TÉCNICAS DE ENCAPSULAMENTO DO ÓLEO DE ANDIROBA (*Carapa guianensis* AUBL.) VISANDO A EFICÁCIA DE ATIVIDADES CICATRIZANTES E ANTI-INFLAMATÓRIAS

Encapsulation techniques of andiroba oil (*Carapa guianensis* aubl.) aiming at the effectiveness of wound-healing and anti-inflammatory activities

Técnicas de encapsulación del aceite de andiroba (*Carapa guianensis* aubl.) con el objetivo de potenciar su eficacia cicatrizante y antiinflamatoria

DOI: 10.23900/artefactum.v25i2.2724
Submitted on: 4.29. 2026
Accepted on: 5.5. 2026
Published on: 5.25.2026

Bruna Oliveira de Souza
Graduanda em Farmácia
E-mail: oliveira.bruna0903@gmail.com

Crysllen Richelle da Silva Oliveira
Graduanda em Farmácia
E-mail: crysllenrichelle@gmail.com

Elissandra Praia Pereira
Graduanda em Farmácia
E-mail: elissandra.ppereira@gmail.com

Isabelle Maximo do Nascimento
Graduanda em Farmácia
E-mail: aliceisa47@gmail.com

Reginaldo da Silva Costa
Pós-graduado em Farmacologia Clínica e Análises Clínicas
E-mail: reginaldo.costa@fametro.edu.br

Karin Krystina Maximo do Nascimento
Doutora em Inovação Farmacêutica
E-mail: karinkrystina@hotmail.com

RESUMO
O óleo de andiroba (Carapa guianensis Aubl.) destaca-se na região amazônica por suas propriedades anti-inflamatória, cicatrizante e cosmética, sendo amplamente utilizado de forma tradicional. Entretanto, sua aplicação direta pode apresentar limitações relacionadas à instabilidade físico-química, susceptibilidade à oxidação e redução da eficácia biológica, o que justifica a busca por alternativas tecnológicas que ampliem seu potencial terapêutico. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar, por meio de revisão integrativa da literatura, as principais técnicas de encapsulamento do óleo de andiroba e suas aplicações farmacêuticas e cosméticas. O levantamento bibliográfico foi realizado

entre agosto e outubro de 2025, nas bases Google Acadêmico, SciELO, PubMed e Scopus, utilizando descritores relacionados ao óleo de andiroba e encapsulamento. Após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 44 artigos compuseram a amostra final. Os resultados evidenciaram predominância de estudos com nanoemulsões, seguidos por filmes poliméricos e sistemas lipossomais. De modo geral, as formulações encapsuladas apresentaram maior estabilidade, menor citotoxicidade, melhora da biodisponibilidade e potencialização das atividades anti-inflamatória e cicatrizante em comparação ao óleo livre. Conclui-se que o encapsulamento representa alternativa promissora para valorização do óleo de andiroba e para o desenvolvimento de produtos farmacêuticos e cosméticos mais eficazes, embora novos estudos clínicos ainda sejam necessários.

Palavras-chave: andiroba, *Carapa guianensis*, encapsulamento, cicatrização.

ABSTRACT

Andiroba oil (Carapa guianensis Aubl.) stands out in the Amazon region for its anti-inflammatory, healing, and cosmetic properties, being widely used in traditional practices. However, its direct application may present limitations related to physicochemical instability, susceptibility to oxidation, and reduced biological effectiveness, which justifies the search for technological alternatives capable of enhancing its therapeutic potential. In this context, the present study aimed to analyze, through an integrative literature review, the main encapsulation techniques of andiroba oil and their pharmaceutical and cosmetic applications. The bibliographic survey was carried out between August and October 2025 in the databases Google Scholar, SciELO, PubMed, and Scopus, using descriptors related to andiroba oil and encapsulation. After applying the inclusion and exclusion criteria, 44 articles composed the final sample. The results showed a predominance of studies involving nanoemulsions, followed by polymeric films and liposomal systems. In general, encapsulated formulations showed greater stability, lower cytotoxicity, improved bioavailability, and enhanced anti-inflammatory and healing activities when compared to free oil. It is concluded that encapsulation represents a promising alternative for the valorization of andiroba oil and for the development of more effective pharmaceutical and cosmetic products, although further clinical studies are still necessary.

Keywords: andiroba, *Carapa guianensis*, encapsulation, wound healing.

RESUMEN

El aceite de andiroba (Carapa guianensis Aubl.) destaca en la región amazónica por sus propiedades antiinflamatorias, cicatrizantes y cosméticas, y se utiliza ampliamente de forma tradicional. Sin embargo, su aplicación directa puede presentar limitaciones relacionadas con la inestabilidad físico-química, la susceptibilidad a la oxidación y la reducción de la eficacia biológica, lo que justifica la búsqueda de alternativas tecnológicas que amplíen su potencial terapéutico. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar, mediante una revisión integradora de la literatura, las principales técnicas de encapsulación del aceite de andiroba y sus aplicaciones farmacéuticas y cosméticas. La revisión bibliográfica se llevó a cabo entre agosto y octubre de 2025, en las bases de datos Google Académico, SciELO, PubMed y Scopus, utilizando descriptores relacionados con el aceite de andiroba y la encapsulación. Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, la muestra final quedó compuesta por 44 artículos. Los resultados pusieron de manifiesto un

predominio de estudios con nanoemulsiones, seguidos de películas poliméricas y sistemas liposomales. En general, las formulaciones encapsuladas presentaron mayor estabilidad, menor citotoxicidad, mejora de la biodisponibilidad y potenciación de las actividades antiinflamatoria y cicatrizante en comparación con el aceite libre. Se concluye que la encapsulación representa una alternativa prometedora para la valorización del aceite de andiroba y para el desarrollo de productos farmacéuticos y cosméticos más eficaces, aunque aún son necesarios nuevos estudios clínicos.

