


C A P Í T U L O 1

APROVEITAMENTO DO ÓLEO DE FRITURA RESIDUAL PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL: UMA SOLUÇÃO SUSTENTÁVEL EM VALENÇA DO PIAUÍ

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.073112616011>

Leanne S. de Sousa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – Campus Valença, PI, Brasil

ORCID: 0000-0003-3574-9313

Andrey M. Carvalho

Universidade Federal do Piauí - Campus Ministro Petrônio

Portella, Centro de Ciências da Saúde, PI, Brasil

ORCID: 0000-0002-5836-0514

Aléssia Vitória da C. Sousa

Centro Universitário UniFacid Wyden - Campus Horto, PI, Brasil

ORCID: 0009-0006-2673-5306

Juciely C. Maia Mota

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – Campus Valença, PI, Brasil

ORCID: 0000-0001-7657-544X

Arthur F. de Paiva Alcântara

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – Campus Valença, PI, Brasil

ORCID: 0000-0002-0521-0627

Marco A. da Silva Coutinho

Secretaria Estadual de Educação do Piauí - SEDUC-PI, Brasi

ORCID: 0000-0002-6703-2854 I

Carla V. Rodarte de Moura

Universidade Federal do Piauí - Campus Ministro Petrônio

Portella, Centro de Ciências Natureza, PI, Brasil

ORCID: 0000-0002-5662-7764

Edmilson M. de Moura

Universidade Federal do Piauí - Campus Ministro Petrônio

Portella, Centro de Ciências Natureza, PI, Brasil

ORCID: 0000-0003-0998-5929;

RESUMO: A reciclagem de resíduos agrícolas e agroindustriais tem se destacado como uma estratégia fundamental para a promoção da sustentabilidade e a mitigação dos impactos ambientais. Entre esses resíduos, o óleo de cozinha usado constitui um dos principais desafios ambientais, em razão de seu descarte inadequado, capaz de causar poluição hídrica e comprometer o equilíbrio dos ecossistemas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo sensibilizar a população do município de Valença do Piauí acerca da importância do descarte ambientalmente adequado do óleo de cozinha residual, associando ações educativas à produção de biodiesel a partir do óleo usado coletado. A metodologia adotada compreendeu atividades de educação ambiental voltadas à orientação da comunidade quanto ao correto descarte do óleo residual, bem como sua coleta sistematizada. O óleo obtido foi submetido a processos de filtração e pré-tratamento, sendo posteriormente empregado como matéria-prima na produção de biodiesel por meio da reação de transesterificação. O biocombustível produzido foi avaliado por análises físico-químicas, cromatográficas e espectroscópicas, visando à verificação de sua qualidade. Os resultados evidenciaram que o biodiesel apresentou perfil cromatográfico com predominância dos ácidos graxos linoleico e oleico, além de parâmetros físico-químicos compatíveis com os limites estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), com exceção da estabilidade oxidativa determinada pelo método Rancimat. A análise por espectroscopia no infravermelho confirmou a conversão eficiente dos triacilglicerídeos em ésteres metílicos. Dessa forma, os resultados demonstram a viabilidade técnica e ambiental do aproveitamento do óleo de cozinha residual para a produção de biocombustível. Conclui-se que a produção de biodiesel a partir de óleo de cozinha usado apresenta expressivo potencial socioambiental, ao transformar um resíduo altamente poluente em uma fonte de energia limpa, reduzir os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado e fortalecer práticas sustentáveis e de economia circular no contexto regional.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição. Sensibilização. Transesterificação. Biodiesel. Sustentabilidade.

UTILIZATION OF RESIDUAL FRYING OIL FOR THE PRODUCTION OF BIOFUEL: A SUSTAINABLE SOLUTION IN VALENÇA DO PIAUÍ

ABSTRACT: The recycling of agricultural and agro-industrial residues has emerged as a key strategy for promoting sustainability and mitigating environmental impacts. Among these residues, used cooking oil represents one of the major environmental challenges due to its improper disposal, which can cause water pollution and compromise ecosystem balance. In this context, the present study aimed to raise

awareness among the population of the municipality of Valença do Piauí regarding the importance of environmentally appropriate disposal of waste cooking oil, combining educational actions with the production of biodiesel from the collected used oil. The adopted methodology comprised environmental education activities focused on guiding the community on the correct disposal of residual oil, as well as its systematic collection. The obtained oil underwent filtration and pre-treatment processes and was subsequently used as feedstock for biodiesel production through the transesterification reaction. The produced biofuel was evaluated through physicochemical, chromatographic, and spectroscopic analyses in order to verify its quality. The results showed that the biodiesel exhibited a chromatographic profile with a predominance of linoleic and oleic fatty acids, as well as physicochemical parameters compatible with the limits established by the Brazilian National Agency for Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP), except for oxidative stability determined by the Rancimat method. Infrared spectroscopy analysis confirmed the efficient conversion of triacylglycerols into methyl esters. Thus, the results demonstrate the technical and environmental feasibility of utilizing waste cooking oil for biofuel production. It is concluded that biodiesel production from used cooking oil presents significant socio-environmental potential, as it transforms a highly polluting waste into a clean energy source, reduces the environmental impacts resulting from improper disposal, and strengthens sustainable practices and the circular economy in the regional context.

KEYWORDS: Pollution. Sensitization. Transesterification. Biodiesel. Sustainability.

