

# Síntese do biodiesel a partir do óleo de mufuko por transesterificação

*Synthesis of biodiesel from transportation mufuko oil*

*MSc. Kabongo Mutobola-Celestino<sup>I</sup>, MSc. Albano Kanga-Manual<sup>I</sup>,  
Ing. Pedro Guilherme-Jôao<sup>II</sup>*

*<sup>I</sup>Laboratório de catálise, química fina e energias renováveis LACAFINER Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto, Angola; <sup>II</sup>Universidade José Eduardo dos Santos, Angola*

*kagonbomotobola19@gmail.com*

## Resumo

A busca de plantas oleaginosas da flora angolana que crescem em terrenos não destinados à produção agrícola tem concentrado as atenções de investigadores nacionais que desenvolvem projectos ligados à produção do biodiesel. Nas chanas e savanas da província do Moxico, foi identificada uma planta, tradicionalmente designada Mufuko, da qual extrai-se óleo que pode ser usado para a síntese de biocombustível (biodiesel). Na primeira fase do trabalho, fez-se o estudo etnobotânico para a classificação da planta no reino vegetal de acordo com os critérios da sistemática moderna e da teoria de Eichler. A extracção do óleo das suas sementes foi feita por bulk flotation e por uso de soxhlet com diferentes solventes. O teor em óleo contido na semente do mufuko e o rendimento de processos de extracção são de 33,02 % e 94,20 % respectivamente. A composição química do óleo determinada por cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massa revelou a seguinte constituição: ácido oleico (50,09 – 54,25 %), ácido palmítico (30,47 – 33,59 %), ácido linoleico (10,20 – 14,50%) e ácido esteárico. A caracterização físico-química indicou alto índice de acidez e de ácidos gordos livres, o que nos levou a sintetizar o biodiesel em duas etapas: esterificação de óleo seguida de transesterificação usando o CH<sub>3</sub>OH como álcool e o NaOH como catalisador respectivamente. O rendimento de síntese de biodiesel é de 76,6 %. Os parâmetros físico-químicos do mesmo enquadram-se nos limites de padrões internacionais de qualidade definidos pelas normas ABNT-NBR, ASTM-D e EN/ISO. Consequentemente, pode ser afirmado que o óleo de mufuko pode ser usado para a produção sustentável do biodiesel.

**Palavras-chave:** biodiesel, estudo etnobotânico, norma de qualidade, óleo de mufuko, transesterificação.

## Abstract

The search for oilseed plants of Angolan flora which is growing on land and not destined for agricultural production, has been the center of attention of national researchers who develop projects related to the production of biodiesel. In the Chanas and savannas of the Province of Moxico, a plant has been identified, traditionally called "Mufuko" from which oil is extracted that can be used for the synthesis of biofuel (biodiesel). In the first step, the Ethnobotanical study has been performed to classify the plant according to the modern systematic and Eichler's theory. Its inflorescence is the Umbrella's type. The oil from Mufuko seeds has been obtained by bulk flotation and by extraction using a soxhlet with different solvents. The oil content in the

seed and the extraction yield were 33,02% and 94,20 % respectively. The following chemical oil composition has been determined by gas chromatography coupled with mass spectrometry: Oleic acid (50, 09-54, 25 %), palmitic acid (30, 47-33,59 %), linoleic acid (10,20-14,50 %) and stearic acid (2, 45-3,77 %). The physic chemical characterization has indicated a high acidity and free fatty acids index, what led us to synthesize biodiesel in two steps: esterification of the oil followed by transesterification using CH<sub>3</sub>OH as alcohol and NaOH as catalyst. The yield of biodiesel synthesis is 76, 67 %. The quality of the biodiesel obtained obeys to the international standards defined by the ABNT-NBR, ASTM-D and EN/ISO norms. Consequently, it can be stated that mufuko oil may be used for biodiesel sustainable production.

**Keywords:** biodiesel, ethnobotanical Study, quality standard, Mufuko oil; transesterification.

## Introdução

A forte industrialização é caracterizada pela necessidade crescente de consumo de energia cuja larga proveniência é de fontes não renováveis. Os estudos realizados indicam uma redução destas fontes, especialmente as reservas de petróleo consideradas insuficientes para suprir no futuro toda a demanda da população crescente mundial. Além disso, a utilização das fontes não renováveis aumenta significativamente a produção de dióxido de carbono que não é assimilável pelas plantas [1].