Palabras clave: andiroba, *Carapa guianensis*, encapsulación, cicatrización.

1 INTRODUÇÃO

A região amazônica é amplamente reconhecida por sua rica biodiversidade e pela variedade de recursos naturais com potencial terapêutico. Entre esses recursos, destaca-se o óleo de andiroba (Carapa guianensis Aubl.), amplamente utilizado pelas comunidades locais devido às suas conhecidas propriedades medicinais e curativas (Monteiro *et al.*, 2025).

Tradicionalmente, o óleo obtido das sementes da andiroba é empregado no tratamento de ferimentos, inflamações, hematomas, verminoses e infecções, além de ser aplicado em distúrbios respiratórios e doenças da garganta (Sousa *et al.*, 2022).

Nos últimos anos, o interesse científico por esse óleo tem crescido, impulsionado pela sua composição rica em ácidos graxos como oleico, linoleico, palmítico e esteárico, e em limonóides, compostos que apresentam propriedades antioxidantes, antimaláricas, anti-inflamatórias e até potenciais efeitos anticancerígenos (Monteiro *et al.*, 2023). Além disso, essa diversidade química torna o óleo de andiroba uma matéria-prima valiosa tanto para o desenvolvimento de produtos farmacêuticos quanto cosméticos, como cremes, sabonetes, loções e óleos corporais (Pena *et al.*, 2021).

Entretanto, a aplicação direta de óleos vegetais pode apresentar limitações, como instabilidade frente à luz, ao oxigênio e à umidade, fatores que comprometem sua eficácia e reduzem sua vida útil. Nesse contexto, o encapsulamento aparece como uma abordagem eficaz para proteger os compostos bioativos de um óleo, otimizar a liberação controlada e expandir suas utilizações nas áreas farmacêuticas e cosméticas, surgindo como uma estratégia importante na melhoria da estabilidade de óleos, sendo um procedimento eficaz para impedir que ocorra a oxidação, volatilização e à diminuição das suas atividades

biológicas (Nascimento *et al.*, 2025).

No sistema de encapsulamento, o óleo encapsulado é chamado de fase interna ou material do núcleo, enquanto que o material que reveste o núcleo é chamado de material de parede, cápsula, invólucro ou revestimento (Azeredo, 2008; Nascimento; Lima; Holanda, 2024). As técnicas usadas para o encapsulamento são divididas entre métodos químicos, físico-químicos e físicos, cada uma com vantagens específicas para a melhoria da estabilidade e da atividade biológica dos compostos (Majeed *et al.*, 2015).

Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão integrativa da literatura sobre técnicas de encapsulamento do óleo de andiroba e suas aplicações farmacêuticas e cosméticas diante do potencial terapêutico e cosmético do óleo de andiroba e das vantagens tecnológicas proporcionadas pelas técnicas de encapsulamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ANDIROBA

A espécie Carapa sp. pode ser classificada como de múltipla utilização, sendo a madeira e o óleo extraído de suas sementes os produtos de maior relevância (Dias *et al.*, 2023). A madeira obtida desta planta é reconhecida por sua boa qualidade e resistência a insetos, enquanto o óleo extraído das sementes é amplamente requisitado para aplicações medicinais e cosméticas, o que tem levado ao aumento de sua exploração extrativista (Mendonça; Ferraz, 2007). O óleo da semente de andiroba serve como matéria-prima para produtos farmacêuticos e cosméticos e é exportado do Brasil para muitos países (Mendonça *et al.*, 2020).

Na região Amazônica, a espécie em destaque é a Carapa guianensis Aubl., comumente denominada andirobeira. Trata-se de uma árvore de grande porte, capaz de alcançar até 55 metros de altura. A porção do tronco, que se estende das raízes em direção aos ramos, apresenta-se cilíndrica e reta. A casca é espessa e apresenta sabor amargo, variando em coloração entre avermelhada e acinzentada. Além disso, as folhas são disposicionadas de forma alternada, são compostas, possuem margens inteiras e têm coloração esverdeada (Higuchi *et al.*, 2017).

O fruto da andiroba apresenta-se na forma de um ouriço de coloração marrom e, ao

atingir a maturidade, é desprendido das árvores, caindo ao solo. O impacto resultante dessa queda provoca a abertura do fruto, liberando entre 4 a 16 sementes, as quais são ricas em óleo (Fonseca *et al.*, 2024). Os resíduos das sementes de andiroba foram estudados para a fabricação de carvão ativado, devido à sua área de superfície específica e à sua porosidade. É fundamental ressaltar que os compostos fenólicos, os quais têm características antioxidantes, podem ser obtidos a partir da torta residual da semente de andiroba. (Serafin *et al.*, 2022).

A extração manual do óleo de andiroba apresenta variações conforme as práticas culturais e o saber acumulado de cada comunidade. Entretanto, as etapas de coleta e seleção das sementes, o preparo da massa e a extração do óleo são executadas por todos os integrantes da comunidade (Paixão *et al.*, 2016).

O óleo de andiroba é predominantemente constituído por compostos saponificáveis, apresentando uma elevada porcentagem de ácidos graxos insaturados e saturados, sendo notáveis o ácido palmítico, o ácido oleico (aproximadamente 50%) e o ácido linoleico, que despertam considerável interesse por parte da indústria cosmética (Mendonça *et al.*, 2015).

A fração não saponificável, que compreende entre 2% e 5%, é rica em substâncias amargas denominadas limonóides, carapanolídeos e carapanosinas as quais são reconhecidas por suas propriedades medicinais (Ambrozin *et al.*, 2006). Atribuem-se a esses compostos diversas atividades biológicas, incluindo ação cicatrizante, anti-inflamatória, anticancerígena e antimicrobiana (Silva; Oliveira; Figueiredo, 2009). Os limonóides, uma classe estruturalmente diversa de tetranortriterpenóides, são predominantemente encontrados na família Meliaceae e têm despertado o interesse de pesquisadores.

