



Estudo da avaliação térmica e oxidativa do óleo, biodiesel e de misturas biodiesel/diesel de maracujá (*Passiflora edulis*)

Relem Cativo da Conceição¹, Paulo Rogério da Costa Couceiro², Jamal da Silva Charar³

Resumo

O maracujá (*Passiflora edulis*), originário da América Tropical, é um fruto muito cultivado e consumido no mundo para o preparo de sucos. A casca do fruto e suas sementes são resíduos industriais provenientes do esmagamento da fruta para a produção do suco. O óleo de maracujá foi obtido por extração mecânica com rendimento de 25% (m/m), posteriormente foram determinadas suas propriedades físico-químicas e, sua composição em ácidos graxos por cromatografia gasosa (CG-MS). O óleo apresentou massa molar média de 872,72 g/mol e, como ácido graxo majoritário, o linoleico com 66,74%. O biodiesel foi obtido por catálise básica, utilizando KOH na proporção de 1%, empregando metanol na razão molar de 1:6 (óleo:metanol) e, a reação foi conduzida por um período de 2 h a 65 °C. As misturas de biodiesel/diesel (B_MX) foram preparadas em proporções volumétricas crescentes, X = 5 a 25% (v/v) de biodiesel. Todas as amostras (óleo, biodiesel e misturas biodiesel/diesel) foram avaliadas segundo suas propriedades físico-químicas e técnicas de espectroscopia de infravermelho (FT-IR), termogravimetria (TG), oxidação acelerada (método Rancimat) e estabilidade oxidativa por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) também foram empregados.

Palavras-Chave: óleo de maracujá, biodiesel, estabilidade térmica, estabilidade oxidativa.

Study of thermal and oxidative evaluation of oil, biodiesel and blends biodiesel / diesel passion fruit (*Passiflora edulis*). Passion fruit (*Passiflora edulis*), originating in tropical America, is a very cultivated and consumed fruit in the world for preparing juices. The rind of the fruit and their seeds are industrial wastes from fruit crushing for the production of juice. The passion fruit oil was obtained by mechanical extraction yield of 25% (m/m) were subsequently determined its physicochemical properties and their fatty acid composition by gas chromatography (GC-MS). The oil showed an average molar mass of 872.72 g/mol, and as the major fatty acid, linoleic to 66.74%. The biodiesel was obtained by base-catalyzed using KOH in the ratio of 1%, using methanol in the molar ratio 1:6 (oil:methanol) and the reaction was conducted for a period of 2 h at 65 °C. The mixtures biodiesel/ diesel (B_MX) were prepared in increasing volumetric proportions, X = 5 to 25% (v/v) of biodiesel. All samples (oil, biodiesel and blends biodiesel/diesel) were assessed according to their physico-chemical properties and techniques of infrared spectroscopy (FT-IR), thermogravimetry (TG), accelerated oxidation (Rancimat method) and oxidative stability by Differential Scanning Calorimetry (DSC) were also employed.

Key-words: passion fruit oil, biodiesel, thermal stability, oxidative stability.

¹ Doutoranda em Química pela Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Química da UFAM: Av. Gal. Rodrigo Octávio, 3.000, Coroado II, Manaus, Amazonas e-mail: relemcat@hotmail.com

² Professor Adjunto no Departamento de Química da Universidade Federal do Amazonas. Av. Gal. Rodrigo Octávio, 3.000, Coroado II, Manaus, Amazonas.

³ Professor Associado no Departamento de Química da Universidade Federal do Amazonas. Av. Gal. Rodrigo Octávio, 3.000, Coroado II, Manaus, Amazonas.

1. Introdução

Os problemas ambientais, inerentes ao uso de combustíveis de origem fóssil, vêm contribuindo para a busca por fontes renováveis de energia. Neste cenário, várias alternativas baseadas em biomassa mostram-se economicamente viáveis e ecologicamente sustentáveis (ALMEIDA *et al*, 2012) (SIMS, 2010).