A procura de fontes alternativas é, portanto, de grande importância. Assim várias investigações científicas são actualmente orientadas no sentido de substituir parcialmente ou totalmente o combustível de origem fóssil pelo biocombustível e garantir um desenvolvimento sustentável. O biodiesel é um destes substitutos do combustível convencional e já está sendo utilizado em motores de ciclo diesel. Pode ser usado puro como em proporção variável com o diesel [1].

De modo geral, o biodiesel é definido como um mono-álquil éster de ácidos gordos provenientes de óleo vegetal ou gordura animal. Possui características similares às do gasóleo praticamente em todas as propriedades, facto que possibilita o seu uso como aditivo ao gasóleo [3].

Actualmente, o biodiesel é produzido principalmente pela reacção de transesterificação de óleos vegetais, óleos usados e gorduras de animais na presença de um catalisador com um álcool de cadeia curta (metanol, etanol, propanol ou butanol). Esse processo diminui a viscosidade de óleos e consequentemente, melhora o desempenho de motores diesel [1].

A referida reacção ocorre geralmente por catálise homogénea ou heterogénea, e pode ser influenciada por alguns factores como a pureza dos reagentes, tipo de álcool, tipo de catalisador, o rácio molar óleo/ álcool, a agitação da mistura, a temperatura e o tempo de reacção.

A catálise homogénea em meio alcalino é a rota tecnológica predominante para a produção de biodiesel, devido à sua maior rapidez, simplicidade e eficiência. Mas os catalisadores homogéneos têm a desvantagem de se encontrar na mesma fase que os reagentes, os produtos e os resíduos, exigindo vários métodos de separação e lavagem, o que dificulta a etapa final de purificação do biodiesel obtido. A transesterificação catalisada por ácido não é muito utilizada, principalmente pelo facto da reacção ser muito mais lenta do que a catalisada por uma base. Contudo, apresenta a vantagem de não ser afectada pela presença de ácidos gordos livres na matéria-prima, de não produzir sabão durante a reacção e de catalisar simultaneamente reacções de esterificação e transesterificação.

Por outro lado, a busca de plantas oleaginosas da flora angolana que crescem em terrenos não destinados à produção agrícola de acordo com a Lei do ambiente, Decreto lei nº 6/10, Maio de 2010, tem concentrado as atenções de investigadores nacionais que desenvolvem projectos ligados a produção do biodiesel. É assim que, nas chanas e savanas da província do Moxico, foi identificada a semente de uma planta, tradicionalmente designada “Mufuko”, sem referências científicas disponíveis, da qual extrai-se óleo que pode ser usado para a síntese de biocombustível (biodiesel).

O presente trabalho tem como objectivo principal obter o biodiesel a partir do óleo de Mufuko, mediante a reacção de transesterificação com o metanol, na presença de NaOH como catalisador.

Os objectivos específicos são:

- Realizar o estudo etnobotânico da planta de Mufuko;
- Extrair óleo da sua semente;
- Determinar os parâmetros físico-químicos e a composição química deste óleo;

- Sintetizar o biodiesel a partir deste óleo de mufuko;
- Aferir a qualidade do biodiesel sintetizado de acordo com os padrões internacionais;
- Comparar as potencialidades (Impacte ambiental, social e económico local, regional ou mundial) da planta de mufuko em relação de outras plantas oleaginosas habitualmente utilizadas para a síntese do biodiesel.

## Material e método

### *Estudo etnobotânico*

O estudo etnobotânico da planta Mufuko foi feito in loco nas chanas e savanas do Luena na Província do Moxico. Para o efeito aplicou-se o sistema de classificação de Eichler e da sistemática moderna que dividem as plantas em vasculares e não vasculares [5]. Foi afeita também a caracterização física da planta, tendo em conta o tipo de solo, a pluviosidade, as raízes, o caule, as ramificações, as folhas, as frutas, a germinação, a composição em fibras e em líquidos, as cinzas e a reprodução. Por fim, fez-se a extrapolação da produção de cinco (5) plantas experimentais para trezentas (300) que correspondem à um hectare. Isto nos permitiu avaliar a sua produtividade em relação as outras plantas oleaginosas já existentes no mercado.