INTRODUÇÃO

Diante do agravamento dos impactos ambientais e das incertezas geopolíticas associadas ao uso de combustíveis fósseis, a transição para fontes energéticas mais sustentáveis tornou-se uma prioridade mundial nas últimas décadas. Embora o interesse por alternativas renováveis remonte a períodos anteriores, foi especialmente a partir do final do século XX — e de forma mais acentuada no século XXI — que governos, instituições de pesquisa e o setor produtivo intensificaram ações voltadas à redução da dependência do petróleo e seus derivados. Nesse contexto, os biocombustíveis emergem como uma alternativa estratégica de grande relevância, destacando-se o caso do Brasil, que possui condições climáticas, territoriais e agrícolas favoráveis à produção em larga escala de etanol e biodiesel (Goldemberg, 2007; Macedo et al., 2008; ANP, 2023).

Com o aumento dos problemas ambientais e o embargo do óleo diesel na África do Sul na década de 1980, o uso de óleos vegetais como alternativa renovável de combustível voltou a ser cogitado. Essa retomada visava não apenas diminuir

a dependência do óleo diesel, mas também reduzir as emissões de gases nocivos ao meio ambiente. Dentre os estudos realizados, o óleo de girassol se destacou como uma das matérias-primas mais promissoras nas pesquisas iniciais sobre fontes alternativas de energia (Dabdoub; Bronzel; Rampin, 2009).

A partir dessas experiências iniciais, o interesse pelo desenvolvimento sustentável foi gradualmente se consolidando, atraindo cada vez mais atenção. As evidências de que o uso contínuo de combustíveis fósseis tem causado impactos negativos ao planeta são amplamente reconhecidas. Diante disso, questões como o aquecimento global e a limitação das reservas de petróleo têm impulsionado governos e instituições a buscar fontes de energia renovável, promovendo a diversificação da matriz energética mundial (Bharti; Singh, 2020; Kumar; Singh, 2020; Rodrigues et al., 2020).

Com o avanço das tecnologias, a utilização de energias alternativas tem ganhado destaque em escala mundial. Nesse contexto, o biodiesel se sobressai por ser um combustível menos poluente, biodegradável e obtido a partir de fontes renováveis, como óleos vegetais, por meio do processo de transesterificação — reação que converte triglicerídeos em ésteres de ácidos graxos (Lam; Mohamed, 2010), assumindo importância cada vez maior nessa questão, já que existe de fato uma relação direta entre consumo de energia e desenvolvimento econômico (Monyem e Van Garpen, 2001; Costa Neto et al., 2000; Encinar et al., 2002). Em detrimento do grande desenvolvimento mundial, a demanda por energia cresce significativamente. Nos países altamente industrializados o consumo de energia per capita não para de crescer, sendo esse comportamento análogo em países emergentes (Embrapa, 2020).

Nesse cenário, os óleos vegetais se destacam como um dos principais produtos extraídos de plantas atualmente, sendo amplamente investigados como candidatos promissores na produção de energia renovável, pois promovem benefícios ambientais, sociais e econômicos (Reda e Carneiro, 2007).

Os óleos vegetais são predominantemente constituídos de triglicerídeos formados de ácidos carboxílicos de cadeia longa, glicerol, ácidos graxos livres, fosfolipídios, esteróis e tocoferóis. Os ácidos graxos constituintes dos triglicerídeos mais comuns possuem 12, 14, 16 ou 18 átomos de carbono, podendo apresentar uma ou mais ligações duplas ou hidroxilas (Rezende et al. 2006). A composição química do óleo depende do tipo de matéria-prima e das características de cada safra, são líquidos à temperatura ambiente devido a elevada presença de ácidos graxos insaturados o que o diferencia das gorduras que são sólidas ou pastosas, devido a predominância de ácidos graxos saturados (Rinaldi et al. 2007; Moretto; Fett, 1998).

No Brasil, diferentes espécies de oleaginosas possuem potencial para serem utilizadas como matérias-primas na produção de biodiesel. Apesar da grande diversidade agrícola nacional, a soja continuou sendo a principal matéria-prima para

a produção de biodiesel (B100), equivalente a 68,3% do total. As outras matérias-primas, que incluem óleo de palma, óleo de amendoim, óleo de nabo-forrageiro, óleo de girassol, óleo de mamona, óleo de sésamo, óleo de canola, óleo de milho, óleo de fritura usado e outros materiais graxos, corresponderam à segunda maior quantidade utilizada na produção de biodiesel (B100), equivalente a 16,5% do total, seguida por gordura animal (14,1% do total) e óleo de algodão (1,1%) (ANP, 2018, 2019; EPE, 2020). O óleo de cozinha pode ser utilizado como uma fonte alternativa para a produção do biodiesel, onde qualquer ácido graxo pode servir de matéria-prima para a produção do mesmo.

O biodiesel é um biocombustível biodegradável obtido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais por meio da reação de transesterificação com álcoois de cadeia curta, geralmente etanol ou metanol, na presença de um catalisador, resultando em ésteres monoalquilaicos e glicerina como coproducto. Esse combustível renovável destaca-se por poder substituir o diesel fóssil sem necessidade de adaptações no motor e por apresentar vantagens ambientais e operacionais, como ausência de enxofre e compostos aromáticos, maior número de cetano, melhor lubrificação, combustão mais limpa e menor toxicidade. Tais propriedades contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa, a geração de emprego e renda no meio rural e a diminuição da dependência de combustíveis fósseis.

Contudo, o biodiesel ainda enfrenta limitações, como menor poder calorífico, maior emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x) e baixa estabilidade oxidativa devido à alta concentração de ácidos graxos insaturados. Nesse contexto, o Brasil se destaca pelo potencial produtivo diversificado e por políticas de regulação que buscam aprimorar a qualidade do biocombustível, como a Resolução ANP nº 798/2019, que estabelece a adição obrigatória de antioxidantes para prevenir a degradação durante o armazenamento e garantir maior estabilidade do produto (ANP, 2023; Santos et al., 2021; Knothe, 2022; Ramos et al., 2023; Souza et al., 2024).