O biodiesel é uma alternativa interessante aos combustíveis fósseis, pois seu uso contribui para a diminuição na emissão de gases poluentes durante o processo de combustão, trazendo benefícios ambientais, além de possuir propriedades muito semelhantes ao diesel de petróleo (ATADASHI *et al*, 2010). O seu uso como combustível vem crescendo aceleradamente no mundo inteiro, pois a cadeia de produção deste biocombustível tem um potencial promissor em vários setores, tais como social, ambiental e tecnológico. (KEERA, 2011)

A transesterificação de óleos vegetais é, atualmente, o método mais utilizado para obtenção de biodiesel, principalmente devido às características físico-químicas dos ésteres serem muito semelhantes às do diesel, o objetivo principal da transesterificação é a diminuição da viscosidade e, ao mesmo tempo, aumento da volatilidade. (NURFITRI *et al*, 2013)

Dentre as muitas matérias-primas que podem ser utilizadas na produção de biodiesel, o óleo de maracujá apresenta-se como uma alternativa promissora em regiões produtoras (DOMINGUES *et al*, 2014). O óleo é proveniente das sementes, um resíduo agroindustrial da extração do suco, de pouco ou nenhum valor econômico, que podem ser transformados em produtos de valor econômico (FERRARI *et al*, 2004), (DOMINGUES *et al*, 2014).

Neste trabalho verificou-se as propriedades físico-químicas, químicas, estabilidade térmica e oxidativa do óleo e biodiesel de maracujá por Termogravimetria em atmosfera de N₂, oxidação acelerada, pelo método Rancimat, e oxidação acelerada por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), bem como sua mistura ao diesel de petróleo em proporções volumétricas crescentes (5 a 25%).

2. Material e Método

O óleo de maracujá (*passiflora edulis*) utilizado neste estudo foi obtido por extração mecânica em uma extratora radial tubular, modelo

ER60 II. As sementes foram submetidas a um pré-tratamento em um cozinhador a 60°C durante 20 minutos até obter consistência adequada para extração, após o processo o óleo foi filtrado e então armazenado.

2.1. Caracterização físico-química

A densidade, e viscosidade foram determinadas para o óleo, biodiesel e misturas. Para o óleo ainda foi determinado índice de acidez (mg KOH/g de óleo), índice de peróxido (meq/Kg de óleo) e índice de saponificação (mg KOH/g de óleo), utilizando metodologias descritas por MORETTO e FETT (1989) e, por HORWITZ (2000). Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

2.2. Determinação dos ácidos graxos por cromatografia gasosa (CG)

A composição química do óleo foi determinada para definir o peso molecular médio da amostra em questão. A composição química do óleo e do biodiesel foi confirmada por cromatografia gasosa com detector de massa CG-MS, Shimadzu GC-2010, utilizando uma coluna capilar Stabilwax (30 m, 0,25 mm d.i. e 0,25 µm de espessura do filme). Para eletroionização 70 eV, foi utilizado hélio como gás de arraste, à pressão de 15 psi, com razão de divisão de fluxo (Split) 1:50, a temperatura do injetor foi de 250 °C e a do detector foi 300 °C. A rampa de temperatura da coluna foi de 50 °C durante 2 min de gradiente de 10 °C/minuto até 180 °C, durante 5 minutos em espera a 180 °C, gradiente de 5 °C/minuto até 240 °C num total de 32 minutos da corrida cromatográfica. Software Solução GS (Shimadzu, Kyoto, Japão) foi usado para analisar os cromatogramas juntamente com bibliotecas Nist08 e Nist08s.

2.3. Espectroscopia na região do infravermelho

A espectroscopia na região do infravermelho foi obtida em equipamento Thermo Scientific, modelo Nicolet IR 200, na faixa de varredura de 4.000 a 650 e resolução de 4 cm⁻¹.

2.4. Obtenção de Biodiesel

O biodiesel foi obtido por rota metálica através da reação de transesterificação alcalina, utilizando 1% de catalisador hidróxido de potássio, na razão molar 1:6 (óleo:metanol), por um período de 2 h a 65 °C.

As misturas de biodiesel/diesel (B_MX) foram preparadas em proporções volumétricas crescentes, $X = 5$ a 25 % de biodiesel. O diesel A utilizado foi fornecido pela distribuidora Equador Petróleo.

O biodiesel e suas misturas foram analisados mediante parâmetros de caracterização, seguindo as normas estabelecidas pelo Regulamento Técnico nº 3/2014, anexo a Resolução ANP 45/2014 (ANP, 2014).

