

Óleo de Castanha-do-Brasil: métodos de extração e aplicações na indústria

Brazil Nut oil: extraction methods and industrial applications

Aceite de Nuez de Brasil: métodos de extracción y aplicaciones industriales

Recebido: 21/02/2022 | Revisado: 01/03/2022 | Aceito: 11/03/2022 | Publicado: 19/03/2022

Arthur Lobato Silva Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8020-8562>
Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: arthur.silva.carvalho@itec.ufpa.br

Marlice Cruz Martelli

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8512-2706>
Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: martelli@ufpa.br

Shirley Cristina Cabral Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7139-7162>
Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: scn@ufpa.br

Davi do Socorro Barros Brasil

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1461-7306>
Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: davibb@ufpa.br

Resumo

A Amazônia é uma região rica em biodiversidade de fauna e flora onde existem diversas espécies vegetais que possuem potencial de produção de fármacos, cosméticos, combustíveis e alimentos de forma geral. Dessa forma, a castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K) é estabelecida como fonte alimentícia de povos oriundos desta região. Além disso, o óleo vegetal de castanha-do-Brasil, extraído por várias técnicas, é estudado com base em seu potencial lipídico e antioxidante. O presente trabalho objetivou comparar os métodos de extração empregados no óleo de castanha-do-Brasil com base em dados publicados na literatura considerando análises físico-químicas comumente realizadas para avaliar esse produto, além de uma revisão de fatores característicos de matérias-primas de grande utilidade em âmbito industrial na área alimentícia, de cosméticos e de biocombustíveis, de modo a agregar no desenvolvimento de possíveis aplicações para o óleo de castanha-do-Brasil. Sendo assim, os métodos tradicionais de extração (por prensagem a frio e por solvente) ainda são os mais utilizados na indústria em virtude de apresentarem melhor rendimento e características físico-químicas estáveis, enquanto metodologias alternativas, tais como, o uso de solvente verdes, solventes em condições supercríticas e ultrassom possuem limitações que impedem a viabilização de seus usos em ampla escala.

Palavras-chave: Castanha-do-Brasil; Extração; Óleo; Alimentos; Cosméticos; Combustíveis.

Abstract

Amazon is a region rich in biodiversity of fauna and flora where there are plant species that have the potential to produce drugs, cosmetics, compounds and food in general. Thus, Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H.B.K) is established as a food source for people from this region. In addition, Brazil nut vegetable oil, extracted by various techniques, is studied based on its lipid and antioxidant potential. The work compares the methods of employees presented in the study objective of studies published in the Brazilian literature based on studies of chemical products published for the evaluation of this product, in addition to a review of large characteristic factors presented in data published in the Brazilian literature utility in industrial scope in the food, cosmetics and biofuels area, in order to add to the development of possible applications for Brazil nut oil. Therefore, the traditional methods of products (by solvent pressing and by products presented) are still more used in the industry because of their better yield and stable chemical characteristics, while alternative product methodologies, such as the use of green solvents, Solvents in supercritical and ultrasonic conditions of use have conditions that prevent the feasibility of large-scale uses.

Keywords: Brazil nut; Extraction; Oil; Foods; Cosmetics; Fuels.

Resumen

La Amazonía es una región rica en biodiversidad de fauna y flora donde existen especies vegetales que tienen potencial para producir medicamentos, cosméticos, compuestos y alimentos en general. Así, la castaña (*Bertholletia excelsa* H.B.K) se establece como fuente de alimento para los habitantes de esta región. Además, el aceite vegetal de nuez de Brasil, extraído por diversas técnicas, se estudia en función de su potencial lipídico y antioxidante. El trabajo compara los métodos de los empleados presentados en el objetivo del estudio de estudios publicados en la literatura brasileña con base en estudios de productos químicos publicados para la evaluación de este producto, además de una revisión de grandes factores característicos presentados en datos publicados en la literatura brasileña utilidad en el ámbito industrial

en el área de alimentos, cosméticos y biocombustibles, con el fin de sumar al desarrollo de posibles aplicaciones del aceite de nuez de Brasil. Por lo tanto, los métodos tradicionales de productos (por prensado de solventes y subproductos presentados) son aún más utilizados en la industria debido a su mejor rendimiento y características químicas estables, mientras que metodologías alternativas de productos, como el uso de solventes verdes, solventes en estado supercrítico y Las condiciones ultrasónicas de uso tienen condiciones que impiden la viabilidad de usos a gran escala.

Palabras clave: Nueces de Brasil; Extracción; Aceite; Alimentos; Productos cosméticos; Combustibles.

1. Introdução

A Amazônia é rica em biodiversidade de fauna e flora. Dentre as diversas espécies vegetais oriundas dessa região, muitas possuem potencial de produção de fármacos, cosméticos, combustíveis e alimentos de forma geral (Aragón, 2018). A exploração desses insumos é realizada por povos nativos há muito tempo, tendo foco na utilização de frutas, amêndoas, folhas e espécies oleosas, em geral como plantas medicinais para tratamento empírico de doenças. (Santos *et al.*, 2019; Ottobelli *et al.*, 2011).

No Brasil, várias plantas arbóreas nativas do território amazônico são diretamente ligadas com o desenvolvimento econômico do país, sendo a madeira, as frutas, o óleo e as amêndoas dessas espécies amplamente utilizados como matéria-prima. Dessa forma, considerando o foco no valor comercial de amêndoas amazônicas, tem-se exemplos como: a aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius Raddi*), o Baru (*Dipteryx alata Vogel*), o Carvoeiro (*Tachigali vulgaris*), a Guaçatonga (*Casearia sylvestris Sw*), tendo aplicações estabelecidas no mercado, respectivamente, como óleo em cosméticos, castanha comestível, amêndoa de restauração ecológica, fitoterápicos, anti-inflamatórios e antimicrobianos. (Campos filho & Sartorelli, 2015). Tendo em vista a incidência de características promissoras, em amêndoas originárias da mesma localização geográfica, identificou-se a necessidade de um estudo detalhado da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K). Em virtude também do alto teor lipídico, a amêndoa de castanha-do-Brasil é naturalmente uma matéria-prima promissora para extração de óleo vegetal, sendo necessário um mapeamento de características e avaliação do seu uso industrial (Kluczkovski *et al.*, 2021).

Óleos vegetais podem ser utilizados na culinária como base para cozimento e fritura (Hashempour-Baltork *et al.*, 2016), na indústria farmacêutica por conta de características anti-inflamatórias, antibióticas e antioxidantes, além da cosmética em decorrência da composição lipídica (Masiero *et al.*, 2021). Somado a isso, alguns óleos de base vegetais são usados como fonte primária no processo de transesterificação para fabricação de biodiesel com o objetivo de diminuir o consumo de combustíveis fósseis altamente poluentes (Ramkumar & Kirubakaran, 2016).

O óleo de castanha-do-Brasil possui diversos estudos recentes abrangendo sua composição lipídica e substâncias bioativas para óleos obtidos por métodos de extração diversos sob diferentes parâmetros de processo (Kluczkovski *et al.*, 2021). As metodologias mais usuais são por prensagem e por solvente, com variações do solvente empregado e aplicação de técnicas alternativas, como extração assistida por ultrassom (UAE) e extração sob condições supercríticas de solvente.

O trabalho teve como objetivo a comparação dos métodos de extração de óleo de castanha-do-Brasil com base em dados publicados na literatura considerando análises físico-químicas comumente realizadas para avaliar esse produto, além de uma revisão de fatores característicos de matérias-primas de grande utilidade em âmbito industrial na área alimentícia, de cosméticos e de biocombustíveis, de modo a agregar no desenvolvimento de possíveis aplicações para o óleo de castanha-do-Brasil.

2. Metodologia

2.1 Planejamento

Para o planejamento da pesquisa foram estabelecidos os objetivos: Contribuir como um artigo de consulta de dados obtidos nos últimos 10 anos sobre óleo vegetal de castanha-do-Brasil, considerando diferenças entre os estudos analisados e comparando diferentes métodos de extração, para nortear futuros trabalhos a serem desenvolvidos envolvendo esse assunto. Em

seguida, foram definidas as palavras-chave “castanha-do-Brasil”, “óleo vegetal” e “extração” como termos de pesquisa e as aplicações a serem discutidas “alimentação”, “cosméticos” e “biocombustíveis”.

2.2 Pesquisa

As bases de dados utilizadas foram o portal de periódicos CAPES, Google Scholar e ScienceDirect, aplicando busca avançada para restringir os resultados para os últimos 10 anos (2012 a 2022) e os idiomas para português e inglês. Como saldo total da pesquisa foram encontrados 930 trabalhos no periódicos CAPES, 16600 no Google Scholar e 750 no ScienceDirect.