2.2 ENCAPSULAMENTO EM NANOEMULSÕES

A técnica de encapsulamento baseado em emulsões é desenvolvida para encapsular óleos de modo a aumentar a estabilidade físico-química e garantir a preservação dos compostos bioativos presentes de sofrerem reações que interfiram na eficácia da sua bioatividade (Zhou; Zheng; McClements, 2021).

O processo de encapsulamento envolve a combinação do núcleo (componente bioativo) com o surfactante (que tem a função de proteger o componente bioativo), sendo

possível controlar o tamanho da emulsão ao ajustar a proporção entre o surfactante e o óleo. É crucial escolher um agente emulsificante com base na sua segurança e compatibilidade com a matriz em que será inserido. Diversos tipos de surfactantes estão disponíveis, como os biopolímeros de elevado peso molecular (polissacarídeos), surfactantes de baixo peso molecular (catiônicos, aniônicos e não-iônicos) e fosfolipídios (Miastkowska *et al.*, 2020).

Uma atenção especial tem sido direcionada à nanoemulsões, pois está sendo cada vez mais utilizada para encapsular óleos. As nanoemulsões representam uma categoria de emulsões em escala nano e são um dos tipos de nanoencapsulação mais estudados na indústria farmacêutica e cosmética (Sampaio *et al.*, 2022).

Encapsular óleos em nanoemulsões é uma técnica eficaz para aumentar a capacidade antioxidante, a dispersão, a estabilidade e a solubilidade do óleo. Comparada a outras técnicas de encapsulamento, a emulsão se destaca como uma opção promissora, oferecendo uma reologia não tóxica e ajustável, além de emulsões fisicamente estáveis (Carvalho *et al.*, 2023; Sharma *et al.*, 2020).

Moraes e colaboradores (2018) desenvolveram nanoemulsões (NE) a partir de óleo de andiroba (Carapa guianensis Aubl.) e óleo de copaíba (Copaifera sp.) e chamaram de nanoandi e nanocopa, respectivamente. Eles avaliaram suas propriedades contra promastigotas e amastigotas intracelulares de L. infantum e L. amazonensis, além dos efeitos da administração oral das formulações em camundongos infectados. O diâmetro das gotas das NEs foi medido em 76 e 88 nm para nanocopa e nanoandi, respectivamente. Os pesquisadores notaram uma redução significativa na carga parasitária para as duas espécies analisadas quando expostas a nanoandi e nanocopa. Adicionalmente, observou-se uma redução nas dimensões das lesões e na carga parasitária do fígado e baço em camundongos tratados com NE. Na análise estrutural realizada por meio de microscopia eletrônica de varredura, foram identificadas modificações morfológicas, com formato oval e perda do flagelo nos parasitas promastigotas que receberam doses de NE superiores ao IC50.

Por fim, é possível inferir que a nanoemulsão produzida se mostrou promissora como sistema transportador, a encapsulação foi considerada uma boa estratégia para facilitar a aplicação desses óleos naturais e a potencializar suas ações que apresentaram atividades tanto in vivo como in vitro (Moraes *et al.*, 2018).

2.3 ENCAPSULAMENTO EM FILMES POLIMÉRICOS

Em geral, a adição de óleos em filmes é feita pela emulsão entre o óleo e os demais componentes da solução filmogênica, com o auxílio de um homogeneizador, com o uso ou não de emulsificantes, ou do óleo encapsulado. Todavia, a adição de óleos de forma direta pode impactar nas propriedades estruturais, mecânicas e de barreira dos filmes (Medeiros *et al.*, 2019).

Um estudo conduzido por Paiva *et al.* (2024), o óleo de andiroba foi encapsulado em um filme biodegradável de nanofibrilas de Cipó Titica (Heteropsis flexuosa) e avaliado como um agente funcionalizante. Primeiramente, as micro/nano fibrilas foram geradas por meio de fibrilação mecânica a partir de suspensões de fibras de H. flexuosa. Foram adicionadas proporções de 1%, 3% e 5% de óleo de andiroba para gerar filmes com concentrações de 1% (m/m). Suspensões contendo óleo de andiroba resultaram em uma maior viscosidade, além de modificações nas características físicas dos filmes.

A funcionalização utilizando óleo de andiroba resultou em filmes que apresentaram menor degradação em contato com a água, um ângulo de contato aumentado e uma redução na molhabilidade, mesmo com alta permeabilidade ao vapor d'água. Os filmes que continham 1% de óleo de andiroba mostraram uma característica de repelência à água e uma resistência superior à perfuração. Os filmes que continham 3% de óleo mostraram um aspecto mais claro e maior taxa de biodegradação. Em contrapartida, os filmes com 1% de óleo resultaram em uma aparência mais turva, apresentando uma temperatura de degradação térmica superior e alta atividade antioxidante. Os autores concluíram que os filmes feitos a partir de fibras de H. flexuosa encapsulando o óleo de andiroba mostraram ser promissores para a embalagem de produtos leves e de baixa umidade, em razão de suas apropriadas propriedades térmicas e de barreira.

2.4 ENCAPSULAMENTO EM LIPOSSOMAS

Dentro das diferentes técnicas, os lipossomas têm sido muito empregados para encapsular óleos. Geralmente, os lipossomas são preparados através da mistura de lipídios em solventes orgânicos e posterior secagem através de evaporador rotativo, secagem por pulverização ou liofilização. Os fosfolipídios são os mais comumente usados na preparação

de lipossomas (Blanco *et al.*, 2023).