2.5. Análise de Termogravimetria

Para avaliar a estabilidade térmica das amostras (óleo, biodiesel e misturas) foi utilizado o termoanalisador Shimadzu, modelo TA-60WS, sob atmosfera inerte de N_2 , na razão de aquecimento de $10^\circ C/min$, em cadinhos de alumina com cerca de 8 mg de amostra e intervalo de temperatura de 25 a $800^\circ C$.

2.6. Estabilidade Oxidativa em Rancimat

Os ensaios de estabilidade oxidativa das amostras (óleo, biodiesel e misturas) foram obtidos em equipamento Rancimat Metrohm, modelo 873 Biodiesel, à temperatura de $110^\circ C$, de acordo com a norma EN 14112.

No método Rancimat, o processo de oxidação é induzido pela passagem de um fluxo de ar purificado, com vazão de 10 L/h, através da amostra em estudo (aproximadamente 3 g), mantida à temperatura constante. Os vapores liberados da amostra, durante o processo de oxidação, em conjunto com o ar, passam pelo frasco contendo água destilada e, um eletrodo para medição de condutividade. O eletrodo está ligado a um dispositivo de medição, ele indica o fim do período de indução, quando a condutividade começa a aumentar rapidamente, atingindo um limite de 200 μS . Este aumento acelerado é causado pela dissociação de ácidos carboxílicos voláteis produzidos durante o processo de oxidação e absorvidos na água. A condutividade da solução de medição é registrada continuamente, obtendo assim a curva de oxidação, cujo ponto de inflexão é conhecido como indução.

2.7. Medida de Estabilidade Oxidativa por DSC

A estabilidade oxidativa das amostras também foi determinada por calorimetria exploratória diferencial (DSC), como um método alternativo e mais rápido, em Calorímetro Exploratório Diferencial, modelo Shimadzu DSC-60 (Kyoto/Japan). O equipamento foi calibrado

com índio puro e, a linha de base foi obtida com cadinho de alumínio aberto e vazio.

As curvas foram obtidas com $12,0 \pm 0,5$ mg de amostra e em cinco temperaturas diferentes ($110, 120, 130, 140$ e $150^\circ C$), em atmosfera de oxigênio, com fluxo de gás de $90 mL \cdot min^{-1}$. O período de indução (PI) corresponde ao ponto de intersecção da linha de base extrapolada e da linha tangente da isoterma.

3. Resultados e Discussão

O óleo de maracujá apresentou um rendimento de 25% (m/m). O óleo bruto e o biodiesel obtido a partir deste, foram caracterizados e suas propriedades físico-químicas determinadas, como mostrado na Tabela 1.

O óleo utilizado apresentou índice de acidez de 2,21 mg KOH/g, valor relativamente alto porém dentro do esperado para amostras brutas, enfatizando que este ensaio é um indicativo do grau de degradação da matéria-prima analisada.

O índice de saponificação é inversamente proporcional ao peso molecular médio dos ácidos graxos dos glicerídeos presentes na amostra (MORETTO e FETT, 1989). Desse modo, quanto maior o índice de saponificação menor será o peso molecular de um óleo ou gordura, o óleo de maracujá apresentou um índice de saponificação de 213,63 mg KOH/g estes dados podem ser confirmados através das análises de CG-MS (Tabela 2).

O índice de peróxido também é um ensaio que mede o grau da degradação do óleo, este determina todas as substâncias que oxidam o iodeto de potássio nas condições de análise. Dessa forma, se a matéria-prima (óleo ou gordura) possuir um elevado teor em ácidos graxos insaturados apresentará maior sensibilidade à oxidação. O óleo apresentou um índice de peróxido de 4,99 meq g/Kg.

Os óleos brutos apresentaram altos valores de viscosidade, justificado pelas longas cadeias carbônicas e elevado peso molecular.

O óleo de maracujá apresentou massa molar média de 872,72 g/mol, em sua composição química há grande quantidade de compostos insaturados (84,53 %), e como ácido graxo majoritário o linoleico com 66,74 %, seguido do ácido oleico com 17,79 %, como mostrado na Tabela 2, o que justifica a baixa estabilidade oxidativa apresentada pelo óleo.