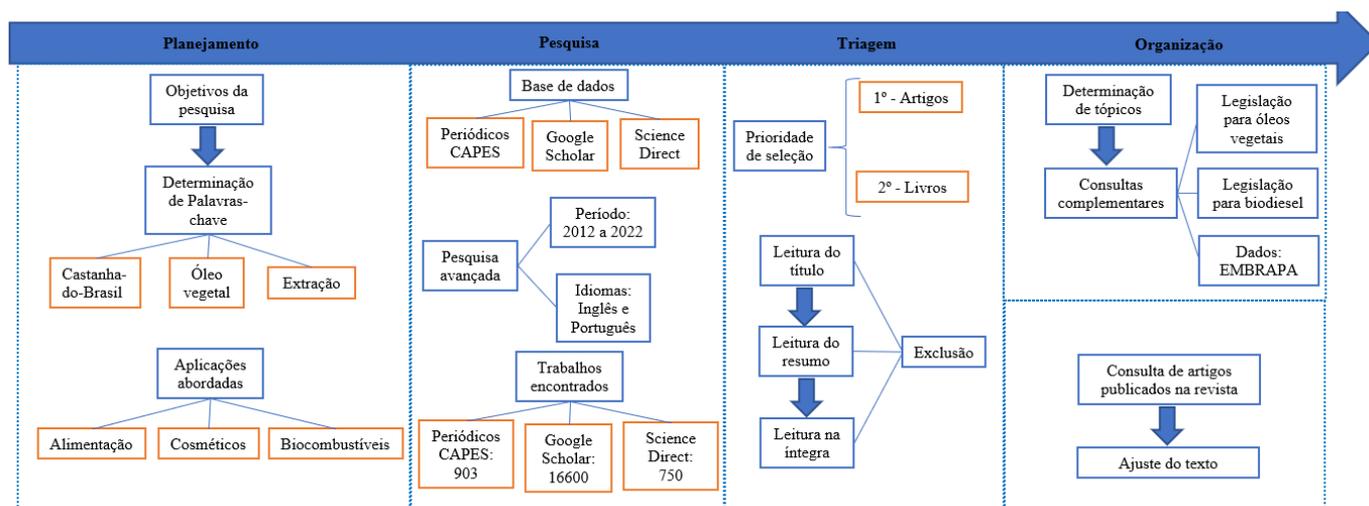
2.3 Triagem

Os critérios de inclusão na pesquisa foram definidos com prioridade para artigos publicados em revistas científicas, seguido por livros lançados de forma oficial (mediante a consulta de editora e ISBN). Os critérios de exclusão na pesquisa foram para trabalhos de conclusão de curso, dissertações e artigos repetidos nas três bases de busca. Dessa forma, a consulta foi inicialmente feita com a leitura dos títulos dos trabalhos para as 5 primeiras páginas de busca das 3 bases empregadas. Em seguida, foi feita a leitura do resumo dos materiais definidos como condizentes com os objetivos estabelecidos. Por fim, a leitura na íntegra foi empregada para resumos que indicassem resultados e conteúdo aplicáveis no presente artigo. No total, foram selecionadas 55 referências.

2.4 Organização

Após a seleção e leitura dos artigos, foram definidos os tópicos do trabalho, seguido de consultas complementares à legislação de óleos vegetais, biodiesel e banco de dados da EMBRAPA para validação dos resultados selecionados. Além disso, foi realizada uma consulta a artigos publicados na revista em questão aliado a um ajuste final no texto. A Figura 1 mostra o fluxograma da metodologia empregada para redação do presente artigo.

Figura 1 - Fluxograma de detalhamento da metodologia empregada.



Fonte: Autores.

3. Castanha-do-Brasil

A castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K) é proveniente de uma árvore da família *Lecithydaceae* que vive de 350 a 400 e possui alturas variantes entre 30 e 50 metros com diâmetros de caule que chegam a até 5 metros com ocorrência ao longo de toda a região amazônica brasileira e internacional, se estendendo assim por todos os estados da região norte e ao norte

dos estados de Goiás e Mato Grosso, além de outros países como Bolívia, Peru, Colômbia, Venezuela e Guiana, com algumas variações de características dependendo da localidade. O fruto pode pesar de 0,500 a 2 kg com 10 a 25 amêndoas (castanhas) que são utilizadas na alimentação de povos nativos dessas regiões há centenas de anos e, hoje em dia, possuem grande valor comercial agregado (Guariguata, 2017; Schongart *et al.*, 2015; Baldoni *et al.*, 2020).

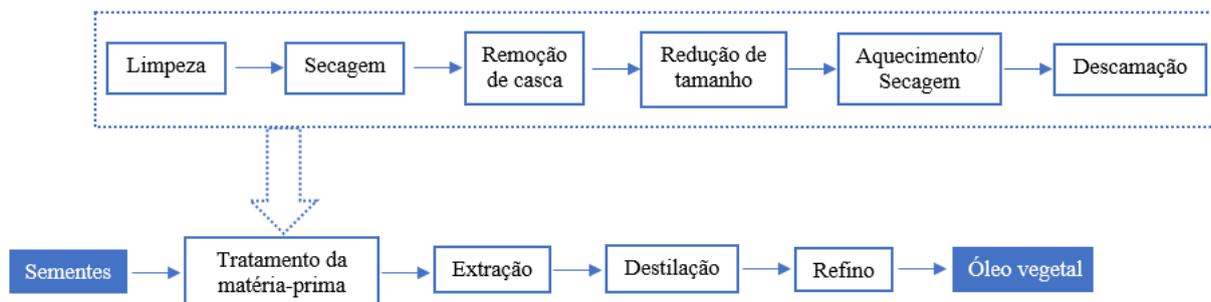
O valor nutritivo da amêndoa de castanha-do-Brasil é atribuído a sua composição, sendo em média 15% proteínas, 9% carboidratos, 71% lipídios e altas quantidades de selênio (em média 290,5 µg/g), sendo o alimento com a maior concentração de selênio já registrado na literatura (Silva Júnior *et al.*, 2017; Stockler-Pinto *et al.*, 2015). Dada a composição de lipídios, a castanha-do-Brasil é fonte de um óleo vegetal de aroma suave que tem os ácidos linoleico e oleico como dominantes (Sartori *et al.*, 2018).

4. Tratamento de Matéria-Prima

O processo de produção de óleo a partir de componente vegetal possui certos requisitos para atender às propriedades oleaginosas desejadas. Portanto, a fonte oleosa deve ser tratada antes da extração do óleo, para que a mesma tenha a melhor adaptabilidade para atender aos requisitos do processo. A função do tratamento da matéria-prima é preparar adequadamente as oleaginosas para a extração do óleo, seja por método solvente ou extração mecânica e, se for o caso, remover as cascas e outros materiais da amêndoa ou do farelo. Embora uma amêndoa em particular possa conter de 20 a 50% de óleo, o óleo está firmemente ligado dentro da célula e ações mecânicas devem ser tomadas para remover o óleo com força ou para torná-lo mais acessível à extração subsequente com solvente. Sendo assim, as operações referem-se ao recebimento, amostragem, secagem, armazenamento e limpeza da matéria-prima (Xiao *et al.*, 2020).

A Figura 2 mostra um fluxograma de tratamento de amêndoas inserido no processo extrativo de óleo.

Figura 2 – Fluxograma de tratamento de matéria-prima + processo de extração por solvente.



Fonte: Xiao *et al.* (2020).

A limpeza é feita, em geral, com peneiras de tamanho adequado às amêndoas e impurezas presentes naquele montante. Essas impurezas são pedaços de metal, pedras, paus e/ou vagens. Já a secagem é realizada em temperaturas entre 50°C e 60°C e tem como objetivo diminuir umidade da parte externa das amêndoas. Considerando a castanha-do-Brasil, há a necessidade de uma etapa para remoção das amêndoas de dentro do ouriço (fruto). Em seguida, com as amêndoas isoladas, a redução do tamanho é feita de modo a triturar os grãos os dividindo de 2 a 6 partes e, assim, aumentando a área de contato do solvente com a fonte oleosa. Por fim, a descamação consiste em uma segunda trituração mais agressiva deixando os grãos com tamanhos de 0,25 a 0,35 milímetros (Freixo, 2018).

5. Qualidade do Óleo

Alguns critérios determinantes para avaliar a utilidade e a qualidade do óleo são as propriedades físicas. Essas características estão diretamente atreladas à composição do óleo e ao método de extração utilizado na sua fabricação (Ramalho & Suarez, 2013). Dentre as propriedades relevantes, destacam-se a acidez, a quantidade de cinzas, a densidade, índice de iodo, índice de peróxido, refração, saponificação e umidade.

Segundo a Resolução RDC nº 481, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil, 2021) referente ao regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal. Óleos prensados a frio e não refinados devem ter, no máximo, 4 mgKOH/g como indicativo de acidez e 15 meq/kg como índice de peróxidos na amostra.

A acidez de óleos comestíveis não deve ultrapassar o limite por fatores relacionados à saúde do organismo, porém, um índice de acidez elevado também prejudica o processo de transesterificação para fabricação de biodiesel, para este fim, o máximo que um óleo deve ter é de 3 mgKOH/g, pois, valores superiores podem provocar reações químicas paralelas (a exemplo da saponificação) (Santos *et al.*, 2015).

