

Belém, PA / Junho, 2024

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Qualidade oxidativa durante o armazenamento de sementes de andiroba beneficiadas para prensagem

Laura Figueiredo Abreu⁽¹⁾, Osvaldo Ryohei Kato⁽¹⁾, Breno Augusto Cabral Thomaz⁽²⁾ e Sheineanne Borges de Jesus⁽²⁾

⁽¹⁾ Pesquisadores, Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA. ⁽²⁾ Bolsista, Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA.

Resumo — O óleo de andiroba, além de um anti-inflamatório popular, vem ganhando destaque em setores como o cosmético e de fitoterápicos. Contudo, suas sementes deterioram rapidamente após dispersão no solo, demandando estudos acerca da manutenção da sua qualidade. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar e estimar os índices de qualidade oxidativa de sementes de andiroba durante o armazenamento, depois de submetidas a um processo piloto de conservação voltado para prensagem. Para tal, sementes in natura foram cortadas, secas, embaladas e armazenadas em condições ambientais de umidade e temperatura. Além da determinação de sua composição centesimal antes da secagem, a qualidade das sementes processadas foi avaliada a partir das análises dos índices de acidez (IA) e de peróxidos (IP) do óleo obtido por prensagem. Foi realizada análise de regressão para construção de modelos de predição de IA e IP em função do tempo. As sementes, compostas majoritariamente por lipídios (60% em base seca), apresentaram IA e IP do óleo recém-extraído dentro dos limites estabelecidos pela norma vigente. Contudo, durante o armazenamento, os índices aumentaram significativamente, estimando-se que as sementes podem fornecer óleos com índices máximos de 18,10 mg KOH g⁻¹ e 3,90 meq kg⁻¹, respectivamente, no período de um ano.

Termos para indexação: *Carapa*, oxidação, acidez, peróxidos, embalagem plástica.

Oxidative quality during storage of beneficiated andiroba seeds for pressing

Abstract — Andiroba oil, in addition to being a popular anti-inflammatory, has been gaining prominence in sectors such as cosmetics and herbal medicine. However, its seeds deteriorate quickly after dispersion in the soil, requiring studies on maintaining their quality. Thus, the objective of this work was to determine and estimate the oxidative quality indices of andiroba seeds, during storage, after being subjected to a pilot conservation process focused on pressing. To this end, fresh seeds were cut, dried, packaged and stored in ambient conditions of humidity and temperature. In addition to determining their proximate composition before drying, the quality of the processed seeds was evaluated based on the analysis of the acidity value (AV) and peroxide value (PV) of the oil obtained by pressing. Regression analysis was performed

Embrapa Amazônia Oriental
Tv. Dr. Enéas Pinheiro, s/n
66095-903 – Belém, PA
www.embrapa.br/amazonia-oriental
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Bruno Giovany de Maria

Secretária-executiva

Narjara de Fátima Galiza da Silva

Pastana

Membros

Adelina do Socorro Serrão Belém,

Alessandra Keiko Nakasone,

Andrea Liliane Pereira da Silva,

Anna Christina Monteiro Roffé

Borges, Clivia Danúbia Pinho da

Costa Castro, Delman de Almeida

Gonçalves, Jamil Chaar El Husny,

Marivaldo Rodrigues Figueiró e

Vitor Trindade Lôbo

Edição executiva e revisão de texto

Narjara de Fátima Galiza da Silva

Pastana

Normalização bibliográfica

Andréa Liliane Pereira da Silva

(CRB-2/1166)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Vitor Trindade Lôbo

Publicação digital: PDF

Todos os direitos
reservados à Embrapa.

to build AV and PV prediction models as a function of time. The seeds, composed mainly of lipids (60% on dry basis), presented AV and PV, of the recently extracted oil, within the limits established by the current standard. However, during storage, the values increased significantly, estimating that the seeds can provide oils with maximum values of 18.1 mg KOH g⁻¹ and 3.90 meq kg⁻¹, respectively, over a period of one year.

Index terms: *Carapa*, oxidation, acidity, peroxides, plastic packaging.

Introdução

A andirobeira (*Carapa guianensis* Aublet.), pertencente à família das meliáceas, é uma espécie abundante na região da Amazônia Legal, atingindo principalmente os estados do Pará, Amapá, Amazonas, Maranhão e Roraima, com predominância nas várzeas. É uma árvore de grande porte e madeira nobre, podendo alcançar, na fase adulta, uma produtividade entre 50 e 200 kg de uma semente rica em óleo (Shanley; Medina, 2005; Homma; Menezes, 2014).