Tabela 1: Caracterização físico-química do óleo de maracujá (O. M.)

Parâmetros	Limites	Óleo de Maracujá
Rendimento (%)	-	25
Acidez (mg de KOH/g)	0,5	2,21 ± 0,02
Índice de Saponificação	-	213,63 ± 0,23
Índice de Peróxido (meq g/ Kg)	-	4,99 ± 0,00
Massa Específica a 20 °C (Kg/m ³)	850 – 900	920 ± 0,00
Viscosidade a 40 °C (mm ² /s)	3,0 – 6,0	30,75 ± 0,01

Tabela 2: Composição química do óleo de maracujá.

Ácidos Graxos	MM (g/mol)	Composição média dos ácidos graxos constituintes (%)
C16:0	256,48	11,40
C18:0	284,54	4,06
C18:1	282,52	17,79
C18:2	280,50	66,74
Massa molar média (g/mol)		872,72

Foram obtidos espectros na região do infravermelho para a matéria-prima e o biodiesel obtido. Analisando os dois espectros (Figura 1), observa-se que em 3474-3479 cm⁻¹ há a vibração

Os resultados da caracterização físico-química do biodiesel apresentaram resultados bastante satisfatórios, todos os parâmetros avaliados estavam de acordo com os limites estabelecidos pela ANP (Tabela 3).

Tabela 3: Caracterização físico-química do biodiesel

Parâmetros	Limites	B. M.
Rendimento (%)	96,5	97,78
Índice de Acidez (mg KOH/g)	0,5	0,51 ± 0,04
M. Específica a 20 °C (Kg/m ³)	850 – 900	872,62 ± 0,01
Viscosidade a 40 °C (mm ² /s)	3,0 – 6,0	3,84 ± 0,01
Ponto de Fulgor (°C)	Mín. 100	139 °C

Os resultados de massa específica ficaram dentro dos limites estabelecidos pela ANP, além de ser um indicativo da ocorrência de conversão dos triglicerídeos (óleo vegetal) a ésteres metílicos (biodiesel) (FROEHNER *et al*, 2007), a massa específica é uma das propriedades físicas, que serve de parâmetro de qualidade do biodiesel em vários países (MEHER *et al*, 2006).

de estiramento da ligação O-H, bandas com baixa intensidade, indicam que o óleo possui baixo teor de água, e que os ésteres metílicos o teor é ainda mais reduzido, outras bandas típicas de éster metílico em 1243, 1196 e 1172 cm⁻¹ de estiramento de C-O-C. A banda forte em 1745 cm⁻¹ observada para ambas às amostras é referente ao grupo carbonila (C=O) de ésteres.

No espectro do biodiesel aparecem bandas em 1018-876 cm⁻¹ que são atribuídas ao estiramento assimétrico da ligação carbono-oxigênio, característicos de ésteres metílicos.

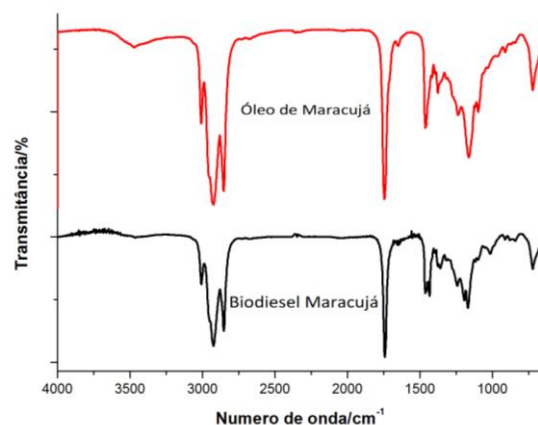


Figura 1: Espectroscopia do óleo de maracujá e de biodiesel metílico de maracujá.

A viscosidade do biodiesel aumenta com o comprimento da cadeia carbônica e com o grau de saturação (KNOTHE, 2005), considerando que os valores de viscosidade obtidos são bem inferiores a aqueles dos óleos brutos, podem ser um indicativo de conversão a ésteres metílicos, além de atenderem à especificações da ANP.