Já o índice de peróxido é relacionado à rancidez do óleo, isto é, a capacidade de exalar um odor rançoso ocasionado pela presença de compostos voláteis, tais como aldeídos, cetonas e álcoois que são formados pela oxidação dos ácidos graxos insaturados e consequente formação de peróxidos. A determinação da quantidade de peróxido se relaciona diretamente com o método iodométrico, onde a capacidade oxidativa do óleo é obtida a partir da quantidade de iodo produzido com a decomposição do iodeto de potássio aplicado na amostra (Xiao *et al.*, 2020). Diante disso, a determinação de um “índice de iodo” também é relevante como forma de avaliar a quantidade de insaturações presentes no óleo e o grau de degradação dessas ligações.

A força de atração entre as moléculas e o empacotamento são diretamente ligados à densidade e à viscosidade. Dessa forma, quanto mais ácidos graxos insaturados e ramificados, menor é a capacidade empacotamento, e, conseqüentemente, menor a densidade. Essas características afetam diretamente as capacidades de escoamento e absorção do óleo, isto é, quanto mais viscoso é o óleo, mais lenta é a absorção a ele submetida, e, em altas temperaturas (fritura do óleo) há uma influência significativa da densidade na capacidade de drenagem desse fluido (Sahasrabudhe *et al.*, 2017). A densidade, os índices de saponificação e refração são relacionados às características estruturais específicas de cada óleo, tais como, tamanho de cadeias e número de insaturações (Nhan *et al.*, 2018).

A determinação de cinzas no óleo é uma medida de resíduos inorgânicos naquela amostra. Dessa forma, o componente é exposto a uma temperatura de mais de 500°C, de modo a ser incinerado e a massa restante desse processo é tida como o chamado resíduo de incineração ou cinzas (Alzahraní *et al.*, 2017).

A determinação de umidade tem sua importância relacionada à oxidação hidrolítica. (Schons, 2017). Isto é, óleos com altos índices de umidade também possuem tendência de quebrar os triacilgliceróis sendo catalisados por enzimas lipases e gerando a chamada rancidez hidrolítica com a produção de ácidos graxos livres (Chamchong *et al.*, 2021).

Devido à alta concentração de ácido linoleico, o óleo de castanha-do-Brasil possui tendência de sofrer com reações oxidativas, assim adquirindo características *off flavor* que impactam na aprovação do consumidor final. Um fator que corrobora para o processo oxidativo é o armazenamento incorreto do produto, que, em geral, é comercializado em recipientes de vidro que protegem parcialmente o óleo, porém, a exposição à luz pode tornar o ambiente favorável para causar danos aos ácidos graxos insaturados presentes no óleo (Sartori *et al.*, 2018).

6. Métodos de Extração

Um fator importante para avaliar o rendimento da extração e possíveis características do óleo é o percentual de gordura atrelado à fonte. Vários autores já realizaram estudos sobre esse percentual em várias amêndoas que servem como fonte oleaginosa. A Tabela 1 expõe alguns valores de percentuais de gordura de algumas oleaginosas relevantes.

Tabela 1 - Percentuais de gordura de fontes oleaginosas.

Amostras	Percentual de gordura
Soja	19,20 ¹
Gergelim	53,57 ²
Amendoim	50,00 ³
Amêndoa-de-coco	48,7 – 64,5 ⁴
Avelã	63,38 ⁵
Noz	54,14 ⁶
Semente de papoula	32,4 – 52,4 ⁷

Fontes: ¹Emre *et al.*, (2015); ²Ji *et al.*, (2019); ³Zhou *et al.*, (2019); ⁴Kodad *et al.*, (2013); ⁵Al Juhaimi *et al.*, (2017); ⁶Djikeng *et al.*, (2017); ⁷Lancaricová *et al.*, (2016).

Em comparação com o da castanha-do-Brasil, o teor de gordura varia entre 61% e 69% (Maestri *et al.*, 2020). Observa-se um valor consideravelmente maior aos apresentados na Tabela 1. O resultado em questão é relevante para a escolha do método de extração a ser empregado no processo. As extrações de óleo em escalas industriais podem ser realizadas de três formas: extração direta por solvente, extração com pré-prensagem seguido de extração por solvente e extração por prensagem. Extrações diretas por solvente são indicados para fontes de baixa umidade e quando a matéria-prima possui baixo teor oleico. A pré-prensagem antes da extração por solvente é adicionada ao processo quando o teor de óleo é considerado alto, assim “eliminando” parte do óleo na prensagem e seguindo com uma extração por solvente no material que ficou com teor menor de óleo. Já a extração exclusivamente por prensagem é realizada para altos teores de óleo e tem como principal vantagem o fato de o produto não precisar de refino após o processo (Embrapa, 2012). A Tabela 2 mostra teores de óleos e umidade variados, entre altos e baixos, de algumas matérias-primas oleaginosas.

Tabela 2 - Teores de óleo de matérias-primas oleaginosas.

Matéria-prima	Teor de óleo (%)	Umidade (%)
Semente de Soja	18-20	<10
Semente de Girassol	30-50	<10
Polpa de palma	25-27	70-80
Amêndoa de palma	40-50	<10
Castanha-do-Brasil	50-60	<10
Polpa de macaúba	20-27	70-80
Semente de uva	6-20	<10

Fonte: Embrapa (2012).

A Tabela 2 permite realizar a escolha da metodologia de extração, considerando altos teores de umidade, como nas polpas de palma e macaúba, o mais recomendado, a princípio, seria uma extração apenas por prensagem, enquanto, baixos teores de óleo atrelados à baixas umidades indicam uma necessidade de extração direta por solvente. No caso da castanha-do-Brasil, que possui alto teor de óleo e baixa umidade, o processo mais recomendado é o de pré-prensagem seguido de extração por solvente.

6.1 Extração por prensagem

A extração por prensagem é feita a partir de prensas contínuas tipo parafuso, tendo um eixo helicoidal girando em um cesto composto por barras de aço espaçadas de acordo com o tamanho da amêndoa. Esse método reduz o conteúdo de óleo residual em até 5%, o que, dependendo do processo, dispensa uma subsequente extração por solvente ou método alternativo.

Porém, para processos que necessitam de mais rendimento na extração, a prensagem é usada como um pré-tratamento. A pressão inicial da entrada varia de 300 a 400 kg/cm² até 1000 a 1400 kg/cm² ao fim (Karaman *et al.*, 2015).

Muniz *et al.* (2015) realizaram um estudo do óleo de castanha-do-Brasil obtido pela empresa *Amazon Oil* a partir de prensa *expeller* com vazão de 500 kg/h e temperatura ambiente. Os resultados são expostos nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Quantidades mássicas de ácidos graxos em óleo de castanha-do-Brasil obtido por prensagem.

Ácido Graxo	Quantidade (%)
Ácido Undélico C11:0	0,0943
Ácido Láurico C12:0	0,2423
Ácido Mirístico C14:0	0,215
Ácido Palmítico C16:0	14,2674
Ácido Palmitoleico C16:1	0,2899
Ácido Margárico C17:0	0,0766
Ácido Esteárico C18:0	10,6132
Ácido Oleico C18:1	38,5021
Ácido Linoleico C18:2	31,2651
Ácido Linolênico C18:3	0,155
Ácido Araquídico C20:0	0,3627
SFA (Somatório de saturados)	25,8715
MUFA (Somatório de monoinsaturados)	38,792
PUFA (Somatório de poli-insaturados)	31,4201
PUFA/SFA	1,2145
MUFA/SFA	1,4994
PUFA/MUFA	0,8099

Fonte: Muniz *et al.* (2015).

Tabela 4 - Propriedades físico-químicas do óleo de castanha-do-Brasil obtido por prensagem.

Análise	Resultado
Índice de peróxido	12 meq/g
Índice de saponificação	178,5±0,05 mgKOH/g
Índice de refração	1,466
Densidade	0,911 g/mL
Índice de acidez	2,14±0,05 mgKOH/g
pH	3,8

Fonte: Muniz *et al.* (2015).

Em termos nutricionais, o resultado foi condizente com o de outras formas de extração. Porém, as análises físico-químicas apontaram uma tendência de oxidação, isto é, um índice de peróxido elevado, o que pode indicar uma degradação mais

acelerada do produto. Nesse sentido, é importante destacar que o valor obtido (12 meq/kg) ainda se encontra no limite estabelecido pela ANVISA (15 mEq/kg). Este resultado pode ter ocorrido devido à matéria-prima não estar em condições ideais ou pelas condições de armazenamento do óleo.