O aproveitamento e o uso do óleo das sementes de andiroba são bastante difundidos entre as comunidades tradicionais da região Norte do Brasil, que lhe atribuem propriedades medicinais e curativas como analgésico, antimicrobiano, antioxidante e antialérgico, destacando-se principalmente como agente anti-inflamatório e repelente (Shanley; Medina, 2005; Schmal et al., 2006; Silva et al., 2010; Nardi et al., 2016; Sousa et al., 2021). Tais propriedades são associadas a um grupo de substâncias denominadas limonoides, característico da família das meliáceas, confirmadas em estudos recentes que vêm atestando também outras aplicações (Roy; Saraf, 2006; Oliveira et al., 2018). Também apresenta em sua composição triterpenos, flavonoides, cumarinas, derivados do ácido benzoico e ácidos graxos de cadeia longa (Sousa et al., 2021; Farag; Gad, 2022). Além do artesanal, seu uso por indústrias, juntamente a outros produtos florestais não madeireiros (PFNMs), vem expandindo de tal forma que se encontram no mercado linhas inteiras de cosméticos, velas repelentes e outros (Silva et al., 2010). A valorização do seu óleo, entre os anos de 2009 e 2018, alcançou níveis acima de 300%, chegando a variar de R\$ 10 a R\$ 89 por litro, nos municípios de Breves, PA, e Santana, AP, respectivamente (Guimarães et al., 2019).

Por sua vez, a qualidade do óleo de andiroba é diretamente afetada pela forma como as

sementes são manejadas e beneficiadas, já que os frutos quando caem eclodem e as dispersam diretamente no solo. É muito comum a infestação pela chamada broca-da-andiroba, identificada como espécies de lagartas de mariposas do gênero *Hypsipyla* ssp. Esses organismos podem causar predação da ordem de 20 a 60% das sementes, considerada o maior fator de perda de sementes de andiroba, inutilizando-as para extração de óleos (Lira-Guedes; Jesus-Barros, 2017). Iniciativas de capacitação técnica, disponibilização de manuais de manejo de sementes e boas práticas de coleta vêm auxiliando produtores na redução das perdas no campo. As principais recomendações são evitar a coleta de sementes com injúrias e a imersão em água por pelo menos 24 horas (Lira-Guedes; Nardi, 2015; Mendonça et al., 2019). Além de promover o afogamento das larvas, a imersão pode auxiliar na manutenção das funções fisiológicas das sementes, já que são consideradas recalcitrantes (Ferraz et al., 2002). Com umidade próxima de 50%, para chegar aos locais que realizam a extração mecânica, as sementes inteiras precisam passar por um beneficiamento mínimo, que normalmente é uma pré-secagem nas próprias comunidades extrativistas, ao ar livre ou em secadores solares, que pode levar até 40 dias (Mendonça; Ferraz, 2007; Nardi et al., 2016). Na década de 1950, o corte prévio das sementes de andiroba também já foi uma alternativa para reduzir o tempo de secagem (60–70 °C) para posterior prensagem a quente (90 °C), não excedendo 30% de rendimento, com umidade final de 8% (Homma; Menezes, 2014).

Após a coleta, o óleo pode ser obtido artesanal ou industrialmente, sendo a primeira forma ainda a mais praticada, demandando longos períodos, de 1 a 3 meses, muitas vezes, expondo as sementes a condições que impactam na qualidade do óleo (Mendonça; Ferraz, 2007; Pinto et al., 2010; Nardi et al., 2016).

Com o objetivo de aproximar a etapa de extração dos locais de coleta, vale destacar também que o mercado dispõe hoje de miniusinas de extração que possibilitam o corte, a secagem, a extração por prensagem e a filtragem de óleos de diferentes oleaginosas (Pinto et al., 2010). Mesmo com capacidade reduzida (8–15 kg/h), esses equipamentos em sua maioria são elétricos e ainda demandam um volume significativo de matéria-prima que justifique os custos de aquisição (acima de 20 mil reais), que ocorre normalmente de forma coletiva por associações e cooperativas, ou ainda subsidiadas por empresas interessadas nos produtos.