A estabilidade oxidativa é um parâmetro crucial na avaliação da qualidade do biodiesel, pois determina sua durabilidade e segurança durante o armazenamento e o uso, especialmente em regiões de clima quente, onde as reações de oxidação são intensificadas. A composição de ácidos graxos da matéria-prima exerce papel determinante nesse aspecto, já que os ácidos graxos insaturados — particularmente os poli-insaturados — apresentam maior suscetibilidade à oxidação devido à presença de hidrogênios alílicos em posições adjacentes às duplas ligações. O aumento do número e da proximidade dessas ligações favorece a formação de radicais livres e, consequentemente, acelera o processo de degradação oxidativa. Esse fenômeno resulta na produção de peróxidos, ácidos carboxílicos e compostos poliméricos, que comprometem a qualidade do combustível, sua estabilidade térmica e o desempenho dos motores (Knothe, 2021; Moser, 2022; Sharma et al., 2023).

Nos últimos anos, diversos projetos de reciclagem têm ganhado destaque no Brasil, impulsionando práticas sustentáveis e de economia circular. Entre essas iniciativas, sobressai-se o aproveitamento de óleos vegetais residuais provenientes dos processos de fritura de alimentos, uma ação de grande relevância ambiental e socioeconômica. A quantidade de óleo de cozinha descartado após o uso é expressiva, e embora parte seja reaproveitada na produção de sabões, massas de vidraceiro e rações animais, ainda há um volume considerável que é destinado de forma inadequada, muitas vezes lançado diretamente nas redes de esgoto (Oliveira; Andrade; Santos, 2022).

Esse descarte incorreto configura um grave problema ambiental e urbano. Estima-se que um único litro de óleo possa contaminar até um milhão de litros de água, elevando em cerca de 45% o custo do tratamento de efluentes (Thode Filho et al., 2014). Além disso, ao atingir os corpos d'água, o óleo forma uma película superficial que impede a penetração da luz solar e reduz a oxigenação, comprometendo ecossistemas aquáticos e agravando a ocorrência de enchentes. Outro impacto significativo decorre da decomposição do óleo, que libera metano (CH_4), um gás de elevado potencial de aquecimento global — aproximadamente 28 vezes mais potente que o dióxido de carbono (CO_2) — e que contribui diretamente para o agravamento do efeito estufa (Husain et al., 2014; IPCC, 2023).

A realização deste trabalho fundamenta-se na necessidade de sensibilizar a população de Valença do Piauí acerca da importância do descarte ambientalmente adequado do óleo de cozinha residual produzido em domicílios. Tal resíduo configura-se como um dos principais agentes poluidores contemporâneos, uma vez que seu manejo inadequado ocasiona impactos ambientais expressivos, como a impermeabilização de solos contaminados e a intensificação da poluição hídrica no município.

Além da ação educativa voltada à conscientização comunitária, este estudo incluiu a produção de biodiesel a partir do óleo de cozinha coletado, utilizando a reação de transesterificação. A matriz energética obtida foi submetida a análises físico-químicas e à avaliação de estabilidade oxidativa, a fim de verificar seu potencial de aproveitamento como biocombustível.

METODOLOGIA

Local do estudo

A pesquisa foi realizada na cidade de Valença do Piauí, no qual ocorreu inicialmente a sensibilização da população sobre o correto descarte do óleo de

cozinha usado para fins alimentícios. A orientação repassada à população foi de que esses óleos de cozinha usados sejam armazenados em garrafas PET.

Refino, degomagem e neutralização

As amostras de óleo de cozinha usados passaram por algumas etapas do processo de refino, degomagem e neutralização, conforme a metodologia adaptada de Morais et al. (2001), conforme descrito nos itens a seguir, sendo as análises realizadas no IFPI - Campus Valença do Piauí e na Universidade Federal do Piauí (UFPI), Departamento de Química).

No processo de degomagem, o óleo de cozinha usado foi aquecido até 80 °C e, em seguida, adicionado ao mesmo 1% (da massa do óleo) de H₃PO₄ (85%, comercial) e 3% de água destilada e com temperatura de 45 °C. A mistura foi submetida sob agitação vigorosa durante 30 minutos e, em seguida, foi centrifugada para a separação da goma (proteínas, fosfolipídios, cinzas e impurezas). O sobrenadante da centrifugação foi levado a um funil de separação no qual permaneceu em repouso por 30 minutos.

A neutralização foi feita pela adição alcalina de hidróxido de sódio ao óleo, à temperatura ambiente. A mistura foi mantida sob agitação vigorosa e após 30 minutos foi aquecida a 70 °C para quebrar a emulsão, mantendo agitação lenta. A mistura em seguida foi filtrada a vácuo para separar as fases óleo-sabão (“borra”). A “borra” foi então descartada e o óleo foi lavado com água a uma temperatura de 50 °C. Após a lavagem, o óleo foi seco em estufa.

Síntese do biodiesel

O biodiesel de soja foi obtido por transesterificação, utilizando catálise homogênea alcalina e rota metólica a partir de óleo usado. O álcool empregado foi metanol (VETEC) e o catalisador utilizado foi hidróxido de sódio (NaOH) da marca MERCK. Para a síntese, foram utilizados um bêquer de vidro graduado com capacidade de 1000 mL e um agitador magnético com aquecimento.