6.2. Extração por solvente

Em um âmbito industrial, o solvente mais utilizado para realizar a extração de óleos vegetais é o n-hexano. Porém, esse componente é inflamável, o que agrega riscos ao ambiente de realização do processo. Além disso, estima-se que 2 litros de solvente são perdidos a cada tonelada de grão processado, gerando assim, um problema ambiental no sentido de emissão de gases e poluição de comunidades próximas a área. Outro fator importante de ser avaliado é a densidade do solvente, uma vez que um solvente mais denso dificulta a dissipação ao ser liberado no processo, acumulando no ambiente e tornando o ar inflamável e suscetível a incêndios (Bubalo *et al.*, 2015). Uma forma de reduzir os riscos e impactos é considerar o uso de solventes alternativos.

Neste contexto, os resultados de quantidades de ácidos graxos de óleo da castanha-do Brasil em porcentagem mássica obtidos por processos utilizando diferentes solventes são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Proporções mássicas de ácidos graxos para diferentes solventes.

Ácido Graxo (%)	Éter de petróleo ¹	Hexano ¹	Etanol ²	Álcool isopropílico ²
Ácido Mirístico C14:0	0,054±0,001	0,052±0,002	0,02	0,01
Ácido Palmítico C16:0	13,47±0,00	12,63±0,159	17,59	17,45
Ácido Esteárico C18:0	11,93±0,012	11,63±0,141	17,81	18,6
Ácido Oleico C18:1	31,24±0,02	29,76±0,408	35,21	35,51
Ácido Linoleico C18:2	42,42±0,03	45,17±0,722	28,37	28,09
Ácido Linolênico C18:3	0,058±0,004	0,074±0,005	0,24	0,08
SFA (somatório de saturados)	25,454	24,312	35,78	36,08
MUFA (Somatório de monoinsaturados)	31,24	29,76	35,61	35,74
PUFA (Somatório de poli-insaturados)	42,478	45,244	28,61	28,18
PUFA/SFA	1,67	1,86	0,80	0,78
MUFA/SFA	1,23	1,22	1,00	0,99
PUFA/MUFA	1,36	1,52	0,80	0,79
Rendimento (%)	66	69	31,7	54,6

Fontes: ¹Santos *et al.*, (2012); ²Cornelio-Santiago *et al.*, (2019).

Analisando apenas os valores expostos, é possível relacionar diretamente os usos dos solventes éter de petróleo e hexano com maiores razões PUFA/SFA e MUFA/SFA. Porém, é necessário fazer uma avaliação mais completa das condições de extração atreladas aos artigos estudados.

Santos *et al.* (2012) realizou a extração com o auxílio de uma pré-prensagem de 15 Toneladas em uma prensa hidráulica por aproximadamente 5 minutos, prosseguindo assim com uma filtração à vácuo e uma moagem com moinho de facas e com a extração via soxhlet para éter de petróleo (30°C – 70°C) e hexano (68°C – 70°C). Já a extração realizada por Cornelio-Santiago *et al.*, (2019) foi feita a partir de uma pré-prensagem sem parâmetros explicitados e um sistema de extração Dionex ASE 150, com o objetivo de acelerar o processo e usar menos solvente.

Além dos resultados de composição, análises físico-químicas também são importantes para determinar a aplicabilidade do óleo, tais como acidez, saponificação, refração, peróxido e viscosidade.

É sabido que em termos alimentícios, os resultados de éter de petróleo e hexano se demonstraram mais promissores. Porém, outra análise importante de ser feita é no âmbito de cosméticos.

Cornelio-Santiago *et al.* (2019) descreve etanol e álcool isopropílico como “solventes verdes”, esse conceito está alinhado com os chamados “12 princípios da química verde”, definidos por Anastas e Eghbali (2010), onde, entre outras orientações, é recomendado um esforço maior na diminuição dos rejeitos e componentes tóxicos produzidos por um processo do que no reaproveitamento ou um tratamento pós-processo, e, explicitamente no âmbito de solventes, é necessário ao máximo evitar o uso destes, se possível. A questão é que, na maioria dos processos, o uso de solvente se faz imprescindível, já que um processo sem esse tipo de componente pode resultar em uma viscosidade excessiva do produto ou um controle de temperatura deficiente (Pinto *et al.*, 2019).

Comparando os dois solventes verdes na Tabela 5, há uma diferença considerável no rendimento dos processos, enquanto a extração com ácido isopropílico obteve 54,6%, o etanol teve 31,7%. Dessa forma, há uma rentabilidade maior no processo quando utilizado o álcool isopropílico. No entanto, Cornelio-Santiago *et al.* (2019) afirmam que, para hexano e éter de petróleo, respectivamente, os rendimentos são de aproximadamente 69% e 66%. Sendo assim, existe uma diferença de no mínimo 12% na eficiência do processo.

6.3 Extração por solvente supercrítico

O método de extração com auxílio de fluido supercrítico consiste no uso de gases supercríticos (sendo o mais utilizado o CO₂ liquefeito) como solventes não inflamáveis para extração. Esse processo é amplamente estudado em plantas pilotos com diversos estudos publicados, porém, por exigir instalações de alto custo é pouco utilizado industrialmente, sendo realizado em pressões de até 400 bar para conseguir a solubilidade do óleo em alguns fluidos (Vasquez *et al.*, 2021).

Santos *et al.*, (2012) realizaram a extração do óleo de castanha-do-Brasil por metodologia supercrítica em escala laboratorial através da unidade de extração supercrítica da Universidade Federal do Pará, com uma temperatura de 60°C e pressão de 60 bar. As Tabelas 6 e 7 mostram os resultados desse experimento.

Tabela 6 - Quantidades mássicas de ácidos graxos obtidos no óleo de castanha-do-Brasil extraído por CO₂ supercrítico.

Ácido graxo	Quantidade (%)
Ácido Mirístico C14:0	0,516±0,03
Ácido Palmítico C16:0	14,94±0,927
Ácido Esteárico C18:0	10,23±0,007
Ácido Oleico C18:1	35,55±2,275
Ácido Linoleico C18:2	40,51±2,56
Ácido Linolênico C18:3	0,075±0,005
SFA	25,686
MUFA	35,55
PUFA	40,585
PUFA/SFA	1,58
MUFA/SFA	1,38
PUFA/MUFA	1,14

Fonte: Santos *et al.*, (2012).

Tabela 7 - Propriedades físico-químicas do óleo de castanha-do-Brasil extraído por CO₂ supercrítico.

Análise	Resultado
Índice de peróxido	3,4±0,2
Índice de saponificação	187,2±2,71
Índice de refração	1,458±0,002
Densidade	0,9069±0,003
Índice de acidez (% Ácido Oleico)	0,8131±0,005

Fonte: Santos *et al.*, (2012).

A Tabela 6 mostra que as quantidades de ácidos graxos obtidas são semelhantes às obtidas a partir de outros solventes (Tabela 5), com razões de insaturados/saturados aparentemente promissoras em termos nutricionais. Analisando as propriedades físico-químicas, os índices de acidez e de peróxido encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela ANVISA, enquanto os índices de saponificação, de refração e de densidade são muito semelhantes aos obtidos com outros solventes. Segundo Santos *et al.* (2012), o contato do dióxido de carbono com a água eleva a acidez do óleo, uma vez que o CO₂ se dissolve em ambiente aquoso. Dessa forma, o óleo obtido a partir desse método tende a ter maiores índices de acidez.

O uso de solventes em condições subcríticas também está em desenvolvimento. Zانqui *et al.* (2020) utilizaram n-propano para realizar a extração do óleo de castanha-do-Brasil mediante a diversas condições e obtiveram rendimentos de até 63,13%. Dessa forma, segundo os autores, as vantagens do uso desse solvente são: o fato de não ser um componente tóxico, a redução no tempo da extração e a manutenção dos constituintes químicos do óleo.

6.4 Extração assistida por ultrassom

O chamado método de extração assistida por ultrassom (UAE) é categorizado como um processo de química verde com o objetivo de acelerar a separação sólido-líquido. Ele consiste na produção de ondas de caráter ultrassônico para gerar bolhas que colidem entre si e aumentam a pressão do local, facilitando assim ruptura de tecidos (Schons, 2017; Mushtaq *et al.*, 2020).

A dificuldade em se estabelecer um método eficiente de extração envolvendo ultrassom é que compostos orgânicos podem se degradar por conta deste mecanismo, tais componentes sofrem termólise e são “atacados” quando ocorre um acúmulo de radicais OH⁻ no ambiente. Dessa forma, esse comportamento pode ser evitado ajustando a intensidade do ultrassom e utilizando uma metodologia menos agressiva. É recomendado que para extração de compostos orgânicos não sejam usadas sondas, e sim, o banho de sonificação. Os solventes mais utilizados são: metanol, etanol, acetonitrila, acetona e hexano aplicados em volumes na escala de mililitros a um tempo de 2-120 min de sonificação (Bendicho *et al.*, 2012).