### *Extracção do óleo*

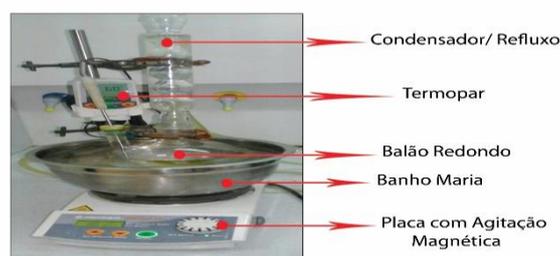
A extracção do óleo pelo processo bulk flotation consistiu na recuperação do óleo colocado numa ampola de decantação depois da maceração a quente das sementes frescas previamente lavadas e fermentadas entre 48 e 72 h à temperatura ambiente e em condições isentas de micro-organismos lipovores [6].

O processo de extracção com solventes realizou-se com dois tipos de amostras: a semente natural secada e a outra secada depois da maceração a quente. Ambas foram trituradas, passadas no crivo de 0,833 mm e pesadas. Para extracção usou-se o éter de petróleo, o n – hexano e o dietil éter respectivamente. Uma destilação à temperatura do solvente permitiu a recolha do óleo no fundo do balão e a recuperação dos solventes por condensação dos mesmos. Uma vez obtido o óleo, foram realizadas as análises químico-físicas

para a sua caracterização (determinação dos seus parâmetros químico-físicos e da sua composição química).

#### *Síntese de biodiesel a partir do óleo de Mufuko*

Pelo facto de óleos de Mufuko terem apresentados índice de acidez e de ácidos gordos livres elevados em relação dos limites da ASTM, procedeu-se a uma síntese de biodiesel à duas (2) etapas: uma esterificação seguida da transesterificação usando o  $\text{CH}_3\text{OH}$  como álcool e o  $\text{NaOH}$  como catalisador. As experiências foram realizadas num reactor tipo batch constituído de um balão em vidro de fundo redondo apresentando (2) duas entradas: uma das entradas serviu para colocar o condensador de refluxo e a outra para o termopar de controlo da temperatura (figura 1).



**Fig. 1. Reactor para transesterificação**

As reações foram efetuadas com o rácio molar óleo/álcool de 1/6 e 1/9 respectivamente, sob agitação magnética de 300 r/mim, à uma temperatura de  $65^\circ\text{C}$  durante 90 minutos.

No fim de cada reacção, o biodiesel obtido foi refinado e caracterizado para determinar os seus parâmetros físico-químicos e a sua composição química para se aferir da sua conformidade com os padrões internacionais de qualidade.

### **Resultado e discussão**

#### *Botânica e sistemática*

De acordo com os critérios da classificação de Eichler e da sistemática moderna, a planta de mufuko pertence à divisão das *angiospermas*, classe das *dicotiledôneas*, género *Ourtea welwitchii*, família das *anacardaceae*, e a ordem das *fanerógamas*. A sua inflorescência é do tipo *umbrela*. As figuras 1 e 2 ilustram as variedades da planta de Mufuko: Planta das savanas e plantas das chanas.



Fig. 2. A planta Mufuko das savanas



Fig. 3. A planta Mufuko das chanas

Esta planta é tropical, mas tem maior resistência em zonas áridas. A variedade das chanas é um arbusto de 50 cm e a das savanas é uma árvore de cerca de 4 m. A fruta é constituída por uma película externa, apocarpo de fibras oleaginosas que representa 15 a 25 % do peso da fruta. Esta contém cerca de 30 a 38,50 % de óleo (tabela 2, dados de extracção por sohxlet) e 20 a 25 % de água. A polpa possui um teor médio de óleo de 13,30 % (tabela 2, dados de extracção por bulk flotation) A torta apresentou cerca de 2 060,91 mg de fósforo/kg e 96 409 mg de potássio/kg além de amónio que podem ser usados na agricultura como fertilizantes.

#### *Exigência climática, podologia e reprodução*

A planta de mufuko desenvolve-se melhor nos solos ácidos, nas zonas tropicais com precipitações de 850 a 1 300 mm e temperaturas de 8 a 32 °C. Ela possui um rizoma semelhante ao da bananeira e nos seus nós, crescem novos rebentos. A Mufukeira pode produzir cerca de 4,800 kg de sementes por hectare, o que torna a sua produção competitiva em relação à outras plantas nomeadamente a soja, o amendoim, o algodão, o girassol, o milho e o dendém. As duas variedades têm morfologias diferentes, mas ambas produzem o mesmo tipo de fruta. A inflorescência começa como um pingo (figura 4) e cresce até ao tamanho de um cacho semelhante ao da uva. A cor da fruta é verde e, depois de amadurecer, muda para preta lilás (figura 5). As figuras 4, 5 e 6 mostram o pingo, o cacho e o rizoma com rebentos.