Para síntese do biodiesel foi necessário a formação do metóxido de sódio, sendo o mesmo obtido misturando-se metanol com NaOH, a reação de transesterificação foi realizada na razão molar 1:6 (óleo: metóxido). O metóxido foi adicionado ao óleo de cozinha à temperatura ambiente com agitação constante, por 30 minutos. Em seguida a mistura reacional foi transferida para um funil de separação, permanecendo em repouso por 1 hora, visando separar as fases biodiesel/glicerina. Decorridos esse tempo, a glicerina foi retirada e o biodiesel foi purificado, lavando-se inicialmente com água destilada, alternando lavagens com água à temperatura ambiente e a

45 °C, para remoção dos produtos da saponificação, sais de ácidos graxos, glicerina e hidróxido de sódio, uma vez que está água com uma temperatura diferenciada ajuda a carrear metais com mais facilidade. Após a lavagem, o biodiesel foi levado à estufa, numa temperatura de 110 °C durante um tempo de 20 minutos, para remoção da umidade.

Análise físico-química do óleo de soja e biodiesel de soja.

As caracterizações físico-químicas do óleo de cozinha e do biodiesel produzido a partir do óleo de cozinha usado após a transesterificação foram listadas a seguir: a) Viscosidade: foi medida utilizando um tubo viscosimétrico cinemático Cannon Fensk 350 em banho térmico Kohler KV3000 de acordo com a norma NBR 10441; b) Teor de água: foi medido em um aparelho de Karl Fischer da marca Metrohm 831 KF coulometer, segundo norma ASTM 6304; c) A massa específica foi medida pelo método ASTM D1298 ou equivalente, que consiste na medição com hidrômetro ou picnômetro a uma temperatura de referência, normalmente 20 °C; d) Índice de Acidez: foi medido pela NBR 14448, por meio da titulação potenciométrica; e) Índice de lodo foi medido pela norma europeia EN 14214.

Espectroscopia na região do infravermelho (FTIR)

As análises de espectroscopia vibracional na região do infravermelho com a amostra do óleo e biodiesel foram realizadas em um Espectrômetro FTIR Bomem MB Series B 100 e cela de ATR com cristal de ZnSe e ângulo de 45°. Empregou-se a técnica de transmissão (pastilha de KBr e janela de NaCl) e reflexão total atenuada com cela de ATR com cristal de ZnSe, no intervalo espectral de 4000 a 400 cm⁻¹.

Métodos de oxidação acelerada

Para realização das análises de estabilidade oxidativa do óleo de cozinha usado foram utilizadas as técnicas de Rancimat e PetroOXY, sendo estas análises realizadas na Universidade Federal do Piauí (UFPI), Departamento de Química.

Rancimat

Para avaliação da estabilidade à oxidação do biodiesel, foi usado o método padronizado pela norma EN 14112, adotado no Brasil pela ANP. O equipamento utilizado nos ensaios foi o Rancimat, marca Metrohm, modelo 743. No método, 3 g de amostra foram envelhecidas por um fluxo de ar (10 L/h a 110 °C) em célula de medição abastecida por água bidestilada e deionizada. O tempo de indução foi determinado pela medida da condutividade.

PetroOXY

As análises das amostras foram realizadas no equipamento petrotest 413, adicionando 5,0 mL da amostra a temperatura ambiente e pressurizado com atmosfera de oxigênio a 101,5 psi (aproximadamente a 700 kPa), após a adição da amostra elevou-se a temperatura até 110 °C a uma pressão máxima que varia conforme a natureza da amostra.

No método PetroOXY, a câmera então recebe o fluxo de O₂ a uma Pi de 700 kPa o que eleva a pressão interna até um limite máximo registrado pelo equipamento. A partir do ensaio pode-se construir uma curva de PxT, cujo período de indução corresponde o tempo necessário para se observar uma queda de 10% em relação à pressão máxima inicialmente alcançada no teste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização físico-química do óleo de cozinha usado e do biodiesel produzido a partir do óleo de cozinha usado.

A qualidade da matriz energética empregada no escopo deste trabalho foi avaliada a partir de parâmetros físico-químicos fundamentais, conforme ilustrado na Tabela 1, com base nas normas estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). A análise contemplou tanto o óleo de cozinha usado (matéria-prima) quanto o biodiesel produzido a partir desse resíduo, alinhando-se às diretrizes da transição energética e da economia circular. No atual contexto de busca por fontes renováveis mais sustentáveis e pela redução da dependência de combustíveis fósseis, o reaproveitamento de óleo de cozinha usado na produção de biodiesel surge como alternativa promissora, não apenas por reduzir os impactos ambientais do descarte inadequado desses resíduos, mas também por contribuir para uma matriz energética mais limpa. Contudo, apesar dos avanços na tecnologia de produção, desafios ainda persistem em termos da estabilidade oxidativa do biocombustível.

Os resultados obtidos demonstram que, embora os demais parâmetros físico-químicos do biodiesel produzido estejam em conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução ANP nº 45/2014 (atualizada em 2023), a estabilidade oxidativa, com valor de 5,23 horas, está significativamente abaixo do mínimo exigido de 13 horas. Essa limitação pode ser atribuída à elevada concentração de ésteres de ácido linoleico (linoleatos), compostos altamente insaturados e, portanto, mais suscetíveis à oxidação. Esse dado é particularmente relevante à luz das metas internacionais de descarbonização e das exigências técnicas de desempenho de combustíveis renováveis.

A baixa estabilidade oxidativa compromete não apenas o tempo de armazenamento e a eficiência do biodiesel, mas também a viabilidade de sua inserção em larga escala no sistema energético nacional, principalmente em regiões com altas temperaturas médias, como o Nordeste brasileiro. Diante disso, estratégias tecnológicas vêm sendo discutidas e testadas, como a adição de antioxidantes naturais (por exemplo, extratos vegetais ricos em compostos fenólicos), o refinamento do processo de transesterificação, e o controle mais rigoroso das condições de estocagem, com vistas a elevar a qualidade do biodiesel e sua competitividade frente ao diesel mineral.