Uma vantagem do processo de extração por método de ultrassom é o aumento da eficiência da extração através de cavitação acústica e outros efeitos mecânicos, esse fator pode ajudar na quebra da parede celular, facilitando assim a penetração do solvente na fonte oleosa. Outro fator seria a agitação do solvente usado para extração, o que aumenta a área de contato entre as partes, permitindo uma melhor penetração na amostra. Além disso, há uma redução no tempo de extração, consumo de solvente e na temperatura empregada para extração, o que ajuda a evitar danos térmicos ao material e perda de compostos bioativos (Mushtaq *et al.*, 2020).

Schons (2017) realizou um estudo da extração de óleo de castanha-do-Brasil por método UAE utilizando hexano como solvente a partir de 120 minutos de sonificação e 45 KHz de frequência com uma temperatura média de 35°C. Os resultados são expostos na Tabela 8.

Tabela 8 - Ácidos graxos presentes no óleo de castanha-do-Brasil extraído por ultrassom.

Ácido Graxo	Quantidade (%)
Ácido Araquídico C20:0	0,2±0,11
Ácido Palmítico C16:0	15,3±0,09
Ácido Esteárico C18:0	12,1±0,07
Ácido Oleico C18:1	32,1±0,12
Ácido Linoleico C18:2	36,5±0,08
Ácido Linolênico C18:3	0,12±0,16
SFA	27,6
MUFA	32,1
PUFA	36,62
PUFA/SFA	1,33
MUFA/SFA	1,16
PUFA/MUFA	1,14
Rendimento (%)	37,38

Fonte: Schons (2017).

Ao comparar com a composição de óleos obtidos por outras metodologias (Tabela 5) é possível perceber um padrão estabelecido entre os resultados. Analisando os valores de razões pode-se dizer que, em termos nutricionais, os valores obtidos por Schons (2017) são levemente inferiores aos estabelecidos por Santos *et al.* (2012), porém, a um tempo bem menor de processamento.

Antes de viabilizar o método é necessária uma análise das características físico-químicas com base na Resolução RDC nº481 da agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA). Na Tabela 9 estão os valores de algumas características físico-químicas do óleo de castanha-do-Brasil.

Tabela 9 - Propriedades físico-químicas do óleo de castanha-do-Brasil extraído por ultrassom.

Análise	Resultado
Acidez total (mgNaOH/g)	2,57
Ácido oleico (%)	1,29
Cinzas (% m/m)	0,086
Densidade (g/mL)	0,9165
Índice de iodo (gI ₂ /100g)	85,8
Índice de peróxido (meq/Kg)	5,74
Índice de refração	1,46
Índice de saponificação (mgKOH/g)	191,62
Umidade (%)	0,3

Fonte: Schons (2017).

Os resultados apresentados por Schons, (2017), na Tabela 9, indicam que o óleo possui parâmetros compatíveis com a vigente legislação para óleos não refinados. Porém, o estudo apresentou rendimento de 37,38%, menor do que a média de extrações padrão por hexano (69%) (Cornelio-Santiago *et al.*, 2019). Dessa forma, para viabilizar a metodologia, seria preciso observar se a quantidade de solvente foi consideravelmente menor do que na extração padrão e se o tempo de extração reduzido compensaria a queda de eficiência em termos produtivos.

7. Aplicações na indústria

7.1 Indústria alimentícia

O teor nutritivo de nozes e frutos secos foi estudado por Ros (2009), e, algo que é estabelecido é que amostras desse tipo possuem alto teor total de gordura (entre 46% e 76%), o que proveria entre 20 e 30 kJ por grama de noz. No entanto, mesmo que sejam ricos em lipídios, a composição da castanha não é prejudicial por apresentar baixa concentração de ácidos graxos saturados. Além disso, nozes também são fonte de proteínas (entre 8% e 25%) e de arginina, um importante aminoácido precursor do vasodilatador óxido nítrico (Huynh, 2006; Ros, 2009).

A Tabela 10 expõe de forma comparativa os valores nutricionais da castanha-do-Brasil e outros componentes vegetais semelhantes.

Tabela 10 - Teores nutricionais para cada 100g de castanhas.

Castanha	Energia (kJ)	Gorduras totais	SFA	MUFA	PUFA	Esteróis vegetais	Proteínas	Arginina	Fibras	Folato	α -tocoferol	Cálcio	Magnésio	Potássio
Amêndoa-de-coco	2418	50,6	3,9	32,2	12,2	0,12	21,3	2,47	8,8	0,000029	0,0259	0,248	0,275	0,728
Castanha-do-Brasil	2743	66,4	15,1	24,5	20,6	N/A	14,3	2,15	8,5	0,000022	0,0057	0,16	0,376	0,659
Caju	2314	46,4	9,2	27,3	7,8	0,158	18,2	2,12	5,9	0,000025	0,0009	0,037	0,292	0,66
Avelã	2629	60,8	4,5	45,7	7,9	0,096	15	2,21	10,4	0,000113	0,015	0,114	0,163	0,68
Macadâmia	3004	75,8	12,1	58,9	1,5	0,116	7,9	1,4	6	0,000011	0,0005	0,085	0,13	0,368
Amendoim	2448	49,7	6,9	24,6	15,7	N/A	23,7	3,1	8	0,000145	0,0069	0,054	0,176	0,658
Pecan	2889	72	6,2	40,8	21,6	0,102	9,2	1,18	8,4	0,000022	0,0014	0,07	0,121	0,41
Pinhão	2816	68,4	4,9	18,8	34,1	0,141	13,7	2,41	3,7	0,000034	0,0093	0,016	0,251	0,597
Pistache	2332	44,4	5,4	23,3	13,5	0,214	20,6	2,03	9	0,000051	0,0023	0,107	0,121	1,025
Noz	2738	65,2	6,1	8,9	47,2	0,072	15,2	2,28	6,4	0,000098	0,0007	0,098	0,158	0,441

Fonte: Ros (2009).

Sendo assim, é possível observar o alto teor de SFA (ácidos graxos saturados) em contrapartida a um teor mais baixo de MUFA (ácidos graxos monoinsaturados) e um percentual mediano de PUFA (ácidos graxos polinsaturados), obtendo assim as razões PUFA/SFA (1,36), MUFA/SFA (1,62) e PUFA/MUFA (0,84). As razões de ácidos graxos podem prever alguns efeitos biológicos que uma dieta com esse componente pode acarretar, o mais evidente é o acúmulo de colesterol e LDL no fígado e artérias no corpo humano. Dessa forma, alimentos com maiores teores de SFA tendem a forçar um acúmulo de LDL, enquanto um maior percentual de PUFA diminui os índices de colesterol (West *et al.*, 2020).

O paralelo com outros componentes vegetais indica um índice indesejado de SFA. Porém, ao buscar dados de alimentos de origem animal, é possível inferir que a castanha-do-Brasil ainda possui valores nutricionais benéficos nesse sentido. A título de comparação, os dados de razões de ácidos graxos para alimentos de origem bovina coletados por Fernandes (2007) mostram teores de SFA acima de 50% com razões MUFA/SFA e PUFA/SFA sempre abaixo de 1.

O óleo de castanha-do-Brasil é rico em ácidos graxos insaturados (69,5%), possuindo assim um alto teor de ácidos oleico (28,5%) e linoleico (36,0%). Além disso, destaca-se o tocoferol encontrado na composição. Sendo presentes β -tocoferol e γ -tocoferol em maiores proporções e α -tocoferol como componente minoritário, resultado bem característico. Considerando estas características, estudos mostram que, em geral, α -tocoferol é mais reativo contra oxidação do que o β -tocoferol por ser mais reativo quimicamente. Porém, altas proporções de β e γ -tocoferol podem ser adequadas para uma ação prolongada no organismo. Somado a isso, o produto contém esqualeno, componente que tem efeitos favoráveis à circulação sanguínea, ativação de células no corpo, melhora na capacidade imune e características anti-inflamatórias e antimicrobianas (Maestri *et al.*, 2020; Yu *et al.*, 2020).

Uma aplicação alimentícia foi estudada por Rufino *et al.* (2018), onde utilizaram o óleo de castanha-do-Brasil na dieta de galos reprodutores para testar mudanças no perfil bioquímico do organismo dessas espécies, além da melhora na capacidade reprodutiva e de potencial energético disponível. Como resultado, foi constatado que o óleo tem utilidade como aditivo energético e melhora o desempenho reprodutivo da espécie, além de aumentar índices de colesterol e triglicérides.

Além disso, Silva *et al.* (2020) realizaram um estudo sobre os efeitos do óleo de castanha-do-Brasil na alimentação de pacientes com síndromes metabólicas por 30 dias, e, como resultados, obtiveram uma redução na peroxidação lipídica do organismo, provocando redução do estresse oxidativo, reduzindo assim chances de problemas cardiovasculares, obesidade, hipertensão e diabetes.