O ponto de fulgor é a temperatura mínima em que seus vapores entram em combustão, um ponto de fulgor baixo para biodiesel pode ser um indicativo de que existem resíduos remanescentes de álcool, porém se o ponto de fulgor ocorrer acima de 130 °C, a presença de álcool na amostra é descartada (ANP, 2014).

A Figura 2 apresenta as etapas de decomposição do óleo de maracujá onde é possível observar três etapas de perda de massa, a primeira com perda de 64,78 % com temperatura “on set” de 377,25 °C, a segunda com perda de 31,81 % com temperatura “on set” de 413,09 °C e a terceira com perda de 3,40 % com temperatura “on set” de 527,66 °C, sendo atribuídas à volatilização e/ou combustão dos triglicerídeos constituintes da amostra.

A caracterização físico-química tanto da amostra de Diesel A quanto a de suas misturas ao biodiesel (Tabela 4) encontram-se dentro das especificações da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP - de acordo com as resoluções correspondentes.

A inclusão de biodiesel ao diesel, proporciona um aumento de viscosidade e massa específica à amostra como citado por Alptekin&Canakci (2008). Analisando os resultados da caracterização físico-química é possível verificar que as misturas de biodiesel ao diesel, apresentaram um aumento nos valores de massa específica, viscosidade e índice de acidez proporcional ao biodiesel adicionado, bem como

um aumento nos valores de ponto de fulgor quando comparado ao diesel.

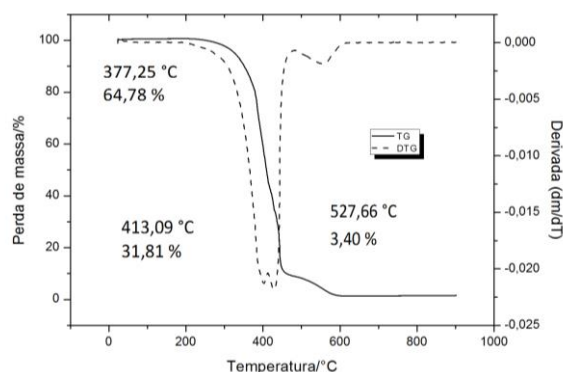


Figura 2: Curva TG/DTG para o óleo de maracujá

Tabela 4: Caracterização físico-química do diesel A e de suas misturas com biodiesel

Parâmetros	Unidades	Limites	Diesel A	B5	B10	B15	B20	B25
Índice de Acidez	mg de KOH/g	0,5	-	0,14(4)	0,14(4)	0,22(2)	0,28(2)	0,28(2)
Massa Específica a 20 °C	Kg/m ³	815 a 865	841,20	843,44(1)	845,61(1)	848,0±0,01	849,69(1)	852,11(1)
Viscosidade a 40 °C	mm ² /s	3,0 – 6,0	3,12	3,16(1)	3,19(0)	3,33± 0,00	3,35(0)	3,45(1)
Ponto de Fulgor	°C	Min. 38°C	50	55,6(1)	57,5(0)	59,7 ± 0,0	63,0(1)	66,5(1)

Através dos resultados da espectroscopia na região do infravermelho (Figura 3) é possível observar a ausência da banda 1745 cm⁻¹ referente ao estiramento C=O (carbonila) na amostra de diesel, e o aparecimento da mesma banda, nas amostras de sua mistura com biodiesel, verificando um aumento proporcional à adição de biodiesel à mistura.

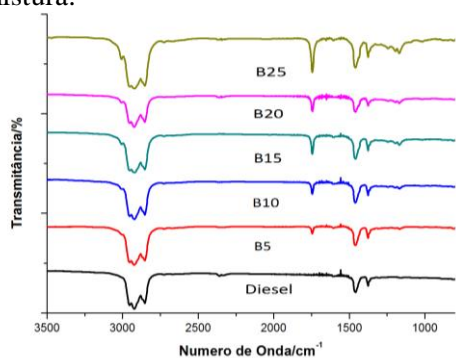


Figura3. Espectroscopia do diesel A e suas misturas com biodiesel.

A curva TG/DTG do biodiesel de maracujá apresentou uma única etapa de decomposição térmica (Figura 4), no intervalo de 223 a 265 °C, com perda de massa de 97,26 %, sendo atribuída ao processo de volatilização e/ou decomposição dos ésteres metílicos, sendo por isso um indicativo do rendimento em ésteres metílicos.