Fig. 4. O pingo



Fig. 5. O cacho



Fig.6. Rizoma com rebentos

### *Extração do óleo a partir da semente do Mufuko*

O processo de extração produziu dois tipos de óleos que se separam naturalmente por decantação. O primeiro tipo apresenta a cor amarela e tem a consistência de manteiga (gordura) à temperatura ambiente enquanto que outro tipo é pouco viscos (óleo) de cor amarela esverdeada (figura 7).



**Fig. 7. O óleo em cima e a gordura por baixo**

O processo de extração mostrou que a temperatura de extração, o tempo de extração, o tipo de solvente e o grau de amadurecimento das frutas são determinantes para o aspecto físico do óleo extraído. Este pode a sua vez influenciar as operações subsequentes de refinação e de transesterificação.

### *Rendimento de extração e teor de óleo na semente*

Os valores médios de rendimento e de teor em óleo contidos na semente obtidos foram calculados usando conceitos de estatística sobre 20 amostras.

Com isso obteve-se a média do teor de óleo na semente de mufuko de 33,02 % com uma variância de 17,31, sendo o afastamento tipo e o erro tipo de 4,16 e 0,95 respectivamente. O rendimento médio do processo de extração é de 94,20 % com a variância de 4,67, sendo o afastamento tipo e o intervalo de confiança de 2,16 e 0,50 respectivamente. Os valores do rendimento e do teor de óleo na semente para diferentes solventes são apresentados na tabela 1.

Tabela 1

## Rendimento e Teor de óleo extraído para diferentes solventes

Processo de extração	Solvente utilizado	Amostras	Semente (g)	Resíduo seco (g)	óleo (g)	Rendimento; extração (%)	Teor; óleo (%)
Bulk flotation	Água	frescas	200.00	146.00	26.60	49.25	13.30
Sohxlet	Éter de petróleo	secas	92.40	62.60	29.20	91.82	30.93
Sohxlet	n-hexano	secas	100.30	73.40	21.10	92.32	29.41
Sohxlet	Dietil-éter	secas	76.70	51.19	24.38	95.60	31.80
Soxhet	n-hexano	frescas	120.00	70.37	46.20	93.10	38.50

É possível observar a partir da tabela 1 que o processo de bulk flotation tem um rendimento baixo (49,25 %) e sem nenhum interesse para a aplicação industrial. A extração com o dietil éter apresenta um bom rendimento, mas o óleo obtido tem mau aspecto. Isto deve-se a maior polaridade deste solvente que extrai outras matérias não lipídicas comparativamente ao éter de petróleo e ao n-hexano.

*Parâmetros físico-químicos do óleo de mufuko*

A tabela 2 apresenta os resultados dos parâmetros físico-químicos obtidos depois da refinação ou esterificação do óleo bruto.

Tabela 2  
Valores de parâmetros físico-químicos depois de refinação ou da esterificação do óleo bruto

Parâmetro	Óleo bruto	Degomagem aquosa	Degomagem ácida	Esterificação	Limite ASTM
Índice acidez, mg KOH/g óleo	6.4	4.6 - 4.9	3.4 - 3.7	2.5	≤ 5.0
Índice iodo, mg I <sub>2</sub> /100g	67.25	58.56	53.0 - 59.0	56.24	50-60
Índice Saponificação, mg KOH/g,	194.5	190.5	186.5	16.5	190-209
Índice peróxido, meq/kg	9.0	7.7	2.8	2.8	≤10
Ácidos gordos livres, g ácido oleico/100g	5.95	3.05	1.86	1.46	2.25
Densidade, g/cm <sup>3</sup>	0.875	0.870	0.860	0.868	≤ 0.900

Os parâmetros físico-químicos do óleo bruto apresentam valores acima dos recomendados pelos padrões ASTM (*American Society of Testing and Material*) com altos índices de acidez e de ácidos gordos livres. Por este facto, a síntese

de biodiesel não pode ser efectuada por transesterificação directa. Existem várias possibilidades para tal, como a refinação do óleo seguida de transesterificação ou a esterificação do óleo seguida de transesterificação. Observou-se também que a refinação do óleo serve não só para baixar os valores de índices de acidez e de ácidos gordos, mas também melhorar os aspectos físicos do óleo.