7.2 Indústria de cosméticos

Desde os tempos antigos a natureza é fonte de matéria-prima para uso cosmético e cosmeceútico, alguns exemplos de plantas já são estabelecidos no mercado e possuem grandes aplicações, tais como alecrim (*Rosmarinus officinalis*), babosa (*Aloe vera*), limão (*Citrus sp*), jasmim (*Jasminum officinale*), entre outras. Um fator relevante para o crescimento e desenvolvimento desse mercado é o fato de a indústria estar avançando a um caminho de produtos saudáveis e naturais, seguindo assim, um consumo consciente e sustentável. Mais especificamente no Brasil, há um reconhecimento internacional da região amazônica como uma grande fonte de matérias-primas para uso fitocosmético, existindo assim mais de 150 patentes requeridas por diversos países para plantas como a castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*), andiroba (*Carapa guianensis*), copaíba (*Copaifera spp*), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), jambu (*Spilanthes oleracea*) e outros (Castellani, 2012).

Os óleos vegetais obtidos a partir de plantas são fontes diretas de ácidos graxos insaturados (óleos) e saturados (manteiga) e são caracterizados pela insolubilidade em água e solubilidade em alguns solventes orgânicos. A presença desses componentes somado a alguns ésteres isolados e álcoois graxos dão ao óleo em questão, uma característica de emulsificantes, emolientes e espessantes que possuem grande utilidade como cosméticos. Em geral, as fontes de óleo vegetal variam entre polpa e amêndoa, podendo ter como matéria-prima aproveitável para a indústria o óleo ou a manteiga. Castellani (2012) cita a castanha-do-Brasil como uma fonte de óleo (ácidos insaturados) tendo como parte característica para extração a amêndoa da espécie.

O ácido graxo mais abundante na pele humana é o ácido linoleico (também chamado de ω -6) e não é produzido pelo metabolismo. Dessa forma, há uma necessidade de estabelecer outras fontes desse composto para o organismo. Os ácidos linoleico e α -linolênico participam, a partir de um processo enzimático, da biossíntese de ácidos graxos de cadeia longa que são essenciais para os processos metabólicos naturais do organismo. Um exemplo de participação direta é na produção de fosfolípidios para membranas celulares, formados por um ácido graxo ligado a um fosfato e um álcool, com o ácido graxo formando uma barreira hidrofóbica e o restante da molécula desempenhando um papel hidrofílico (Costa *et al.*, 2012).

Como fonte de vitaminas, óleos vegetais também possuem importância na composição de produtos que combatem o envelhecimento extrínseco, isto é, ocasionado por fatores exógenos ao organismo, tais como exposição à radiação ultravioleta, tabagismo, consumo de álcool e poluição. Esse tipo de envelhecimento é causado pela formação de radicais livres muito reativos na superfície da pele, sendo caracterizados por não terem um número pareado de elétrons e poderem danificar estruturas celulares como DNA, proteínas e membranas. O papel do composto α -tocoferol, também conhecido como vitamina E é de ação protetora quando utilizado antes de uma exposição a raios solares. Em geral, cremes com 5% a 8% de tocoferol inibem a ação da metaloproteinase (enzima de degradação) e diminuem a peroxidação lipídica (processo de captura de elétrons de lípidios por parte dos radicais livres) (Monteiro & Baumann, 2012).

Gomes *et al.* (2020) aplicaram óleo de castanha-do-Brasil extraído por metodologia UAE em formulações com filtro UV metoxicinamato de octila em proporções de 20% e 30% de óleo para avaliação de uso com protetor solar. Como resultado,

foram observadas características de estabilidade em parâmetros de emulsão, mas, não atendeu aos resultados de fator fotoprotetivo, sendo necessários mais estudos para validar o potencial do produto.

Em virtude das características do óleo de castanha-do-Brasil, essa matéria-prima é muito utilizada para fabricação de uma variedade de cosméticos. Realizando uma pesquisa mercadológica, é possível encontrar formulações com óleo de castanha-do-Brasil em várias empresas deste ramo, a Natura Cosméticos possui formulações com base em castanha-do-Brasil nas linhas sabonetes e cremes esfoliantes, além de manteiga corporal para hidratação (Natura, 2022).

A *Amazon Oil* LTDA, empresa localizada em Belém – Pará, realiza a extração do óleo de castanha-do-Brasil a partir de prensagens a frio e sem adição de conservantes. Obtendo um óleo com características expostas nas Tabelas 11 e 12 e vendida principalmente de forma *B to B* (*Business to Business* – Comércio entre empresas) principalmente para empresas do ramo de cosméticos (*Amazon Oil*, 2022).

Tabela 11 - Especificações físico-químicas do óleo de castanha-do-Brasil da *Amazon Oil* LTDA.

Dados Físico-Químicos do óleo de castanha-do-Brasil		
Característica	Unidade	Apresentação
Aparência (25°C)	----	Líquido
Cor	----	Amarelo translúcido
Odor	----	Característico
Índice de acidez	mgNAOH/g	<20
Índice de peróxido	10 meqO2/kg	<10
Índice de iodo	gI2/100g	90 - 110
Índice de saponificação	mgKOH/g	180 - 210
Densidade	25°C g/mL	0,910 - 0,925
Índice de refração (40°C)	----	1,46 - 1,48
Ponto de Fusão	°C	4

Fonte: *Amazon oil* (2022).

Tabela 12 - Especificações de ácidos graxos do óleo de castanha-do-Brasil da *Amazon oil* LTDA.

Composição de ácidos graxos		
Característica	Unidade	Apresentação
Ácido palmítico C 16:0	% peso	16 - 20
Ácido palmitoleico C 16:1	% peso	0,5 - 1,2
Ácido esteárico C 18:0	% peso	9 - 13
Ácido oleico C 18:1	% peso	36 - 45
Ácido linoleico C 18:2	% peso	33 - 38
Outros	% peso	4 - 6
Saturados	%	25
Insaturados	%	75

Fonte: *Amazon oil* (2022)

Dessa forma, é possível visualizar que o óleo de castanha-do-Brasil comercializado como base para produtos cosméticos possui composição e características físico-químicas semelhantes às obtidas nas extrações em laboratório citadas anteriormente.

7.3 Indústria de combustíveis

Biodiesel é o nome dado para o produto de uma transesterificação de um óleo de origem vegetal. Esse tipo de combustível é tido como promissor na substituição de combustíveis fósseis por conta de características menos poluentes e mais renováveis quando comparado ao diesel tradicional. O objetivo do processo de transesterificação é de diminuir a viscosidade do óleo quebrando as cadeias longas de ácidos graxos em ésteres menores na presença de um catalisador (Knothe & Razon, 2017).

A substituição de combustíveis fósseis por biodiesel gera uma redução de 48% de monóxido de carbono, 47% de material particulado e 67% de hidrocarbonetos. Porém, ainda existem dificuldades quanto ao maior desgaste de motores (Santos *et al.*, 2015).

Óleos de origem vegetal geralmente não são adequados para uma produção industrial em larga escala de biodiesel. Ao comparar os custos de preparação da matéria-prima e o mercado vigente do produto a ser obtido. Assim, é mais viável um foco maior na indústria de cosméticos ou de alimentos. No entanto, matérias-primas de qualidade inferior não aproveitáveis em outras áreas podem ter uma utilidade na fabricação de um combustível renovável e menos poluente (Santos *et al.*, 2015).

Santos *et al.* (2015) utilizaram um óleo de castanha-do-Brasil de baixa qualidade em termos nutricionais para avaliar a utilidade desse produto como biodiesel. Conduzindo a reação de transesterificação em temperatura de 60°C e utilizando metanol como agente em proporções de 6/1 e 9/1 em relação ao óleo, variando também a quantidade de catalisador (KOH) em 1% e 1,5%. Os resultados foram promissores no sentido de atender aos limites estabelecidos pela RESOLUÇÃO ANP N°45 referentes a biodiesel nos quesitos massa específica, ponto de fulgor e índice de voláteis, tendo uma necessidade de ajuste na quantidade de catalisador para o índice de acidez e demonstrando uma viscosidade cinemática elevada para os padrões. Porém, a preparação de misturas (biodiesel + diesel) pode viabilizar o uso do produto nesse sentido.

8. Considerações Finais

O óleo de castanha-do-Brasil possui diversas aplicações e potenciais a serem explorados. O potencial nutricional já estabelecido culturalmente é validado pela quantidade de ácidos graxos e suas razões de insaturação, além da presença de vitaminas e outros compostos com benefício comprovado para o organismo. No campo dos cosméticos, a literatura confirma o potencial do óleo e da amêndoa, porém, há a necessidade de estudos mais aprofundados e incentivo de empresas deste ramo para que haja uma exploração mais eficiente desse insumo. Por fim, a produção de biocombustíveis a partir dessa matéria-prima se mostrou possível com algumas limitações.