Assim, independentemente das diferentes formas de beneficiamento, aguardando transporte ou antes das etapas de extração do óleo, as sementes passam por um período de armazenamento, seja in natura, secas, inteiras, cortadas, em barracões ou ensacadas.

Durante o armazenamento, a qualidade das sementes e grãos oleaginosos, pode ser afetada por vários fatores internos e externos, como a sua própria composição (teor de óleo e umidade), pragas, doenças, danos mecânicos, temperatura, disponibilidade de oxigênio e umidade relativa do ar e forma de acondicionamento ou tipo de embalagem (Abreu et al., 2013; Singh et al., 2017; Gama et al., 2018).

Dentre os fatores internos, a instabilidade química dos lipídios de sementes oleaginosas pode ser considerada o fator principal de deterioração durante o seu envelhecimento. A formação de ácidos graxos livres é considerada o indicador do início do estresse oxidativo e peroxidação lipídica dessas matérias-primas, por ação enzimática ou autoxidativa (Singh et al., 2017; Gama et al., 2018). Para sua determinação, existem métodos que se resumem em titular, com soluções de álcali-padrão, a acidez do produto, do óleo extraído ou de suas soluções (aquosas ou alcoólicas). Os ácidos graxos livres podem ser quantificados como índices de acidez, acidez graxa ou álcool-solúvel determinados no óleo extraído ou diretamente nas sementes. A técnica mais utilizada é a determinação do índice de acidez (IA) no óleo, que é definido como o número de miligramas de hidróxido de potássio necessário para neutralizar um grama da amostra (mg KOH g^{-1}) (Instituto Adolfo Lutz, 2008). As substâncias resultantes da oxidação dos óleos podem ser quantificadas pela análise do índice de peróxidos (IP). Esse método determina todas as substâncias, em termos de miliequivalentes de peróxido por quilograma de amostra (meq kg^{-1}), que oxidam o iodeto de potássio nas condições do teste (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

Em relação aos fatores ambientais externos, o uso de embalagens para manutenção da qualidade de produtos perecíveis durante o armazenamento também é uma das alternativas para evitar a sua ação. É possível a utilização de sistemas de embalagem com diferentes propriedades de barreira, mantendo assim propriedades iniciais das sementes ou diminuindo seus processos de deterioração e envelhecimento. Os mais conhecidos são os filmes plásticos impermeáveis ao vapor de água, recipientes opacos contra incidência de raios ultravioleta, uso de vácuo ou injeção de gases

inertes para redução de oxigênio nos espaços livres (*headspace*) (Azeredo et al., 2012; Abreu et al., 2013).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar e estimar os índices de qualidade de sementes de andiroba armazenadas depois de submetidas a um processo piloto de conservação e armazenamento, com vistas à prensagem mecânica.

A publicação traz elementos de validação de uma tecnologia que agrega valor às sementes de andiroba para uso artesanal ou industrial. Por ser um produto florestal não madeireiro (PFNM) amplamente distribuído na região amazônica, é extraído, aproveitado e manejado majoritariamente por habitantes de áreas com baixo índice de desenvolvimento humano (IDH) e principalmente por mulheres e famílias em vulnerabilidade social e econômica. Além da produção de óleo, direcionado aos setores de transformação, o aproveitamento das sementes também reduz o índice de derrubada de sua árvore, que está em risco de extinção. Assim, a publicação tem aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 1, 2, 8, 9, 10, 12 e 15, com forte alinhamento às metas 2.3, 9.2, 12.2, 15.1 e 15.5.

Material e métodos

As sementes de andiroba foram provenientes de sistema agroflorestal (SAF) de cacau, andiroba, feijão e castanha de produtor associado da Cooperativa Mista do Município de Tomé-Açu (Camta), localizada na mesorregião Nordeste Paraense ($2^{\circ}40'54''\text{S}$ e $48^{\circ}16'11''\text{O}$). As sementes foram coletadas no mês de fevereiro, no dia anterior ao seu beneficiamento, e transportadas em caixa plástica para o Laboratório de Agroindústria da Embrapa Amazônia Oriental, em Belém, PA.