#### *Composição química do óleo de Mufuko*

A composição química do óleo foi determinada por cromatografia em fase gasosa acoplada a um espectrofotômetro de massa que utiliza o software NIST cujos resultados (ácido gordo contido no óleo, sua estrutura química, seu tempo de retenção, sua massa molar, sua composição percentual e sua fracção mássica) são apresentados na tabela 3.

**Tabela 3**

#### **Ácido gordo, estrutura química, tempo de retenção, massa molar, composição percentual e fracção mássica**

Acido gordo	Estrutura química	Tempo; retenção (s)	Massa molar (g)	Composição (%)	Fracção mássica (g)
<b>Palmítico</b>	$C_{16};0$	17.697	256.24	33.58	86.07
<b>Palmitoleico</b>	$C_{16};1,n-9$	17.850	254.22	0.71	1.84
<b>Estearico</b>	$C_{18};0$	21.485	284.27	3.77	10.71
<b>Oleico:</b>	$C_{18};1n-11$	22.353	282.22	0.40	1.19
<b>Oleico</b>	$C_{18};1n-9$	22.602	282.25	50.09	141.38
<b>Linoleico</b>	$C_{18};2n-9,12$	23.584	280.24	10.20	28.59
<b>Alfa-linolénico</b>	$C_{18};3n-9,12,15$	24.468	278.20	0.65	1.86
<b>Eicosenoico</b>	$C_{20};13-C_{20}$	26.036	310.28	0.20	0.65
<b>Docosapentaenoico</b>	$C_{22};5n-6$	26.126	330.00	0.57	1.95
<b>Total</b>				100.1	274.24

O óleo de mufuko é constituído por cerca de 62% de ácidos gordos insaturados que são o ácido delta – 9 cis – hexadecanoico, o 9 – ácido octadecanoico, o ácido 9, 12 –octadecanoico, o octadeca–9,12,15 trienoico e o ácido 4,7,10,13,16 docosapentaenoico. Os ácidos gordos saturados presentes são o palmítico (33,6 %) e o estearico (3,8 %) que representam cerca 37 % em peso do óleo.

Uma vez conhecida a composição do óleo foi possível determinar a estrutura química de cada elemento e calcular a sua massa molecular como indica a tabela 4. A massa molecular encontrada para o óleo de Mufuko é de 274,24 g/mol e a massa molar dos triglicerídeos participantes na reacção de transesterificação é 870,68 g/mol. Esse dado permitiu calcular por sua vez o rácio óleo/álcool, necessário para realizar a reacção de transesterificação.

#### *Síntese de biodiesel a partir do óleo de Mufuko*

Como acima referenciado, por ter apresentado índices de acidez e de ácidos gordos livres elevados, procedeu-se a uma síntese do biodiesel a duas etapas: uma esterificação seguida da transesterificação usando o metanol como álcool e o NaOH como catalisador. Sintetizou-se os biodieseis com seguintes aspectos físicos (figura 8).



**Fig. 8. Biodiesel da gordura e do óleo de mufuko**

#### *Rendimento de síntese de biodiesel com o óleo de mufuko*

Os rendimentos de síntese de biodiesel foram em média de 66, 82 % e 75,90 % para a gordura e óleo respectivamente. As tabelas 4 e 5 apresentam os rendimentos de síntese de biodiesel da gordura e do óleo de mufuko respectivamente.

Como os resultados de rendimento de síntese de biodiesel obtido com rácios 1/6 e 1/9 não apresentam uma variação muito significativa e por razões económicas, optou-se por realizar as experiências com a razão óleo/álcool de 1/6.