Dentre os métodos de extração citados, todos possuem vantagens e desvantagens. Tendo em vista a aplicação do processo apenas por prensagem, observa-se uma redução no tempo de processamento. Porém, o óleo não é extraído por inteiro e tem uma perda de valor em termos oxidativos. Já no uso de solventes, este é o processo mais estabelecido, no entanto, a discussão se estendeu para a escolha do solvente e o uso de novas técnicas para otimizar o processo, como, o uso de fluido em condições supercríticas ou a emissão de ultrassom aplicado ao pré-tratamento da matéria. A pesquisa demonstrou que solventes de maior uso na indústria, como o hexano, possuíram melhores resultados, enquanto solventes verdes não demonstraram o mesmo potencial. Tendo em vista as técnicas experimentais citadas (supercrítico e ultrassom), ambas demonstraram bom rendimento, porém, para pesquisas futuras necessitam de uma queda no custo de implementação para serem amplamente utilizadas na indústria.

Como sugestões para futuros trabalhos envolvendo aplicações para o óleo de castanha-do-Brasil, destacam-se estudos na área de alimentos, explorando as características nutricionais do produto, como no estudo de Rufino *et al.* (2018), e podem ser realizadas metodologias para teste em outras espécies para avaliação de melhora de capacidade reprodutora e índices energéticos. O trabalho de Silva *et al.* (2020) também se mostrou promissor e evidencia uma possível capacidade do óleo como matéria-prima para fármacos com ação no organismo de pessoas com síndromes metabólicas. Além disso, Gomes *et al.* (2020) obtiveram resultados insatisfatórios para filtro de raios UV com a formulação utilizada, porém, o teste de outras composições

envolvendo o óleo de castanha-do-Brasil pode melhorar o efeito. Por fim, o biodiesel produzido a partir desse óleo foi estabelecido como componente em formulações com óleo diesel, dessa forma, há uma necessidade de avaliação dessas proporções para evidenciar qual teria a melhor capacidade energética e, conseqüentemente, melhor utilidade na indústria.

Referências

- Al Juhami, F., Uslu, N., & Özcan, M. M. (2017). The effect of preultrasonic process on oil content and fatty acid composition of hazelnut, peanut and black cumin seeds. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), e13335. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13335>.
- Alzahrani, H. R., Kumakli, H., Ampiah, E., Mehari, T., Thornton, A. J., Babyak, C. M., & Fakayode, S. O. (2017). Determination of macro, essential trace elements, toxic heavy metal concentrations, crude oil extracts and ash composition from Saudi Arabian fruits and vegetables having medicinal values. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(7), 906–913. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.09.012>.
- Amazon Oil. (2022). Castanha-do-Brasil. <https://www.amazonoil.com.br/pt/produtos-da-floresta>.
- Anastas, P. & Eghbali, N. (2010). Green Chemistry: Principles and Practice. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 301–312. <https://doi.org/10.1039/b918763b>.
- Aragón, L. E. (2018). A dimensão internacional da Amazônia: um aporte para sua interpretação. *Revista NERA*, 21, 42, 15-33.
- Baldoni, A. B., Teodoro, L. P. R., Teodoro, P. E., Tonini, H., Tardin, F. D., Botin, A. A., Hoogerheide, E. S. S., Botelho, S. C. C., Lulu, J., Farias Neto, A. L. & Azevedo, V. C. R. (2020). Genetic diversity of Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in southern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 458, 117795. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117795>.
- Brasil. (2021). Resolução RDC/ANVISA/MS nº 481, de 15 de março de 2021. Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.
- Bendicho, C., de la Calle, I., Pena, F., Costas, M., Cabaleiro, N. & Lavilla, I. (2012) Ultrasound-assisted pretreatment of solid samples in the context of green analytical chemistry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 31. 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2011.06.018>.
- Bubalo, M. C., Vidović, S., Redovniković, I. R., & Jokić, S. (2015). Green solvents for green technologies. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 90(9), 1631–1639. doi:10.1002/jctb.4668.
- Campos Filho, E. M. & Sartorelli, P. (2015). Guia de árvores com valor econômico.
- Castellani, D. C. (2012). Cosmecêuticos botânicos. Tratado Internacional de Cosmecêuticos. 1. *Guanabara Koogan*.
- Chamchong, M., Waeruwana, D., Guntornkun, C & Alam, T. (2021). Effect of storage conditions on rancidity and antioxidant activity of gac oil compared with healthy oils. *Agriculture and Natural Resources*, 55, 201–208.
- Cornelio-Santiago, H. P., Mazalli, M. R., Rodrigues, C. E. C., & Oliveira, A. L. (2019). Extraction of Brazil nut kernel oil using green solvents: Effects of the process variables in the oil yield and composition. *Journal of Food Process Engineering*. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13271>.
- Costa, A. (2012). O conceito de cosmecêutico. Tratado Internacional de Cosmecêuticos. 1. *Guanabara Koogan*.
- Djikeng, F. T., Selle, E., Morfor, A. T., Tiencheu, B., Touko, B. A. H., Bounjo, G. T., Houketchang, S. N., Karuna, M. S. L., Linder, M., Ngoufack, F. Z. & Womeni, H. M. (2017). Effect of Boiling and roasting on lipid quality, proximate composition, and mineral content of walnut seeds (*Tetracarpidium conophorum*) produced and commercialized in Kumba, South-West Region Cameroon. *Food Science & Nutrition*, 6(2), 417–423. <https://doi.org/10.1002/fsn3.570>.
- EMBRAPA. (2012). Árvore do conhecimento – Tecnologia de alimentos. Processamento. Disponível: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000gc8yuujq302wx5ok01dx9lcx1g7v3u.html.
- Emre, Y., Kurtoğlu, A., Emre, N., Güroy, B., & Güroy, D. (2015). Effect of replacing dietary fish oil with soybean oil on growth performance, fatty acid composition and haematological parameters of juvenile meagre, *Argyrosomus regius*. *Aquaculture Research*, 47(7), 2256–2265. <https://doi.org/10.1111/are.12677>.
- Fernandes, A. R. M., Sampaio, A. A. M., Henrique, W., Oliveiro, E. A., Tullio, R. R., Pivaro, T. (2007). Composição dos lipídios intramusculares de bovinos Canchim terminados em confinamento, recebendo dietas com silagem de milho ou cana-de-açúcar e grãos de girassol. *Reunião Anual da sociedade brasileira de zootecnia*. Unesp-jaboticabal.
- Freixo, A. M. S. Normalização de um processo de extração de óleos vegetais. Análise de variáveis críticas do processo. (2018). Tese de mestrado, universidade nova de Lisboa, Lisboa, Portugal. Disponível: <https://run.unl.pt/handle/10362/39807>.
- Gomes, L. M., Marino, C. J. M., Cotrim, A. C. M., Nogueiro, R., Valladão D. M. S., Torres, M. P. R. & Ribeiro, E. B. (2020) Development and sun protection factor of emulsionated formulation containing Brazil nut oil. *Scientific Electronic Archives*, 13 (7), 130-141. <http://dx.doi.org/10.36560/13720201022>.
- Guariguata, M. R., Cronkleton, P., Duchelle, A. E. & Zuidema, P. A. (2017). Revisiting the “cornerstone of Amazonian conservation”: a socioecological assessment of Brazil nut exploitation. *Biodiversity and Conservation*, 26(9), 2007–2027. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1355-3>.
- Hashempour-Baltork, F., Torbati, M., Azadmard-Damirchi, S., & Savage, G. P. (2016). Vegetable oil blending: A review of physicochemical, nutritional and health effects. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.007>.
- Huynh, N. N. & Chin-Dusting, J. (2006). Amino acids, arginase and nitric oxide in vascular health. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*. 33. 1–8. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.2006.04316.x>.