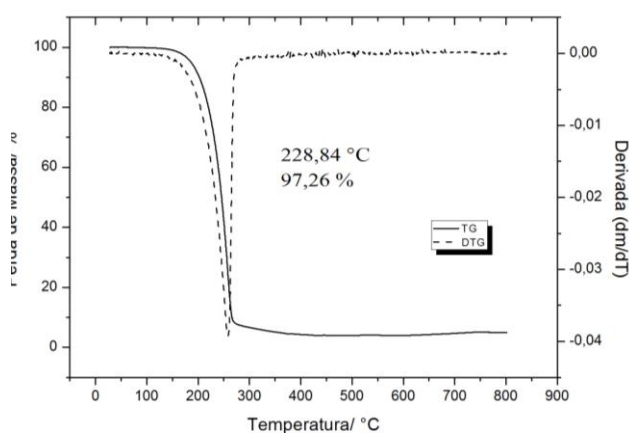


Figura 4: Curva TG/DTG para o Biodiesel Metílico de Maracujá

Compostos insaturados são significativamente mais susceptíveis à oxidação que compostos saturados (PARDAUIL *et al*, 2011).

A estabilidade do biodiesel geralmente depende do perfil de ácidos graxos da matéria-prima original. Portanto, biodiesel com teores elevados de ácidos graxos insaturados, tais como ácido linoleico e linoléico, são especialmente propensos a oxidação (KNOTHE, 2007) (PANTOJA *et al*, 2013).

O óleo de maracujá possui em sua composição alto teor de compostos insaturados, com predominância do ácido linoléico (como observado na análise de cromatografia gasosa), o que justifica a baixa estabilidade à oxidação do óleo e a subsequente baixa estabilidade do biodiesel obtido (Tabela 5). Porém suas misturas ao diesel apresentaram um aumento gradativo na estabilidade oxidativa.

Tabela 5: Tempo de indução do óleo bruto, biodiesel e misturas, obtidos no equipamento Rancimat.

Amostra	Tempo de Indução/h
Óleo de Maracujá	5,29 ± 0,08
Biodiesel Metílico Maracujá	2,69 ± 0,02
B5	35,33± 0,02
B10	10,70± 0,03
B15	7,20± 0,09
B20	5,99± 0,08
B25	2,96± 0,08

A estabilidade oxidativa das misturas B_MX também foi avaliada, os resultados obtidos indicaram alta estabilidade quando comparada ao biodiesel puro, e estabilidade inversamente proporcional ao teor de biodiesel presente, o que é justificado pela predominância de diesel à mistura.

As curvas TG (Figura 5) obtidas a partir das misturas B_MX apresentaram intervalos muito próximos, de degradação térmica. As amostras possuíam um teor de biodiesel que variou de 5 a 25 % (v/v), mesmo possuindo um percentual baixo em biodiesel, as amostras se mostraram mais estáveis termicamente do que a amostra contendo apenas diesel. Os intervalos de perda de massa foram confirmados pelas curvas derivadas (Figura 6).

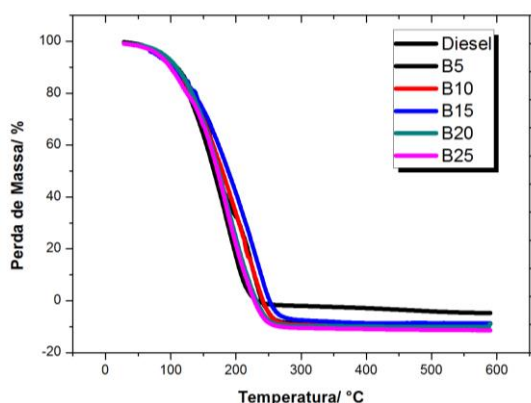


Figura 5: Curva TG para o Biodiesel Metílico de Maracujá e suas misturas ao diesel A.