**Tabela 4**  
Rendimento de síntese do biodiesel com a gordura de Mufuko

Número de amostras	Razão de gordura/metanol	Gordura (g)	Biodiesel (g)	Rendimento (%)
1	1/6	52.54	35.14	66.88
2	1/9	52.54	35.12	66.84
3	1/6	52.64	35.19	66.85
4	1/9	52.56	35.14	66.83
5	1/6	52.60	35.15	66.83
<b>Média</b>				<b>66.85</b>

**Tabela 5**  
Rendimento de síntese de biodiesel com óleo de Mufuko

Número de amostras	Razão: Óleo/metanol	Óleo (g)	Biodiesel (g)	Rendimento (%)
1	1/6	42.60	32.24	75.68
2	1/9	42.60	32.26	75.72
3	1/6	41.62	32.21	77.39
4	1/9	40.62	32.02	78.77
5	1/9	42.60	32.20	75.60
<b>Média</b>				<b>76.60</b>

#### *Determinação de parâmetros físico-químicos do biodiesel*

Os valores dos parâmetros físico-químicos do biodiesel sintetizado a partir da gordura (B- gordura) e do óleo (B-óleo) de mufuko são apresentados na tabela 6.

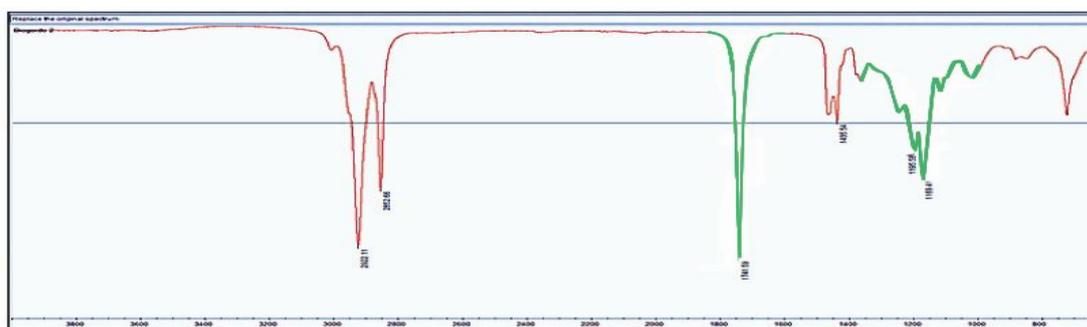
**Tabela 6**  
Parâmetros físico-químicos do biodiesel

Parâmetro	Unidade	(B- gordura)	(B- óleo)	Limite (ASTM)
Densidade	g/cm <sup>3</sup>	0.870	0.857	0.850-0.900
Viscosidade cinemática,	mm <sup>2</sup> /s	4.54	4.14	1.9-6.0
Índice de iodo	mg I <sub>2</sub> /100g,	72.40	56.58	50-60
Índice de acidez	Mg KOH/g	0.21	0.14	0.50
Índice de ácidos gordos livres	g de ácido oléico/100 g	0.41	0.24	0.50
Índice de peróxido	m-eq/kg	7.20	2.80	10
Ponto fulgor	°C,	135	140	≥100
Índice de cetano	n/a	-	51	50-55
Teor ésteres	% massa	96.00	97.4	99.5
Teor em água,	% massa	≤ 0.02	≤ 0.02	0.05,

A análise desta tabela mostra que os parâmetros do biodiesel sintetizado a partir do óleo de mufuko enquadraram-se nos limites de padrões internacionais de qualidade.

#### *Aferição do biodiesel obtido a partir do óleo de mufuko*

Para confirmar a obtenção do biodiesel no final da reacção tirou-se espectros de Infravermelho com Transformada de Fourier "FTIR". As análises efectuaram-se entre  $4,000\text{ cm}^{-1}$  e  $400\text{ cm}^{-1}$  de comprimentos de onda [7] conforme mostra a figura 9 do espectrograma.



**Fig. 9. Espectro infravermelho de FAAM do biodiesel de mufuko**

A análise do espectrograma mostra bandas de adsorção situadas entre  $1750-1730\text{ cm}^{-1}$  atribuídas aos ésteres metílicos de ácidos gordos (*Faty Acid Methyl Esther*, FAME) e bandas situadas entre  $1300-1000\text{ cm}^{-1}$  de comprimento de onda atribuídas aos ácidos carboxílicos e outros ésteres conforme indicam a tabela 7.