Assim, este trabalho não apenas confirma a viabilidade técnica da produção de biodiesel a partir de óleo de cozinha usado, como também evidencia a necessidade de soluções inovadoras e normativas mais ajustadas à realidade da produção descentralizada de biocombustíveis no Brasil, especialmente em um cenário onde sustentabilidade, eficiência energética e segurança ambiental são prioridades globais.

Parâmetros	Unidade	Óleo de cozinha	Biodiesel do óleo de cozinha
Massa específica	kg m ⁻³	891,2	884,4
Viscosidade cinemática a 40 °C	mm ² s ⁻¹	36,8	4,12
Teor de água	mg kg ⁻¹	80,15	87,16
Índice de acidez	mg KOH g ⁻¹	0,14	0,15
Índice de iodo	gl ₂ /100 g	110,9	110,9
Índice de peróxido	meq Kg ⁻¹	0,0	1,99
Estabilidade à oxidação a 110 °C (RANCIMAT)	h	10,4	5,23
Estabilidade à oxidação a 110 °C (PETROOXY)	h	1,43	0,76

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos do óleo de cozinha usado e biodiesel a partir do óleo de cozinha usado.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O óleo usado apresenta coloração alaranjada e aspecto mais denso, característico de um resíduo antes do tratamento químico. O biodiesel de soja tem coloração amarelo-clara, aspecto límpido e homogêneo, indicando a eficiência do processo de transesterificação. As mudanças observadas nas propriedades visuais são indicativas

das transformações físico-químicas decorrentes do processo de transesterificação, que resultam em um combustível com propriedades otimizadas em relação ao óleo residual.

Essa transformação não comprova apenas a viabilidade técnica da conversão de resíduos em biocombustíveis, como também se insere em um contexto mais amplo de sustentabilidade e economia circular. Em um cenário global marcado pelas mudanças climáticas e pela busca por fontes energéticas alternativas ao petróleo, a valorização de resíduos como o óleo de cozinha usado representa uma solução ambiental e econômica.

Cabe frisar que nos centros urbanos, o descarte inadequado desse resíduo causa sérios impactos ambientais, como o entupimento de redes de esgoto e a contaminação de corpos hídricos. A conversão em biodiesel, por outro lado, representa uma estratégia de reaproveitamento eficiente, que transforma um passivo ambiental em ativo energético. Além disso, a produção descentralizada de biodiesel a partir de resíduos domésticos ou comerciais contribui para a redução da pegada de carbono e estimula práticas sustentáveis na cadeia de consumo. Essa abordagem está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os que tratam de energia limpa e acessível (ODS 7), consumo e produção responsáveis (ODS 12) e ação contra a mudança global do clima (ODS 13) (Nações Unidas, 2025).

Determinação da composição em ácidos graxos por cromatografia gasosa.

Os ésteres metílicos foram analisados por Cromatografia Gasosa (CG-FID), onde objetivou-se determinar e quantificar a conversão do óleo, em teor de ésteres. De acordo com a análise cromatográfica do biodiesel de soja, obteve-se a seguinte composição: ácido palmítico C16:0 (10,98%), ácido esteárico C18:0 (3,41%), ácido oleico C18:1 (23,69%), ácido linoleico C18:2 (56,27%), ácido linolênico C18:3 (5,77%), o que corrobora com os dados da literatura (De Sousa et al., 2014; Sánchez et al., 2015; Van Der Westhuizen; Focke, 2018).

Esteres de Ácidos Graxos	Número de carbono	Teor de ésteres (%)
Hexadecanoato (Palmítico)	C16:0	10,98
Octadecanoato (Esteárico)	C18:0	3,41
9-Octadecadienoato (Oleico)	C18:1 (9)	23,69
9,12-Octadecadienoato (Linoléico)	C18:2 (9,12)	56,27
9,12, 15-Octadecatrienoato (Linolênico)	C18:3 (9,12, 15)	5,77

Tabela 2. Composição de ésteres de ácidos graxos no óleo de cozinha usado.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Foi observada a presença de um elevado teor de ácidos graxos insaturados (Tabela 2), característica química indesejável incorporada ao biocombustível, favorecendo os processos de oxidação que conduzem a formação de peróxidos e hidroperóxidos que diminuem a sua estabilidade (Grieshop; Fahey, 2001; De Sousa et al., 2014).

Análises de viscosidade e teor de água do óleo e biodiesel obtido.

A caracterização físico-química do óleo residual e do biodiesel obtido é essencial para avaliar a qualidade do produto final e sua conformidade com os padrões estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP). Entre os parâmetros analisados, destacam-se a viscosidade e o teor de água, pois influenciam diretamente no desempenho e na estabilidade do combustível. A Tabela 3 apresenta os resultados dessas análises, evidenciando uma redução significativa na viscosidade após a conversão do óleo em biodiesel.

Amostras	Viscosidade	Teor de água
Óleo usado	34,9 mm ² /s	70 mg kg ⁻¹
Biodiesel	4,29 mm ² /s	79 mg kg ⁻¹

Tabela 3. Análises de viscosidade e teor de água

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A mudança da viscosidade do biodiesel, está relacionada as interações intermoleculares e intramoleculares, ao tamanho das cadeias carbônicas, ao número de insaturações e das conformações cis de alguns mono-alquil ésteres de ácidos graxos como por exemplo o oléico, linoléico e linolênico. O resultado da viscosidade do biodiesel a partir do óleo de cozinha usado foi de acordo com o limite estabelecido pela ANP.