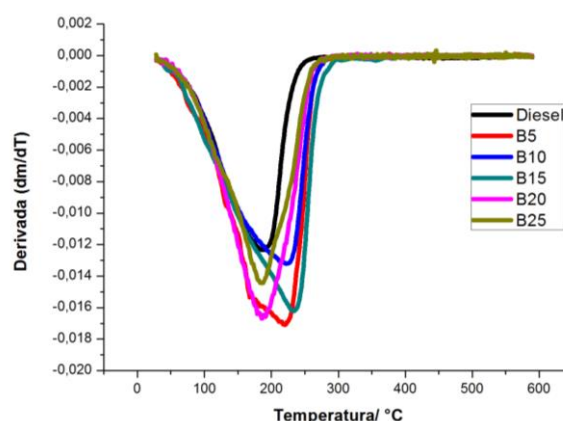


Figura 6: Curva derivada para o biodiesel metílico de maracujá e suas misturas ao diesel A.

Os resultados obtidos no DSC sob atmosfera de oxigênio (99,99%), com razão de fluxo de 90 mL/min. O processo de oxidação das amostras são reações exotérmicas que ocorrem entre o óleo e a atmosfera de oxigênio. Os períodos de indução obtidos no DSC e no Rancimat estão listados na tabela abaixo.

Tabela 6: Períodos de Indução (T₀) obtido em DSC e Rancimat

DSC T ₀ (min)	Amostras	
	Óleo	Biodiesel
110 °C	58,63	25,87
120 °C	52,34	20,20
130 °C	46,44	18,07
140 °C	18,57	8,02
150 °C	11,17	6,23
Rancimat (min)		
110 °C	317,4	161,4

Analisando os resultados obtidos é possível verificar que os períodos de indução obtidos no Rancimat são bem mais altos do que aqueles obtidos por DSC, isso se dá por alguns motivos, no Rancimat é utilizado uma vazão de 10 L. h⁻¹ de ar atmosférico (que contém apenas 21% de O₂), enquanto que no DSC é utilizado atmosfera de oxigênio ultra puro, fazendo com que a amostra oxide mais rapidamente. (PARDAUIL *et al*, 2011)

No DSC é utilizado uma quantidade muito menor de amostra (12 mg), quando comparado àquela utilizada no Rancimat (3 g), porém a superfície de contato óleo/oxigênio é muito superior, considerando que no Rancimat o que é analisado é apenas parte da amostra que se volatilizou, fornecendo um resultado mais rápido do que aquele obtido no Rancimat.

A Figura 7 apresenta as curvas de oxidação obtidas no DSC, onde é possível observar uma

diminuição da estabilidade oxidativa, proporcional ao aumento da temperatura.

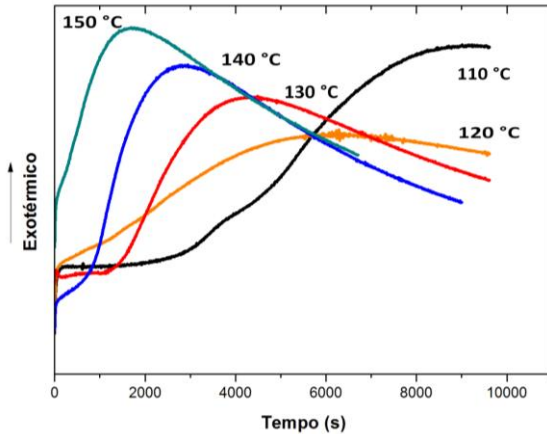


Figura 7: Curvas de oxidação do óleo de maracujá por DSC, obtidas por análises isotérmicas de DSC em 110, 120, 130, 140 e 150 °C.

O método utilizado no DSC mostrou-se promissor por vários fatores como maior velocidade na obtenção do resultado e, menor quantidade de amostra utilizada, por exemplo, porém necessita de estudos mais aprofundados.

4. Conclusão

Os dados cromatográficos mostram que na composição química do óleo de maracujá há grande quantidade de compostos insaturados (84,53 %), e como ácido graxo majoritário o linoleico com 66,74 %, o que justifica a baixa estabilidade oxidativa apresentada pelo óleo bruto e consequentemente pelo biodiesel obtido.

Analisando os resultados obtidos é possível afirmar que o método de obtenção do biodiesel, utilizado neste trabalho foi satisfatório, apresentando uma conversão de 97,78% do óleo em ésteres metílicos.