A constituição da membrana das vesículas lipídicas, incluindo a variedade de fosfolipídios, a relação molar entre o óleo e lipídios, o procedimento de preparação podem influenciar tanto o tamanho quanto a eficiência do encapsulamento em lipossomas (Has; Sunthar, 2020). Diversos óleos têm o potencial de reduzir as dimensões dos lipossomas, promover a uniformidade das dispersões lipossomais, aumentar a fluidez e minimizar a oxidação da bicamada lipídica. Adicionalmente, os lipossomas são capazes de preservar a fluidez do óleo, permanecendo estáveis a uma temperatura de 4 a 5°C por até 6 meses (Sherry *et al.*, 2013).

Amalraj e colaboradores (2020) encapsularam o bioativo β-cariofileno presente no óleo de copaíba em lipossomas. A eficiência de encapsulamento dos lipossomas foi superior a 81% com um tamanho de partícula variando de 450 – 700 nm. A formulação se manteve estável por 18 meses, porém, houve uma pequena redução no teor do β-cariofileno nesse intervalo de tempo, que não demonstrou ser estatisticamente significativo. Foi avaliado seu efeito na dor muscular de início tardio (DMIT) em humanos, por meio de um estudo randomizado, duplo-cego e controlado por placebo, que demonstrou que o consumo oral dessa nova formulação diminuiu de forma expressiva o escore de dor subjetiva (VAS), revelando seu potencial na prevenção da DMIT. Além do mais, foi percebida uma maior recuperação da intensidade da dor, da lesão muscular e ausência de efeitos colaterais, ficando evidente seu uso como um potencial tratamento alternativo no controle da dor. Desta forma, os autores sugeriram que lipossomas podem ser utilizados como sistemas de entrega de bioativos presentes em óleos vegetais.

2.5 ATIVIDADE CICATRIZANTE DE FORMULAÇÕES ENCAPSULADAS

2.5.1 Mecanismos gerais da cicatrização de feridas (fases: inflamatória, proliferativa, remodelamento)

A cicatrização é um fenômeno comum a todas as feridas, independentemente do agente causador, caracterizando-se como sistêmico e dinâmico, diretamente relacionado às condições gerais do organismo (Otsuka *et al.*, 2022). A cicatrização de feridas consiste em uma cascata de eventos celulares, moleculares e bioquímicos que ocorrem de maneira

precisa e coordenada, propiciando a reconstituição tecidual (Campos; Borges; Groth, 2007). Os mecanismos da cicatrização, em uma sequência ordenada de eventos, são categorizados em cinco elementos principais: inflamação, proliferação celular, formação do tecido de granulação, contração e remodelamento da ferida. Em 2007, houve uma reclassificação desse processo, apresentando-o em três fases didaticamente distintas: fase inflamatória, fase de proliferação (ou de granulação) e fase de remodelamento (ou de maturação) (Araujo; Farias; Santos, 2024).

Na fase inflamatória o processo de reparo concentra-se, inicialmente, na hemostasia vascular. A resposta inicial consiste em vasoconstrição, seguida pela formação de um trombo rico em plaquetas que, de maneira provisória, obstrui a lesão endotelial. Este trombo é posteriormente infiltrado por fibrina, o que resulta na formação de um trombo fibrinoso, onde ocorre a capturação de eritrócitos, culminando na formação do trombo vermelho (Santos; Costa; Oliveira, 2024).

Os mediadores liberados pelas plaquetas ativadas desempenham um papel fundamental na orientação da migração das células inflamatórias, que incluem polimorfonucleares, macrófagos e linfócitos, em direção ao local da lesão. Na fase de proliferação, observa-se um aumento na quantidade de fibroblastos ativados na área afetada, resultando na produção de colágeno (Montes *et al.*, 2009).

Nesse contexto, a matriz extracelular é progressivamente substituída por um tecido conjuntivo mais robusto e elástico, processo este denominado fibroplasia, que ocorre concomitantemente à angiogênese. Subsequentemente, inicia-se a formação do tecido de granulação (Bernadete, 2025). Na fase de remodelamento, o tecido de granulação é progressivamente enriquecido com fibras de colágeno, começando a adquirir a aparência típica de uma massa fibrótica associada à cicatriz. Por fim, ocorre um processo gradual de maturação e remodelagem da matriz extracelular (Balbino; Pereira; Curi, 2005).

2.5.2 Evidências pré-clínicas e clínicas do óleo de andiroba encapsulado

Está amplamente reconhecido na literatura que o óleo obtido das sementes de andiroba apresenta características anti-inflamatórias e de promoção de cicatrização. Quando utilizado diretamente sobre feridas, o óleo de andiroba pode contribuir para diminuir a inflamação, proporcionar alívio da dor e incentivar a cicatrização do tecido (Tuji *et al.*,

2023).

Monteiro e colaboradores (2025) desenvolveram e caracterizaram uma nanoemulsão à base de óleo fixo de andiroba que chamaram de NeAnd. Eles avaliaram se a nanoencapsulação do óleo de andiroba poderia influenciar suas propriedades citotóxicas e cicatrizantes. A biocompatibilidade foi avaliada usando queratinócitos humanos, devido ao seu importante papel na cicatrização de feridas. Os resultados demonstraram que incubações de 24 e 48 h de NeAnd e óleo de andiroba em queratinócitos não resultaram em citotoxicidade significativa nas concentrações avaliadas, exceto para o óleo não encapsulado a 360 ug/mL após 48 h, que reduziu a viabilidade celular em aproximadamente 25%. Esses resultados indicam a potencial biocompatibilidade de NeAnd com as células envolvidas no processo de cicatrização de feridas.