Assim, é importante destacar que tanto o óleo como o biodiesel permaneceram dentro do limite estabelecido pela ANP, 200 mg kg⁻¹, em relação ao teor de água. Os resultados evidenciam que a adição de antioxidantes naturais foi favorável na manutenção da qualidade do biodiesel metílico de soja.

Espectroscopia vibracional na região do infravermelho para o óleo de soja

Identificou-se a natureza química dos constituintes do óleo de soja por espectroscopia de absorção na região do infravermelho, sendo que o espectro da Figura 1, apresentou as seguintes bandas de absorções: uma banda em 3015 cm⁻¹

no espectro do óleo se refere à vibração de estiramento da ligação CH (sp^2). Na região de 2926-2929 cm⁻¹ e em 2851-2856 cm⁻¹ referem-se, respectivamente, às vibrações de estiramentos assimétricos (CH₂) e simétricos (CH₂), a banda em torno de 1747 cm⁻¹ é referente à vibração de estiramento da carbonila (C=O) e uma vibração de estiramento característico de C-O-C em torno de 1170-1250 cm⁻¹. (Silverstein et al., 2007; Pavia et al., 2010).

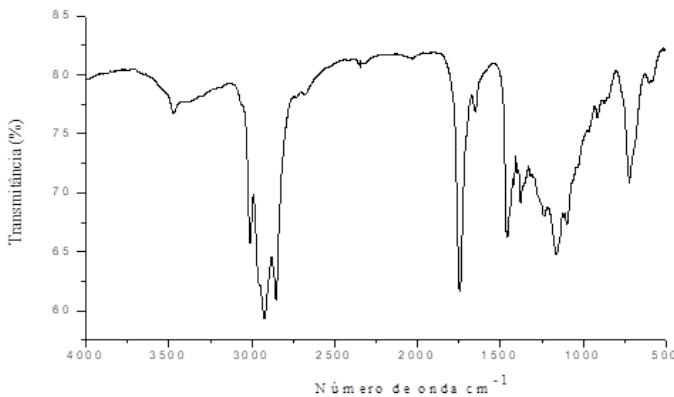


Figura 1. Espectro vibracional na região do infravermelho do óleo de soja, obtido em pastilha de KBr.

Fonte: Obtido pelos autores (2025).

Além disso, o padrão das bandas reforça a integridade da amostra, sem muitos sinais evidentes de oxidação avançada, como a ausência de estiramento amplo de ligações O-H na região de 3300-3600 cm⁻¹. Esses resultados são importantes tanto para avaliar a qualidade do óleo utilizado quanto para prever seu comportamento na reação de transesterificação. Assim, o espectro confirma que o óleo possui perfil químico compatível com sua aplicação na produção de biodiesel, embora a presença de insaturações o torne mais propenso à degradação oxidativa, especialmente em condições de exposição ao ar, luz ou calor por longos períodos (Conceição, 2017).

Espectroscopia vibracional na região do IV para o biodiesel de soja.

Os espectros do biodiesel apresentam semelhanças aos dos óleos devido à estrutura básica semelhante entre os triacilglicerídeos (presentes no óleo) e os ésteres (formados no biodiesel). Entretanto, as diferenças químicas entre ambos

são evidenciadas pelas bandas de absorção específicas identificadas nos espectros (Gomes Range et al., 2021).

A espectroscopia de absorção no infravermelho foi utilizada para identificar a natureza química dos constituintes do biodiesel de soja (Figura 2). A presença de longas cadeias carbônicas é verificada pela vibração C-H de alifáticos entre 3015 e 2857 cm⁻¹, sendo que a banda em 3015 cm⁻¹ é referente a uma vibração de estiramento CH (sp^2), em torno de 2932 cm⁻¹ é observado uma vibração de estiramento assimétrico CH (sp^3) e em 2857 cm⁻¹ uma vibração de estiramento simétrico. A análise de infravermelho referente ao biodiesel confirmou a presença da banda vibracional em 1740 cm⁻¹ de intensidade forte atribuída à vibração de estiramento da carbonila (C=O), característica dos ésteres, este espectro ainda possui uma vibração de estiramento característico de C-O-C em torno de 1170-1250 cm⁻¹ (Silverstein et al., 2007; Pavia et al., 2010).

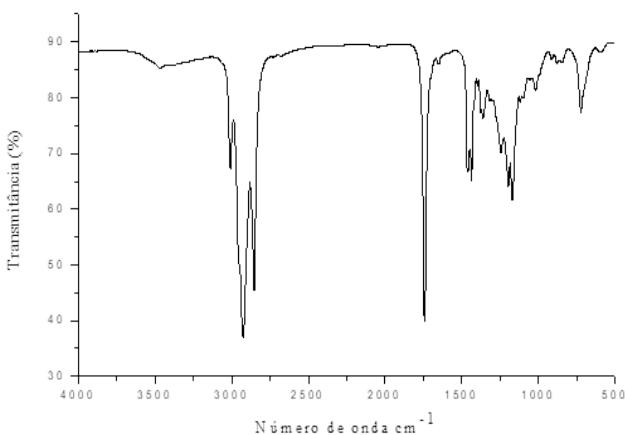


Figura 2. Espectro vibracional na região do infravermelho do biodiesel, obtido em pastilha de KBr.

Fonte: Obtido pelos autores (2025).

Portanto, os resultados espectroscópicos demonstram que houve a confirmação da composição química do biodiesel de soja, evidenciando a conversão dos triacilglicerídeos em ésteres metílicos, com longas cadeias de hidrocarbonetos e grupos funcionais típicos de ésteres.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostrou-se relevante e promissora, pois de fato observou-se que a população de Valença do Piauí foi sensibilizada quanto a como fazer o descarte do óleo de cozinha usado e a importância do reaproveitamento, representando uma alternativa energética sustentável, reduzindo rejeitos e apoioando os compromissos ambientais assumidos pelo Brasil. Uma vez que os impactos ambientais recaem de forma desigual sobre diferentes grupos sociais, é necessário que a geração de energia incorpore critérios de equidade e se adapte às realidades socioambientais locais.