- Ji, J., Liu, Y., Shi, L., Wang, N., & Wang, X. (2019). Effect of roasting treatment on the chemical composition of sesame oil. *LWT – Food Science and Technology*, 101, 191-200. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.008>.
- Karaman, S., Karasu, S., Tornuk, F., Toker, O. S., Geçgel, Ü., Sagdic, O., Ozcan, N. & Gül, O. (2015). Recovery Potential of Cold Press Byproducts Obtained from the Edible Oil Industry: Physicochemical, Bioactive, and Antimicrobial Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(8), 2305–2313. <https://doi.org/10.1021/jf504390t>.
- Kluczkowski, A. M., Oliveira, L. B., Maciel, B. J. & Kluczkowski-Junior, A. (2021). Caracterização e extração do óleo de castanha-do-Brasil: revisão. *Avanços em ciência e tecnologia de alimentos*. 3, 392-402. <https://doi.org/10.37885/210203177>.
- Knothe, G. & Razon, L. F. (2017). Biodiesel fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 58, 36–59. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.08.001>.
- Kodad, O., Estopañán, G., Juan, T., & Socias i Company, R. (2013). Protein Content and Oil Composition of Almond from Moroccan Seedlings: Genetic Diversity, Oil Quality and Geographical Origin. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90(2), 243–252. <https://doi.org/10.1007/s11746-012-2166-z>.
- Lančaričová, A., Havrlentová, M., Muchová, D. & Bednářová, A. (2016). Oil content and fatty acids composition of poppy seeds cultivated in two localities of Slovakia. *Agriculture (Polnohospodárstvo)*, 62(1), 19–27. <https://doi.org/10.1515/agri-2016-0003>.
- Maestri, D., Cittadini, M. C., Bodoira, R., & Martínez, M. (2020). Tree Nut Oils: Chemical Profiles, Extraction, Stability and Quality Concerns. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 122, 1900450. doi:10.1002/ejlt.201900450.
- Masiero, J. F., Barbosa, E. J., de Oliveira Macedo, L., de Souza, A., Nishitani Yukuyama, M., Arantes, G. J., & Bou-Chacra, N. A. (2021). Vegetable oils in pharmaceutical and cosmetic lipid-based nanocarriers preparations. *Industrial Crops and Products*, 170, 113838. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113838>.
- Monteiro, E. O. & Baumann, L. (2012). Antioxidantes. Tratado Internacional de Cosméticos. 1. *Guanabara Koogan*.
- Muniz, M. A. P., dos Santos, M. N. F., da Costa, C. E. F., Morais, L., Lamarão, M. L. N., Ribeiro-Costa, R., M. & Silva-Junior, J. O. C. (2015). Physicochemical characterization, fatty acid composition, and thermal analysis of *Bertholletia excelsa* HBK oil. *Pharmacognosy Magazine*, 11(41), 147. doi:10.4103/0973-1296.149730.
- Mushtaq, A., Roobab, U., Denoya, G. I., Inam-Ur-Raheem, M., Gullón, B., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., Zeng, X., Wali, A. & Aadil, R. M. (2020). Advances in green processing of seed oils using ultrasound-assisted extraction: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14740>.
- Natura Cosméticos S/A. (2022). Biocosméticos. <https://www.naturabrasil.fr/pt-pt/acerca-da-natura-brasil/as-nossas-gamas/ekos>.
- Nhan, N. P. T., Hien, T. T., Nhan, L. T. H., Anh, P. N. Q., Huy, L. T., Trinh, N. T. C., Nguyen, D. T & Bach, L. G. (2018). Application of Response Surface Methodology to Optimize the Process of Saponification Reaction from Coconut Oil in Ben Tre - Vietnam. *Solid State Phenomena*, 279, 235–239. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.279.235>.
- Ottobelli, I., Facundo, V. A., Zuliani, J., Luz, C. C., Brasil, H. O. B., Militão, J. S. L. T. & Braz-Filho, R. (2011). Estudo químico de duas plantas medicinais da amazônia: *Philodendron scabrum* k. Krause (araceae) e *Vatairea guianensis* aubl. (fabaceae). *Acta Amazonica*, 41(3), 393–400. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672011000300009>.
- Pinto, J. R., Ribeiro, M. G. T. C., Machado, A. A. S. C. (2019). O desafio na escolha dos solventes em síntese – O *workup* como exemplo. *Química nova*, 42, 8, 971-982. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170400>
- Ramalho, H. F. & Suarez, P. A. Z. (2013). A Química dos Óleos e Gorduras e seus Processos de Extração e Refino. *Revista Virtual de Química*, 5 (1), 2-15.
- Ramkumar, S. & Kirubakaran, V. (2016). Biodiesel from vegetable oil as alternate fuel for C.I engine and feasibility study of thermal cracking: A critical review. *Energy Conversion and Management*, 118, 155–169. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.03.071>.
- Ros, E. (2009). Nuts and novel biomarkers of cardiovascular disease. *American Society for Nutrition*, 89, 1649S–56S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.26736R>.
- Rufino, J. P. F., Cruz, F. G. G., Melo, R. D., Feijó, J. C., Costa, A. P. G., Bezerra, N. S. (2018). Brazil nut oil in diets for breeder cocks. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 40. e37472. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.37472>.
- Sahasrabudhe, S. N., Rodriguez-Martinez, V., O'Meara, M., & Farkas, B. E. (2017). Density, viscosity, and surface tension of five vegetable oils at elevated temperatures: Measurement and modeling. *International Journal of Food Properties*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.136090>.
- Santos, A. L., Kunrath, N. F., Souza, I. S., Carvalho, E. G. (2015). Avaliação físico-química de óleo residual de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) e sua conversão em biodiesel. *Enciclopédia biosfera*, 11, 22, 3550-3561.
- Santos, D. L., Moraes, J. S., Araújo, Z. T. de S. & da Silva, I. R. (2019). Saberes tradicionais sobre plantas medicinais na conservação da biodiversidade amazônica. *Ciências em Foco*, 12, 1.
- Santos, O. V., Corrêa, N. C. F., Soares, F. A. S. M., Gioielli, L. A., Costa, C. E. F., & Lannes, S. C. S. (2012). Chemical evaluation and thermal behavior of Brazil nut oil obtained by different extraction processes. *Food Research International*, 47(2), 253–258. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.038>.
- Sartori, A. G. de O., Sampaio, G. R., Bastos, D. H. M., d'Arce, M. A. B. R., & Skibsted, L. H. (2018). Volatiles and Tendency of Radical Formation of Cold-Pressed Brazil Nut Oil During Ambient Storage. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 95(6), 721–730. <https://doi.org/10.1002/aocs.12073>.
- Schöngart, J., Gribel, R., da Fonseca-Junior, S. F., & Haugaasen, T. (2015). Age and Growth Patterns of Brazil Nut Trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in Amazonia, Brazil. *Biotropica*, 47(5), 550–558. <https://doi.org/10.1111/btp.12243>.
- Schons, J. I., Fiori, K. P., Ribeiro, E. B., Andrighetti, C. R., Nogueira, R. & Valladão, D. S. Extração assistida por ultrassom e caracterização do óleo da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.). (2017). *Interciencia*, 42, 9, 586-590.

Silva Junior, E. C., Wadt, L. H. O., Silva, K. E., Lima, R. M. B., Batista, K. D., Guedes, M. C., Carvalho, G. S., de Carvalho, T. S., dos Reis, A. R., Lopes, G. & Guilherme, L. R. G. (2017). Natural variation of selenium in Brazil nuts and soils from the Amazon region. *Chemosphere*, 188, 650–658. <https://doi:10.1016/j.chemosphere.2017.08.158>.

Silva, L. M. C., de Melo, M. L. P., Reis, F. V. F., Monteiro, M. C., dos Santos, S. M., Gomes, B. A. Q., & da Silva, L. H. M. (2020). Comparison of the Effects of Brazil Nut Oil and Soybean Oil on the Cardiometabolic Parameters of Patients with Metabolic Syndrome: A Randomized Trial. *Nutrients*, 12(1), 46. <https://doi:10.3390/nu12010046>.

Stockler-Pinto, M. B., Carrero, J. J., Weide, L. C. C., Cozzolino, S. M. F., Mafra, D. (2015). Effect of selenium supplementation via Brazil nut (*Bertholletia excelsa* HBK) on thyroid hormones levels in hemodialysis patients: a pilot study. *Nutrición Hospitalaria*, 32(4), 1808-1812. <https://10.3305/nh.2015.32.4.9384>.

Vasquez, W. V., Hernández, D. M., del Hierro, J. N., Martín, D., Cano, M. P., & Fornari, T. (2021). Supercritical carbon dioxide extraction of oil and minor lipid compounds of cake byproduct from Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) beverage production. *The Journal of Supercritical Fluids*, 171, 105188. <https://doi:10.1016/j.supflu.2021.105188>.

West, A. L., Miles, E. A., Lillycrop, K. A., Napier, J. A., Calder, P. C., & Burdge, G. C. (2020). Genetically modified plants are an alternative to oily fish for providing n -3 polyunsaturated fatty acids in the human diet: A summary of the findings of a Biotechnology and Biological Sciences Research Council funded project. *Nutrition Bulletin*, 46(1), 60–68. <https://doi:10.1111/nbu.12478>.

Xiao, Z., Liu, R., Wu, H., Liu, Q. & Li, C. (2020). Industrial Plant Oil Extraction. Industrial Oil Plant: Application Principles and Green Technologies. *Springer*.

Yu, W., Sun, K., Zhang, L., Wan X., Chen, C., Su, R., Liu, Y., Wang, C. H. & Yang, H. (2020). Investigation of the effects of squalene and squalene epoxides on the homeostasis of coenzyme Q10 in rats by UPLC-Orbitrap MS. *Chemistry & Biodiversity*. <https://doi:10.1002/cbdv.202000243>.

Zanqui, A., da Silva, C., Ressutte, J., de Moraes, D., Santos, J., Eberlin, M., Cardozo-filho, L., Visentainer, J. V., Gomez, S. T. M. & Matsushita, M. (2020). Brazil Nut Oil Extraction Using Subcritical n-Propane: Advantages and Chemical Composition. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. <https://doi:10.21577/0103-5053.20190225>.

Zhou, L., Chen, F., Hao, L., Du, Y., & Liu, C. (2019). Peanut Oil Body Composition and Stability. *Journal of Food Science*. 84, 10, 2812-2919 <https://doi:10.1111/1750-3841.14801>.