Vários estudos examinaram o uso do óleo de andiroba e sua citotoxicidade como o de Milhomem e colaboradores (2017) que desenvolveram uma nanoemulsão à base de andiroba e chegaram a conclusões parecidas ao estudo anterior. Eles destacaram que o óleo de andiroba puro apresentou toxicidade superior em comparação ao óleo encapsulado, notando uma relação direta entre a quantidade de óleo livre e sua citotoxicidade. Em trabalho realizado por Porfírio e colaboradores (2020) com o óleo de andiroba ficou demonstrado a citotoxicidade, mas não mutagenicidade em linhagem celular de câncer gástrico ACPP02. Concentrações altas de óleo de andiroba e tempos de exposição mais longos ao óleo livre levaram ao aumento da citotoxicidade.

2.6 EFEITO ANTI-INFLAMATÓRIO DE FORMULAÇÕES ENCAPSULADAS

2.6.1 Vias de sinalização inflamatória (NF-κB, MAPK, COX-2), modulação de citocinas inflamatórias (IL-1β, TNF-α, IL-6) e anti-inflamatórias (IL-10)

Pesquisas recentes indicam que as formulações encapsuladas, seja em nanoemulsões ou nanopartículas aprimoram a entrega de princípios ativos e aumentam os efeitos anti-inflamatórios observados em compostos naturais e medicamentos (Kumari *et al.*, 2022).

Ensaios realizados em células e em animais, nanoformulações de compostos vegetais como o carvacrol que diminuiram a ativação de MAPK p38 (Mitogen-Activated

Protein Kinase) que está ligada a inflamação, bem como da ERK (Extracellular signal-Regulated Kinase) Além do mais, a nanoformulação reduziu a expressão de VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor) e CD31 (Cluster of Differentiation 31) em células A549, tanto in vitro quanto in vivo. O estudo in silico também demonstrou a ligação do carvacrol à COX-2 e ao VEGF nos sítios ativo e alostérico do CD31 com baixa energia de ligação (Khan *et al.*, 2019).

No estudo de Penido e colaboradores (2006), uma fração de tetranortriterpenóides (TNTP) isolada das sementes de andiroba foi administrada oralmente em camundongos com artrite induzida por zymosan. Foi observado a inibição do influxo de leucócitos, redução de TNF-α, IL-1β e CXCL8/IL-8 nos tecidos afetados. Além disso, ficou demonstrado uma inibição da translocação do NF-κB para o núcleo em macrófagos peritoneais estimulados com zymosan. Foi observado que o óleo de andiroba possui alta atividade anti-inflamatória e antialérgica, causando inibição in vivo do edema em camundongos, por depleção das vias de sinalização que promovem o fator ativador plaquetário bradicinina e histamina. Esses compostos foram responsáveis por inibir os mediadores inflamatórios: mediadores eosinofilotáticos CCL11/eotaxina e interleucina IL-5 e a citocina IL-1β e TNF-, efeito mediado pela ativação do NF-κB. Os autores também concluíram que limonóides presentes no óleo de andiroba contribuiram para a redução de muitas populações de células, como linfócitos T, eosinófilos e mastócitos, prejudicando a alergia e a inflamação (Henriques; Penido, 2014).

3 METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, com abordagem sistematizada de busca. O levantamento eletrônico de dados foi realizado no período de agosto a outubro de 2025, sendo selecionados artigos publicados a partir do ano de 2010, indexados nas bases Google Acadêmico, SciELO, PubMed e Scopus.Para a busca dos estudos, utilizaram-se os seguintes descritores e combinações booleanas: "Carapa guianensis" AND encapsulation; "Carapa guianensis" AND microencapsulation; "Carapa guianensis" AND nanoencapsulation; "Andiroba oil" AND drug delivery; "Andiroba oil" AND controlled release; "Andiroba oil" AND nanotechnology; e "Andiroba oil" AND cosmetics.

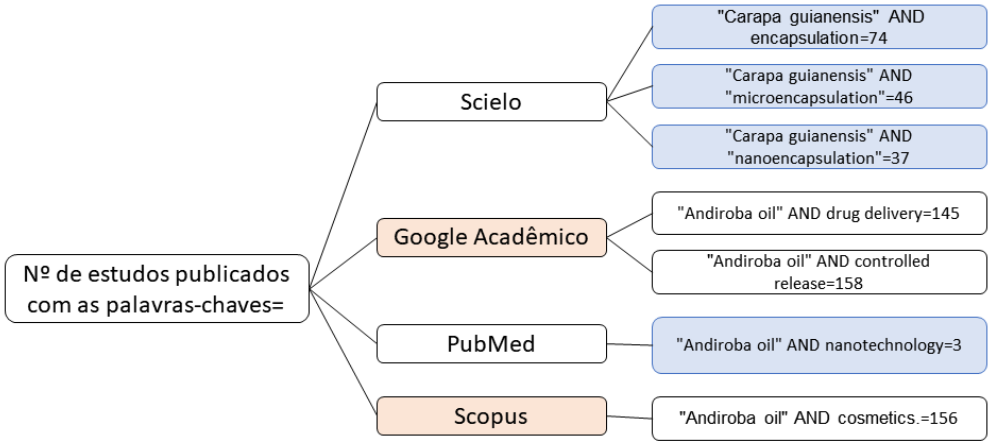
Foram estabelecidos como critérios de inclusão: a) artigos científicos publicados nas

áreas de Tecnologia, Produtos Naturais, Farmácia e Saúde; b) publicações nos idiomas português e inglês; c) estudos relacionados às técnicas de encapsulamento do óleo de andiroba e suas aplicações farmacêuticas ou cosméticas; d) trabalhos disponíveis na íntegra. Como critérios de exclusão, foram desconsiderados artigos duplicados, trabalhos publicados em outros idiomas, estudos sem relação direta com o tema proposto, resumos simples, editoriais, monografias e publicações sem acesso ao texto completo. A seleção dos estudos ocorreu em etapas, por meio da leitura de títulos e resumos. Posteriormente, os artigos considerados relevantes foram analisados na íntegra para composição final da revisão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca bibliográfica realizada nas bases Google Acadêmico, SciELO, PubMed e Scopus permitiu identificar número relevante de publicações relacionadas ao óleo de andiroba (Carapa guianensis Aubl.) e às técnicas de encapsulamento. Conforme apresentado na Figura 1, foram obtidos resultados distintos entre as bases consultadas, com maior concentração de estudos no Google Acadêmico e na Scopus, demonstrando crescente interesse científico pelas aplicações farmacêuticas e cosméticas de produtos naturais amazônicos.