Além disso, foi observado a eficácia do uso do óleo de cozinha como uma fonte alternativa para a produção do biodiesel, uma vez que qualquer ácido graxo pode servir de matéria-prima para a produção desse biocombustível.

A análise do perfil cromatográfico do biodiesel proveniente do óleo de cozinha usado mostrou a predominância de ácido linoléico, seguido pelo ácido oleico e outros ácidos insaturados, o que confirma seu potencial para essa aplicação.

Os parâmetros físico-químicos do biodiesel metílico proveniente do óleo de cozinha encontraram-se dentro dos limites permitidos pela ANP, indicando a necessidade de adição de antioxidantes para maior durabilidade do combustível. Ainda assim, outros indicadores importantes, como o teor de água e a viscosidade cinemática, permaneceram dentro dos limites aceitáveis, demonstrando que o produto apresenta características adequadas para uso como biocombustível.

A espectroscopia no infravermelho confirmou a presença de grupos funcionais típicos tanto no óleo quanto no biodiesel de soja. No óleo, destacam-se bandas de C=O, C-H e C–O–C, com baixa evidência de oxidação. Já no biodiesel, a banda intensa de C=O e a presença de longas cadeias alifáticas indicam a eficácia da conversão dos triacilglicerídeos em ésteres metílicos. Os resultados evidenciaram a qualidade e as propriedades químicas do biocombustível obtido.

Dessa forma, a produção de biodiesel a partir do óleo de cozinha usado demonstra elevado potencial socioambiental, ao transformar um resíduo de alto impacto em uma fonte energética limpa. Essa prática contribui para a redução dos danos ambientais associados ao descarte inadequado do óleo, ao mesmo tempo em que fortalece iniciativas de sustentabilidade regional e incentiva modelos locais de economia circular.

AGRADECIMENTOS

Expressa-se profunda gratidão ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento desta pesquisa e ao Instituto Federal do Piauí (IFPI) e à Universidade Federal do Piauí (UFPI) por fornecerem as instalações e o suporte necessários para a realização e desenvolvimento durante esse estado, uma vez que o apoio dessas instituições foram fundamentais para os resultados deste projeto.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

AMC, AVCS: Análise formal, Redação – Rascunho original, Visualização. **JCM, AFPA, MASC, LSS, CVRM, EDM:** Investigação, Validação, Curadoria de dados, Conceituação, Metodologia, Software Revisão e edição, Aquisição de financiamento, Administração do projeto, Recursos, Supervisão. Todos os autores contribuíram de forma ativa na discussão dos resultados, revisaram e aprovaram a versão final do artigo.

CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram que não têm interesse comercial ou associativo que represente um conflito de interesses em relação ao manuscrito.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário Estatístico 2018.** Rio de Janeiro: ANP, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2023.** Rio de Janeiro: ANP, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp>.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução nº 798, de 1º de agosto de 2019. Altera a Resolução ANP nº 45, de 25 de agosto de 2014, para determinar a obrigatoriedade da aditivação do biodiesel com antioxidante e estabelecer novo limite de especificação da característica estabilidade à oxidação. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 ago. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Resolução ANP nº 920, de 4 de abril de 2023. Estabelece a especificação do biodiesel e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos agentes econômicos que comercializem o produto em território nacional. **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, 5 abr. 2023. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-920-2023>. Acesso em: 28 jan. 2025.

BHARTI, R.; SINGH, B. Green tea (*Camellia assamica*) extract as an antioxidant additive to enhance the oxidation stability of biodiesel synthesized from waste cooking oil. **Fuel**, 2020.

CONCEIÇÃO, R.C. **Estudo da avaliação térmica e oxidativa do óleo, biodiesel e de**

misturas biodiesel/diesel de espécies amazônicas. 2017. Tese (Doutorado em Química). Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, 2017.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S.; RAMOS, L. P.; Zagonel, G. F.; Produção de biocombustíveis alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Quim. Nova**, v. 23, p. 531, 2000.

DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L.; RAMPIN, M. A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 776–792, 2009.

DE SOUSA, L. S. et al. Use of natural antioxidants in soybean biodiesel. **Fuel**, 2014.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologia de Produção de Soja – Paraná 2010.** Londrina, PR, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/469684/tecnologias-de-producao-de-soja---parana-2007>. Acesso em: 20 fev. 2025

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico De Energia Elétrica 2020.** EPE, 2020.

ENCINAR, J. M.; GONZÁLES, J. F.; RODRÍGUES, J. J.; TEJEDOR, A.; Biodiesel fuels from vegetable oils: Transesterification of *Cynara cardunculus* L. oils with ethanol. **Energy Fuels**, v. 16, p. 443, 2002.

GOLDEMBERG, J. Energias renováveis: um futuro sustentável. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 7–22, 2007.

GOMES RANGEL, J. H.; OLIVEIRA, M. M.; SILVA, M. R.; LUNA, F. M. T.; MAZZETTO, S. E. Avaliação da estabilidade oxidativa de amostras de biodiesel derivadas dos óleos de buriti, babaçu e pequi por espectroscopia UV-Vis. **Acta Tecnológica**, São Luís, v. 14, n. 1, p. 11–25, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ifma.edu.br/index.php/actatecnologica/article/view/555>. Acesso em: 14 fev. 2025.

