáveis. Com relação às propriedades físico-químicas os sistemas selecionados 3, 3A e 3B apresentaram resultados referentes à viscosidade, densidade e ponto de fulgor próximos aos resultados determinados para o diesel fóssil, portanto, apresentando potencial para serem aplicados como combustíveis alternativos.

Referências

- [1] García Sánchez GF, Chacón Velasco JL, Chaves Guerrero A. Modelado de la combustión en motores Diésel: revisión del estado del arte. rev. ion. 2013;26(1):41-54.
- [2] De la Rosa Ramos LR, Henríquez Montero E, Sánchez Tuirán E, Ojeda Delgado KA. Diseño y simulación de una planta para la producción de biodiésel a partir de *Jatropha curcas L.* en el departamento de Bolívar. rev. ion. 2015;28(1):73-85.
- [3] Silva FC, Cavalcante KSB, Louzeiro HC, Moura KRM, Maciel AP, Soledade LEB, Souza AG. Production of biodiesel from babassu oil using methanol-ethanol blends. Eclética Química. 2010;35(1):47-54.
- [4] Cavalcante KSB, Penha MariaNC, Mendonça KKM, Louzeiro HC, Vasconcelos ACS, Maciel AP, de Souza AG, Silva FC. Optimization of transesterification of castor oil with ethanol using a central composite rotatable design (CCRD). Fuel. 2010;89(5):1172-1176.
- [5] Santos AMCM, Araújo WS, Mendonça

- SJR, Nascimento UM, Maciel AP, Silva FC. Prospecção para obtenção de biodiesel empregando óleo de babaçu (*Orbignya martiniana*) e de óleo de soja (*glycine max*) utilizando líquido iônico como catalisador. *Revista GEINTEC*. 2017;7:3956-3969.
- [6] Dias CS, Louzeiro HC, Silva FC, Maciel AP. Obtenção e Uso de Microemulsões Combustíveis de Óleo de Babaçu (*Orbignya phalerata*) em Motor do Ciclo Diesel. *Rev. Quim. Ind.* 2014;742:11-15.
- [7] Barbosa DAB, Paschoal CWA, Louzeiro HC, Mendonça KKM, Maciel AP, Silva FC, Oliveira HP. Impedance spectroscopy investigation of the water-in-oil microemulsions formation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2011;84(2):325-328.
- [8] Santos DS, da Silva IG, Araújo BQ, Lopes Júnior CA, Monção NBN, *et al.* Extraction and Evaluation of Fatty Acid Composition of *Orbignya phalerata* Martius Oils (*Arecaceae*) from Maranhão State, Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2013;24(2):355-362.
- [9] AOCS. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society Campaign: AOCS Press; 2009.
- [10] Verma P, Sharma MP, Dwivedi G. Evaluation and enhancement of cold flow properties of palm oil and its biodiesel. *Energy Reports*. 2016;2:8-13. doi: 10.1016/j.egy.2015.12.001.
- [11] de Oliveira AG, Scarpa MV, Correa MA, Cera LFR, Formariz TP. Microemulsões: estrutura e aplicações como sistema de liberação de fármacos. *Química Nova*. 2004;27(1):131-138.
- [12] Junior SB, Ketzer DCM, Gubert R, Andrades L, Gobo AB. Composição química da cachaça produzida na região noroeste do Rio Grande do Sul, Brasil. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2006;26(4):793-798.
- [13] Moretto E, Fett R. Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos. Brasil: Varela; 1998.
- [14] Ferreira MS. Formulação de combustíveis alternativos em sistemas microemulsionados empregando óleos vegetais e derivados. alternative fuel formularization in microemulsified systems using vegetal oils And derivatives [Internet]. 7 de julho de 2006 [citado 23 de novembro de 2018]; Disponível em: <http://tedebc.ufma.br:8080/jspui/handle/tede/933>