Figura 1– Organograma de resultados das procuras realizadas em bases de dados e suas resultas quantitativas mediante a busca por palavras-chaves.



Fonte: Os autores (2026)

Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, bem como análise de títulos e resumos, permaneceram 93 estudos potencialmente elegíveis. Destes, 44 artigos foram selecionados para leitura completa e composição desta revisão, conforme demonstrado na Figura 1. Esse resultado indica que, embora haja quantidade expressiva de publicações relacionadas ao tema, ainda são limitados os estudos especificamente voltados ao encapsulamento do óleo de andiroba.

Entre os artigos selecionados, observou-se predominância de pesquisas envolvendo nanoemulsões e sistemas nanoestruturados. Segundo Sampaio *et al.* (2022), esses sistemas vêm sendo amplamente utilizados para incorporação de compostos lipofílicos devido ao reduzido tamanho de partícula, maior estabilidade cinética e melhor capacidade de dispersão. De forma semelhante, Carvalho *et al.* (2023) destacam que nanoemulsões podem aumentar a solubilidade, a biodisponibilidade e a proteção de compostos sensíveis à oxidação.

Esses achados são particularmente relevantes para o óleo de andiroba, que apresenta elevada concentração de ácidos graxos insaturados e compostos bioativos suscetíveis à degradação. Dessa forma, o encapsulamento surge como alternativa tecnológica capaz de preservar suas propriedades químicas e prolongar sua vida útil (Nascimento *et al.*, 2025).

No que se refere à atividade biológica, estudos analisados demonstraram resultados promissores. Moraes *et al.* (2018) observaram que nanoemulsões contendo óleo de andiroba apresentaram atividade antiparasitária significativa, com redução da carga parasitária e diminuição de lesões em modelos experimentais. Esses dados sugerem que o encapsulamento pode favorecer a entrega dos compostos ativos e potencializar seus efeitos terapêuticos.

Em relação à segurança biológica, verificou-se que formulações encapsuladas apresentaram menor citotoxicidade quando comparadas ao óleo livre. Monteiro *et al.* (2025) relataram ausência de citotoxicidade significativa em queratinócitos humanos tratados com nanoemulsão de andiroba, enquanto concentrações elevadas do óleo não encapsulado reduziram a viabilidade celular. Resultados semelhantes também foram descritos por Milhomem *et al.* (2017), reforçando a importância do encapsulamento como estratégia para maior biocompatibilidade.

Esse aspecto possui relevância clínica, especialmente em formulações tópicas

cicatrizantes, uma vez que os queratinócitos exercem papel essencial na reepitelização e recuperação tecidual. Segundo Campos, Borges e Groth (2007), a adequada resposta celular é indispensável para progressão normal das fases de cicatrização. Assim, sistemas que preservem a viabilidade celular e controlem processos inflamatórios podem favorecer o reparo de feridas.

Quanto ao potencial anti-inflamatório, os estudos revisados demonstraram redução de importantes mediadores pró-inflamatórios. Penido *et al.* (2006) verificaram diminuição de TNF-α, IL-1β e IL-8, além de inibição da translocação do NF-κB em modelos experimentais tratados com compostos derivados da andiroba. Henriques e Penido (2014) também observaram modulação de células inflamatórias e redução de respostas alérgicas. Esses resultados indicam que os limonoides presentes no óleo mantêm atividade biológica relevante e podem ter sua ação favorecida pelo encapsulamento.

Além das nanoemulsões, os filmes poliméricos contendo óleo de andiroba também apresentaram resultados promissores. Paiva *et al.* (2024) relataram melhorias nas propriedades térmicas, mecânicas e de barreira à umidade, além de atividade antioxidante. Esses achados ampliam as possibilidades de aplicação do óleo em curativos bioativos, biomateriais e embalagens funcionais biodegradáveis.

5 CONCLUSÃO

Com base nos estudos analisados, conclui-se que o encapsulamento do óleo de andiroba (Carapa guianensis Aubl.) constitui uma estratégia tecnológica promissora para potencializar suas aplicações farmacêuticas e cosméticas. As diferentes técnicas identificadas na literatura, com destaque para nanoemulsões, filmes poliméricos e sistemas lipossomais, demonstraram capacidade de melhorar a estabilidade físico-química do óleo, protegendo seus compostos bioativos contra degradação e favorecendo maior eficiência de uso. Os trabalhos revisados indicaram que as formulações encapsuladas apresentaram resultados superiores ao óleo livre em aspectos como biocompatibilidade, redução de citotoxicidade, atividade anti-inflamatória e potencial cicatrizante. Além disso, observou-se que os compostos presentes no óleo, especialmente ácidos graxos e limonóides, mantêm suas propriedades biológicas quando incorporados em sistemas carreadores, podendo inclusive apresentar ação otimizada. Apesar dos avanços encontrados, ainda são

necessários mais estudos experimentais e clínicos que permitam padronizar formulações, confirmar segurança em longo prazo e ampliar a aplicação industrial desses sistemas. Dessa forma, o presente trabalho reforça o valor científico e econômico do óleo de andiroba como recurso natural amazônico e evidencia o encapsulamento como ferramenta inovadora para o desenvolvimento de produtos terapêuticos e cosméticos de maior qualidade e eficácia.