**Tabela 7**  
**Grupos funcionais característicos no Biodiesel de Óleo de Mufuko (B.O.M)**

Comprimento de onda da literatura <sup>€</sup> ( $\text{cm}^{-1}$ )	Comprimento de onda do B.O.M ( $\text{cm}^{-1}$ ),	Grupo funcional característico <sup>€</sup>	Compostos contidos no B.O.M
3600 - 3000	----	O-H	----
3000 - 2840	2922.11,2852.66	C-H	Alcanos
1750 - 1730	1741.59	C=O	Ésteres
1500 - 1400	1435.54	C-H	Alcanos
1300 - 1000	1195.5,1169.41	C=O	Ésteres
750 - 700	700	C-H	Carbono conjugado $\text{Sp}^2$

## Conclusão

- 1. Dos resultados obtidos desse trabalho pode-se tirar as seguintes conclusões:**
- 2. O estudo etnobotânico mostra que a referida planta pertence à divisão das angiospermas, classe das dicotiledôneas, gênero *Ourtea welwitschii*, família das anacardaceae, e a ordem das fanerógamas. A sua inflorescência é do tipo umbrela. A planta revela a potencialidade de crescer em solos pobres sem concorrência com as terras usadas pelas plantas oleaginosas à vocação alimentícia. A sua produção de sementes por hectare é promissora em relação de soja, amêndoa, milho, algodão, dendém, girassol.**
- 3. O rendimento de extração e o teor de óleo contido nas sementes de mufuko são de 94,20 e 33,02 % respectivamente. O solvente *n*-hexano apresenta maior rendimento e melhor aspecto físico do óleo.**
- 4. A composição química do óleo determinada por cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massa (GC/MS) revelou a presença de seguintes elementos: ácido oleico (50,09 – 54,25 %), ácido palmítico (30,47 – 33,59 %), ácido linoleico (10,20 – 14,50 %) e ácido esteárico (2,45–3,77 %). Esta composição permitiu calcular a massa molar do óleo que é de 274,24 g/mol e a massa molar dos triglicerídeos participantes na transesterificação é de 870,68 g/mol.**
- 5. A caracterização físico-química do óleo indicou alto índice de acidez (6,4 mg/mol. KOH/g) e de ácidos gordos livres (5,95 g. oleico/100g,), o que nos levou a sintetizar o biodiesel em duas etapas: esterificação seguida de transesterificação usando o metóxido de sódio como catalisador e uma razão óleo/álcool de 1/6.**
- 6. O rendimento de síntese de biodiesel foi de 76,60 % enquanto que o índice de acidez, ácidos gordos livres, a densidade, a viscosidade, índice de fulgor e o teor em éster registaram os seguintes respectivos valores: de 0,14 mg. KOH/g, 0,24 g de ácido**

***oleico/100 g, 0,847g/cm<sup>3</sup>, 4,14mm<sup>2</sup>/s, 140°C e 97,5%. Isto é, a qualidade do mesmo obedeceu aos padrões internacionais definidos pelas normas ABNT-NBR, ASTM-D e EN/ISO. Deste modo, podemos afirmar que o óleo de mufuko pode ser usado para a produção sustentável do biodiesel.***

## Referência bibliográfica

1. *Repositorio Institucional de la Comunidad Europea Alicante* [en línea]. [Consultado 12 marzo 20182]. Disponible en: <http://ec.europa.eu>
2. SANTOS, A. F., *Metanólise de óleo de soja sobre hidratalcites de Mg e Al modificado*. Dissertação mestrado em engenharia do ambiente, Universidade Federal. Brasil 2007.
3. JAMES W. *Advanced biofuels and bioproducts*. 1ra ed. Norfolk, USA. Springer Science, 2013 ISBN : 978-1-4641-3348-4
4. AGARWAI . k.k, *Bioful* [en línea]. [Consultado 4 março 2019]. Disponible en: <http://www.sciencedirect>.
5. PIA, Minniti, Fruits, Direzione Generale per Sviluppo de la Cooperazione - Italie, 2016: 105-111
6. FOGAÇA Jennifer, *Composição química das gorduras*. Universidade Federal de Brasil [en línea]. [Consultado 4 março 2019]. Disponible en: <https://brasilecola.uol.com.br/saude-na-escola/composicao-quimica-das-gorduras.htm>.
7. PEDROSO, Talita, *et al*. Obtenção de biodiesel a partir de óleo de soja e milho utilizando catalisadores básicos e catalisador ácido. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia[en línea], 2010, **6**(11); p.1-25 [Consultado 1 março 2019]. Disponible en: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2010c/obtencao.pdf>