GRIESHOP, C. M.; FAHEY, G. C. Comparison of quality characteristics of soybeans from Brazil, China, and the United States. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 2001.

HUSAIN, S. A. et al. Assessment of waste cooking oil biodiesel as an alternative fuel for diesel engines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 33, p. 624–633, 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: IPCC, 2023.

KNOTHE, G. Biodiesel and Renewable Diesel: Advances and Comparisons. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 91, p. 101020, 2022.

KNOTHE, G. **Biodiesel and Renewable Diesel: Chemistry, Properties, and Performance**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2021.

KUMAR, D.; SINGH, B. Effect of winterization and plant phenolic-additives on the cold-flow properties and oxidative stability of Karanja biodiesel. **Fuel**, 2020.

LAM, M. K.; LEE, K. T.; MOHAMED, A. R. **Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: A review** *Biotechnology Advances*, 2010.

LEITE, R. C. C; LEAL, M. R. L. V. L. O biocombustível no Brasil. **Novos estudos- CEBRAP**, São Paulo, n. 78, jul. 2007. Disponível em:<https://www.scielo.br/j/nec/a/8FyQn8jGsFVfzGZyst4CWbc/>. Acesso em: 23 mai. 2025.

MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E. A.; SILVA, J. E. A. R. Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 7, p. 582–595, 2008.

MOSER, B. R. Influence of fatty acid composition on biodiesel fuel properties and oxidation stability: A review update. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 157, p. 112026, 2022.

MONYEM, A.; VAN GERPEN, J. H. The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. **Biomass & Bioenergy**, v. 20, p. 317-325, 2001.

MORAIS, M. M.; PINTO, L. A. A.; ORTIZ, S. C. A.; CREXI, V. T.; SILVA, R. L.; SILVA, J. D., **Estudo do processo de refino do óleo de pescado**. Instituto Adolfo Lutz, v. 60(1), 2001.

MORETTO, E.; R. FETT. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela, 1998.

MOSER, B. R. Influence of fatty acid composition on biodiesel fuel properties and oxidation stability: A review update. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 157, p. 112026, 2022.

NAÇÕES UNIDAS. **Relatório dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2025**. Brasília: ONU Brasil, 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/298029-relatório-dos-objetivos-de-desenvolvimento-sustentável-2025>. Acesso em: 12 ago. 2025

OLIVEIRA, C. M. R.; ANDRADE, P. C. A.; SANTOS, M. S. F. Análise dos pontos de coleta do óleo vegetal residual no Brasil para a logística reversa. **Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares**, [S. l.], v. 3, p. 1–13, 2022. Disponível em: <https://seer.sis.puc-campinas.edu.br/sustentabilidade/article/view/5830>. Acesso em: 14 jan. 2025.

OLIVEIRA, E. M. S. de. **Estudo de produção e caracterização de biodiesel produzido por transesterificação com catalisadores: tris-dodecilsulfato de cério(III), CeHUSY e KF/MgO**. 2012. 109 f. Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Instituto de Química, Brasília, DF. Orientador: Silvia Cláudia Loureiro Dias.

OLIVEIRA, J. R.; ANDRADE, M. F.; SANTOS, P. C. Aproveitamento de óleos vegetais residuais: uma alternativa sustentável para o meio ambiente. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 15, p. 102–113, 2020.

PAVIA, D.L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G.S.; VYVYAN, J. R.; **Introdução a espectroscopia**. Tradução da 4º edição norte americana, São Paulo, 2010.

RAMOS, L. P. et al. Advances in Biodiesel Production and Utilization in Brazil: Feedstocks, Technologies, and Policies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 181, p. 113495, 2023.

REDA, S. Y., P. I. B. CARNEIRO. Óleos e gorduras: aplicações e implicações. **Revista Analytica**, v. 27, p. 60-67, 2007.

REZENDE, D. R., SOUZA, L. F., NUNES, D. E. B. M. R., ZUPPA, T. O., ANTONIOSI FILHO, N. R. **Caracterização de ácidos graxos e triacilglicerídeos de óleos vegetais com potencial econômico de produção de biodiesel na Região Centro-Oeste**. I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, v. 1, 2006.

RINALDI, R.; GARCIA, C.; MARCINIUK, L. L.; ROSSI, A. V.; SCHUCHARDT, U. **Quím. Nova**, v. 30, n. 5, p.1374-1380, 2007.

RODRIGUES, J. S. et al. Comparative study of synthetic and natural antioxidants on the oxidative stability of biodiesel from Tilapia oil. **Renewable Energy**, 2020.

SÁNCHEZ, N. et al. Complete analysis of castor oil methanolysis to obtain biodiesel. **Fuel**, 2015.

SANTOS, A. G.; SOUZA, R. C.; PEREIRA, R. G. Oxidative Stability of Biodiesel: Influence of Feedstock, Additives, and Storage Conditions. **Fuel**, v. 301, p. 121047, 2021.

SHARMA, A.; KUMAR, N.; SINGH, B. Oxidation stability of biodiesel: Current understanding and future prospects. **Fuel Processing Technology**, v. 245, p. 107707, 2023.

SOUZA, D. A. et al. Trends and Challenges in the Brazilian Biodiesel Sector: Feedstock Diversification and Sustainability Pathways. **Energy Reports**, v. 10, p. 121–134, 2024.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J., **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos**. 7^a ed, Rio de Janeiro: LTC, 2007.

THODE FILHO, S. et al. Impactos ambientais do descarte inadequado de óleo de cozinha e alternativas para sua reutilização. **Revista de Engenharia Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 97–106, 2014

VAN DER WESTHUIZEN, I.; FOCKE, W. W. Stabilizing sunflower biodiesel with synthetic antioxidant blends. **Fuel**, 2018.