REFERÊNCIAS

AMALRAJ, Augustine *et al.* Preparation and Characterization of Liposomal β-Caryophyllene (Rephyll) by Nanofiber Weaving Technology and Its Effects on Delayed Onset Muscle Soreness (DOMS) in Humans: A Randomized, Double-Blinded, Crossover-Designed, and Placebo-Controlled Study. **ACS Omega**, v. 5, n. 37, p. 24045–24056, 22 set. 2020.

AMBROZIN, Alessandra R. P. *et al.* Limonoids from andiroba oil and Cedrela fissilis and their insecticidal activity. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 17, n. 3, jun. 2006.

ARAUJO, Jardilene Dominga Idalino de; FARIAS, Karol Fireman de; SANTOS, Ana Caroline Melo dos. Anacardium occidentale L. (cajueiro) na cicatrização de feridas: uma revisão sistemática da literatura. **Journal of Nursing and Health**, v. 14, n. 2, p. e1427048, 12 set. 2024.

AZEREDO, Henriette Monteiro Cordeiro. ENCAPSULAÇÃO: APLICAÇÃO À TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 16, n. 1, p. 89–97, 2008.

BALBINO, Carlos Aberto; PEREIRA, Leonardo Madeira; CURI, Rui. Mecanismos envolvidos na cicatrização: uma revisão. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 41, n. 1, mar. 2005.

BERNADETE, Maria Riemma Pierre. Nanopartículas para liberação de ativos na cicatrização de feridas diabéticas: uma revisão da literatura. **Multitemas**, p. 149–171, 7 mar. 2025.

BLANCO, Ian M. R. *et al.* Conventional and PEGylated Liposomes as Vehicles of Copaifera sabulicola. **Pharmaceutics**, v. 15, n. 2, 16 fev. 2023.

CAMPOS, Antonio Carlos Ligocki; BORGES, Alessandra; GROTH, Anne Karoline. Cicatrização de feridas. **ABCD. Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva (São Paulo)**, v. 20, n. 1, p. 51–58, mar. 2007.

CARVALHO, Tamara *et al.* Synthesis of copaiba (Copaifera officinalis) oil nanoemulsion and the potential against Zika virus: An in vitro study. **PLOS ONE**, v. 18, n. 9, p. e0283817, 7 set. 2023.

DIAS, Kaio Kelvin Barros *et al.* Biological activities from andiroba (Carapa guianensis Aublet.) and its biotechnological applications: A systematic review. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 16, n. 4, p. 104629, abr. 2023.

FONSECA, Aimê Stefany Alves da *et al.* Effects of andiroba oil (Carapa guianensis aublet) on the immune system in inflammation and wound healing: A scoping review. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 327, p. 118004, jun. 2024.

HAS, C.; SUNTHAR, P. A comprehensive review on recent preparation techniques of liposomes. **Journal of Liposome Research**, v. 30, n. 4, p. 336–365, 1 out. 2020.

HENRIQUES, Maria; PENIDO, Carmen. The Therapeutic Properties of Carapa guianensis. **Current Pharmaceutical Design**, v. 20, n. 6, p. 850–856, 31 fev. 2014.

HIGUCHI, Keiichiro *et al.* Carapanosins A–C from Seeds of Andiroba (Carapa guianensis, Meliaceae) and Their Effects on LPS-Activated NO Production. **Molecules**, v. 22, n. 3, p. 502, 22 mar. 2017.

KHAN, Imran *et al.* Carvacrol encapsulated nanocarrier/ nanoemulsion abrogates angiogenesis by downregulating COX-2, VEGF and CD31 in vitro and in vivo in a lung adenocarcinoma model. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 181, p. 612–622, set. 2019.

KUMARI, Amrita *et al.* Wound-Healing Effects of Curcumin and Its Nanoformulations: A Comprehensive Review. **Pharmaceutics**, v. 14, n. 11, p. 2288, 25 out. 2022.
MAJEED, Hamid *et al.* Essential oil encapsulations: uses, procedures, and trends. **RSC Advances**, v. 5, n. 72, p. 58449–58463, 2015.

MEDEIROS, João Augusto Salviano *et al.* Incorporation of Oregano Essential Oil Microcapsules in Starch-Poly (Butylene Adipate Co-Terephthalate) (PBAT) Films. **Macromolecular Symposia**, v. 383, n. 1, 15 fev. 2019.

MENDONÇA, Andreza P. *et al.* Determinação das curvas de secagem das sementes de andiroba em secador solar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 382–387, abr. 2015.

MENDONÇA, Andreza P.; FERRAZ, Isolde Dorothea Kossmann. Óleo de andiroba: processo tradicional da extração, uso e aspectos sociais no estado do Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 3, p. 353–364, 2007.

MENDONÇA, Andreza Pereira *et al.* Extração de óleo de andiroba por prensa: rendimento e qualidade de óleo de sementes submetidas a diferentes teores de água e temperaturas de secagem. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, 31 mar. 2020.

MIASTKOWSKA, Małgorzata *et al.* Nanoformulations as a modern form of biofungicide. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v. 18, n. 1, p. 119–128, 31 jun. 2020.

MILHOMEM-PAIXÃO, Susana Suely Rodrigues *et al.* Andiroba Oil (*Carapa guianensis* Aublet) Nanoemulsions: Development and Assessment of Cytotoxicity, Genotoxicity, and Hematotoxicity. **Journal of Nanomaterials**, v. 2017, p. 1–11, 2017.