Beneficiamento das sementes e extração do óleo de andiroba

Cerca de 25 kg de sementes de andiroba foram pré-selecionados, em relação à presença de fungos, danos mecânicos e deterioração, e imersas em água, por 60 horas (tempo definido em experimentos anteriores), para eliminação de possíveis brocas-da-semente (*Hypsypyla* spp.). A água foi drenada uma única vez e, com auxílio de um processador mecânico de disco, com lâminas em aço carbono, as sementes foram cortadas ainda úmidas e com casca. Foram separados 20 kg, distribuídos igualmente em cinco bandejas de alumínio, em camadas de 1,5 cm de espessura. A secagem foi realizada em estufa, com circulação mecânica, a $45 \pm 5^{\circ}\text{C}$, até alcançar umidade em torno de 5% (cerca de 30 horas).

O material seco foi dividido em lotes iguais, que foram embalados em sacos de polietileno de baixa densidade (PEBD), com fechamento manual. Os sacos foram então colocados em caixa de polietileno de alta densidade (PEAD) opaca e com tampa não hermética. O armazenamento ocorreu em local coberto e arejado com temperatura e umidade ambientes. O clima da região, segundo a classificação Köppen, é do tipo Afi, tropical, chuvoso e sem ocorrência de inverno estacional, com médias anuais de temperatura de 26,7 °C, pluviosidade de 3.000 mm, umidade relativa do ar em torno de 84% e 2.338 horas de brilho solar (Bastos et al., 2002).

Para extração do óleo, as sementes secas foram facilmente reduzidas de tamanho manualmente para alimentação da prensa. A prensa é do tipo contínua e elétrica (Figura 1), com sistema de extração do tipo radial tubular, composta basicamente por parafuso sem fim em aço inoxidável e luva de extração de corpo único em aço carbono, com capacidade de 8 a 12 kg/h e alimentação manual.



Fotos: Leandro Damasceno

Figura 1. Prensa extratora de óleos vegetais contínua e elétrica.

As prensagens foram realizadas em quatro bateladas, no início do armazenamento das sementes, após 45, 165 e 270 dias. Os períodos foram estabelecidos de acordo com a disponibilidade de uso do equipamento e monitoramento da manutenção da umidade das sementes.

Os óleos de cada batelada foram coletados em erlenmeyer graduado, seco e com pesos pré-determinados, visando auxiliar nos cálculos de rendimento. Os óleos foram filtrados em funil com gaze estéril, distribuídos em tubos tipo falcon de 15mL, com separação de partículas sólidas em centrífuga, a 3.500 rpm, para posterior análise do seu sobrenadante.

Para o cálculo de rendimento de cada extração, foi utilizada a equação a seguir, expresso em porcentagem de rendimento massa/massa.

$$\text{Rendimento (\% m/m)} = \frac{(PT - PE) \times 100}{PS}$$

em que:

PT = peso do erlenmeyer + óleo (g).

PE = peso do erlenmeyer vazio (g).

PS = peso da semente seca (g).

Análises físico-químicas das sementes de andiroba

As sementes, imediatamente após a etapa de imersão em água, ainda úmidas e com casca, foram caracterizadas quanto à sua composição centesimal em termos de umidade, cinzas, lipídios, proteínas e teor de carboidrato por diferença (Instituto Adolfo Lutz, 2008; Association of Official Analytical Chemists, 2010). As sementes cortadas e secas foram analisadas quanto à umidade, de acordo com as recomendações de Brasil (2009), para sementes florestais grandes e com alto teor de óleos. A qualidade das sementes, durante o armazenamento, foi avaliada nos tempos 0, 45, 165 e 270 dias, em relação aos índices de acidez e peróxido do seu óleo extraído por prensagem, e em triplicata (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

Análise estatística

Inicialmente, os valores de índices de acidez e peróxido obtidos foram avaliados quanto à normalidade da distribuição, aplicando-se o teste de Shapiro-Wilk (W). A diferença múltipla entre médias foi avaliada utilizando-se o teste *post-hoc* de Kruskal-Wallis (H), indicado para dados não paramétricos. Para possibilitar a estimativa da qualidade das sementes com o tempo de armazenamento, os dados também foram submetidos à análise de regressão não linear. Para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos polinomiais gerados, foi utilizada a análise de variância (Anova) em relação aos valores dos coeficientes de regressão ajustado (R^2_{ajust}), teste F para significância da regressão e teste de falta de ajuste (F_{Faj}). Para validação

dos modelos, foi avaliado o atendimento aos pressupostos: homogeneidade da variância dos resíduos, a partir do teste de Levene; normalidade da distribuição dos resíduos, também aplicando-se o teste de Shapiro-Wilk; e independência entre os resíduos, utilizando-se o teste de Durbin-Watson (DW). O valor de DW estava entre 0 e 4, de tal forma que valores próximos de 2 significavam que os resíduos eram independentes (Granato et al., 2014; Bem et al., 2020). Para todos os testes, o valor crítico de significância foi estabelecido em 5% ($p = 0,05$).