As propriedades físico-químicas do óleo, do biodiesel e de suas misturas ao diesel, estão de acordo com os limites estabelecidos pela ANP, porém a estabilidade oxidativa está abaixo do estipulado pela norma, que é de no mínimo 6 h.

O óleo e o biodiesel apresentaram estabilidade térmica superior ao diesel e suas misturas com o biodiesel.

O método para verificação de estabilidade oxidativa, através de calorimetria exploratória diferencial (DSC), mostrou-se promissor, no entanto, necessita de mais estudos antes de uma implantação futura.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo apoio financeiro e pela bolsa concedida durante a realização deste projeto.

Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. O(s) autor(es) e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GAS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Regulamento Técnico ANP N° 3/2014. Resolução ANP N° 45, de 25.8.2014 - DOU 26.8.2014.
- ALMEIDA E. W. C., DOS SANTOS H. F., DE MIRANDA A. M., JORIO A., FERREIRA E. H. M., ACHETE C. A., ARMOND R. A. S. Z., ANCONI C. P. A., DE ALMEIDA W. B. Estudo teórico e experimental de espectros infravermelho de ésteres de ácido graxo presentes na composição do biodiesel de soja. *Quim. Nova*, Vol. 35, No. 9, 1752-1757, 2012
- ALPTEKIN, E., CANAKCI, M. Determination of the density and the viscosities of biodiesel- diesel fuel blends. *Renewable Energy* 33. 2008.
- ATADASHI I. M., AROUA M.K., ABDUL A.A. High quality biodiesel and its diesel engine application: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;14:1999-2008.
- DOMINGUES, J.; SILVA, I. M.; ANDRADE, E. T.; FERREIRA, F. Extração do óleo, Produção e Caracterização de propriedades físicas do biodiesel de sementes de maracujá-*Passiflora edulis*. *Engvista*, Vol. 16, n. 1, p. 1-7, 2014.
- FERRARI, R. A. COLUSSI, F. AYUB R. Caracterização de subprodutos da industrialização do maracujá - aproveitamento das sementes. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 1, p. 101-102, 2004.
- FROEHNER, S.; LEITHOLD, J.; Transesterificação de óleos vegetais: caracterização por cromatografia em camada delgada e densidade. *Química Nova*, v. 30, n. 8, p. 2016-2019, 2007.
- HORWITZ, W. Official Methods of Analysis AOAC International, Maryland, EUA, 17 edição, volume II, capítulo 41, 2000.



KEERA S. T., EL SABAGH S. M., TAMAN R. Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using alkaline catalyst. *Fuel* 90 (2011) 42-47

KNOTHE, G. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Processing Technology*. 86, 1059, 2005.

KNOTHE, G. Some aspects of biodiesel oxidative stability. *Fuel Processing Technology*. 88, 669, 2007.

MEHER, L.C.; SAGAR, D. V.; NAIK, S.N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification-a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.10, p. 248–268, 2006.

MORETTO, E.; FETT, R. Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos. São Paulo: Ed. UFSC: Florianópolis, 1989.

NURFITRI I., MANIAM, G. P., HINDRYAWATI, N., YUSOFF M. M., GANESAN. S. Potential of feedstock

and catalysts from waste in biodiesel preparation: A review. *Energy Conversion and Management* 74 (2013) 395–402

PANTOJA, S. S., CONCEIÇÃO, L. R. V., COSTA, C.E.F. DA., ZAMIAN, J. R., ROCHA FILHO, G. N., Oxidative stability of biodiesels produced from vegetable oils having different degrees of unsaturation. *Energy Conversion and Management* 74 (2013) 293–298.

PARDAUIL, J. J. R., SOUZA, L. K. C., MOLFETTA, F. A., ZAMIAN, J. R., ROCHA FILHO, G. N., COSTA, C.E.F. DA. Determination of the oxidative stability by DSC of vegetable oils from the Amazonian area, *Bioresource Technology* 102 (2011) 5873–5877.

SIMS, R. E. H.; MABEE, W.; SADDLER, J. N.; TAYLOR, M.; *Bioresour. Technol.* **2010**, 101, 1570.

SINGH S. P., SINGH D. Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;14:200–16.