MONTEIRO, Alcilene Rodrigues *et al.* The Production of High-Added-Value Bioproducts from Non-Conventional Biomasses: An Overview. **Biomass**, v. 3, n. 2, p. 123–137, 26 abr. 2023.

MONTEIRO, Isolda de Sousa *et al.* The Development and Characterization of an Andiroba Oil-Based Nanoemulsion (Carapa guianensis, Aubl.): Insights into Its Physico-Chemical Features and In Vitro Potential Healing Effects. **Pharmaceutics**, v. 17, n. 4, p. 498, 9 abr. 2025.

MONTES, Lívia V; *et al.* Evidências para o uso da óleo-resina de copaíba na cicatrização de ferida: uma revisão sistemática... **Natureza Online**, v. 7, n. 2, p. 61–67, 2009.

MORAES, Alessandra Regina Dhorm Pimentel de *et al.* Effects of nanoemulsions prepared with essential oils of copaiba- and andiroba against Leishmania infantum and Leishmania amazonensis infections. **Experimental Parasitology**, v. 187, p. 12–21, abr. 2018.

NASCIMENTO, Karin Krystina Maximo do; LIMA, Emersom Silva; HOLANDA, Keyla Emanuelle Ramos de. Techniques and applications to encapsulation of copaiba essential oil: a literature review. **Concilium**, v. 24, n. 15, p. 64–88, 1 ago. 2024.

NASCIMENTO, Karin Krystina M. *et al.* Development and Characterization of a Biodegradable Film Using *Copaifera officinalis* Essential Oil-Loaded Starch Microparticles. **ACS Food Science & Technology**, v. 5, n. 8, p. 3061–3073, 15 ago. 2025.

OTSUKA, Ana Carolina Vasconcellos Guedes *et al.* Terapia a laser de baixa potência no manejo da cicatrização de feridas cutâneas. **Revista Brasileira de Cirurgia Plástica (RBCP) – Brazilian Journal of Plastic Sugery**, v. 37, n. 04, 2022.

PAIVA, Cleyson Santos de *et al.* Andiroba Oil (Carapa guianensis Aubletet) as a Functionalizing Agent for Titica Vine (Heteropsis flexuosa) Nanofibril Films: Biodegradable Products from Species Native to the Amazon Region. **Sustainability**, v. 16, n. 11, p. 4395, 22 maios 2024.

PAIXÃO, Susana Suely Rodrigues Milhomem *et al.* The lipidome, genotoxicity, hematotoxicity and antioxidant properties of andiroba oil from the Brazilian Amazon. **Genetics and Molecular Biology**, v. 39, n. 2, p. 248–256, 13 maio 2016.

PENA, Driss Wagner Pantoja *et al.* Exfoliating Agents for Skincare Soaps Obtained from the Crabwood Waste Bagasse, a Natural Abrasive from Amazonia. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, n. 8, p. 4441–4461, 5 ago. 2021.

PENIDO, C. *et al.* Antiinflammatory effects of natural tetranortriterpenoids isolated from Carapa guianensis Aublet on zymosan-induced arthritis in mice. **Inflammation Research**, v. 55, n. 11, p. 457–464, nov. 2006.

PORFÍRIO-DIAS, Clara L. *et al.* Andiroba oil (<scp> *Carapa guianensis* </scp> Aubl) shows cytotoxicity but no mutagenicity in the ACPP02 gastric cancer cell line. **Journal of Applied Toxicology**, v. 40, n. 8, p. 1060–1066, 9 ago. 2020.

SAMPAIO, Cátia I. *et al.* Low energy nanoemulsions as carriers of thyme and lemon balm essential oils. **LWT**, v. 154, p. 112748, jan. 2022.

SANTOS, Luanna Viana Oliveira; COSTA, Cristiana; OLIVEIRA, Carina. Ozonioterapia no processo de cicatrização de feridas. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, v. 7, n. 14, p. e14977, 22 abr. 2024.

SERAFIN, Jarosław *et al.* Activated carbons from the Amazonian biomass andiroba shells applied as a CO2 adsorbent and a cheap semiconductor material. **Journal of CO2 Utilization**, v. 62, p. 102071, ago. 2022.

SHARMA, Shivani *et al.* Phyto-nanoemulsion: An emerging nano-insecticidal formulation. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 14, p. 100331, dez. 2020.

SHERRY, Mirna *et al.* Essential oils encapsulated in liposomes: a review. **Journal of Liposome Research**, v. 23, n. 4, p. 268–275, 24 dez. 2013.

SILVA, Vagner Pereira; OLIVEIRA, Rodrigo Rodrigues; FIGUEIREDO, Maria Raquel. Isolation of Limonoids from seeds of *Carapa guianensis* Aublet (Meliaceae) by high-speed countercurrent chromatography. **Phytochemical Analysis**, v. 20, n. 1, p. 77–81, 11 jan. 2009.

SOUSA, Ronaldo Lopes *et al.* Chemical profile of manually extracted andiroba oil (Carapa guianensis Aubl., Meliaceae) from Mamangal community, located in Igarapé-Miri, Pará, Brazil. **Scientia plena**, v. 17, n. 12, 14 jan. 2022.

TUJI, Fabricio Mesquita *et al.* Evaluation of The Anti-Inflammatory Action of Andiroba Oil – *Carapa guianensis aubl* (Meliceae) in Oral Mucositis. *In*: **Pharmacological Studies in Natural Oral Care**. *[S.l.]*: Wiley, 2023. p. 651–668.

ZHOU, Hualu; ZHENG, Bingjing; MCCLEMENTS, David Julian. Encapsulation of lipophilic polyphenols in plant-based nanoemulsions: impact of carrier oil on lipid digestion and curcumin, resveratrol and quercetin bioaccessibility. **Food & Function**.