Resultados e discussão

Na Tabela 1, estão apresentados os resultados da composição centesimal de sementes de andiroba com casca, antes do processamento, comparativamente a valores de referência disponíveis na literatura.

Tabela 1. Composição centesimal das sementes de andiroba (*Carapa guianensis* Aublet), com casca e cortadas, após imersão em água, em base úmida (b.u.).

Parâmetro	% (b.u.)	Valores de referência (b.u.) ⁽¹⁾
Umidade	55,89±0,17	41,81–55,28
Cinzas	1,29±0,03	0,64–1,74
Lipídios	26,50±0,09	20,03–29,32
Proteínas	6,10±0,05	0,60–4,87
Fibras	9,51±0,48	10,22–17,73
Carboidratos	10,22±0,00	19,21–25,80

⁽¹⁾ Vasconcelos et al. (2008); Cruz et al. (2012) (convertidos em b.u.); Mendonça et al. (2019).

Pôde-se observar um teor de umidade das sementes acima de 50%, ligeiramente maior do que em outros estudos, o que pode ser devido ao processo de imersão em água por período maior que 24 horas, comumente reportado. Os teores de cinzas e lipídios estão de acordo com o reportado em estudos anteriores, com predominância de lipídios nas sementes em base seca, em torno de 60%. O teor de proteínas foi maior do que reportado em outros estudos, indicando um promissor aproveitamento desse residual de processo, como complementação para ração animal ou para outros fins. O teor de carboidratos foi composto majoritariamente por fibras, ambos abaixo dos valores reportados na literatura.

De acordo com Savoie et al. (2013), a manutenção da casca nas sementes oleaginosas tem influência sobre os parâmetros de prensagem

mecânica e na composição final da torta. Assim, como uma certa proporção de casca é necessária para impedir a formação de uma pasta em prensas contínuas, dificultando o escoamento do óleo, sua presença também pode acarretar maior gasto energético, desgaste de equipamentos e absorção do óleo, reduzindo seu rendimento. Para quantidades de casca maiores que 25 a 35% do peso total da semente, recomenda-se o descascamento prévio (Savoie et al., 2013). A retirada posterior das cascas de sementes secas inteiras, bem como após a fermentação no processo artesanal, pode ser considerada como uma das causas da baixa produtividade dos processos de obtenção de óleo de andiroba (Homma; Menezes, 2014). Assim, apesar do corte prévio das sementes com casca ser uma etapa adicional, pode ser uma alternativa para mitigar algumas dificuldades de beneficiamento e extração das sementes de andiroba, além de reduzir o tempo de secagem, em relação à secagem tradicional de sementes inteiras em estufas solares.

Durante o período de armazenamento, as sementes não apresentaram ganho significativo de umidade, variando de $4,86 \pm 0,08\%$ a $4,99 \pm 0,22\%$. Esses valores estão de acordo com os resultados de Mendonça et al. (2019), que determinaram, a partir de curvas de secagem, um teor de água de equilíbrio nas sementes variando entre 5,32% b.u. (secagem a 40 °C) e 2,84% b.u. (secagem a 90 °C).

A média de rendimento das quatro extrações de óleos realizadas foi de $37,57 \pm 1,54\%$, em base seca. Alguns estudos reportam que valores acima de 30% de rendimento são dificilmente alcançados, contudo, a maioria dos estudos relata a utilização de prensas do tipo hidráulica (Mendonça et al., 2020). Vale ressaltar que, depois de secas, grande parte das cascas se desprenderam da amêndoa e não foram prensadas conjuntamente.

Esses resultados também indicaram que o procedimento de embalagem proposto apresentou eficiência em auxiliar a manutenção da umidade das sementes secas, durante 9 meses. A castanha-do-brasil, um dos PFNMs de composição muito semelhante à da andiroba, bem como outras sementes de árvores, tem nas embalagens plásticas a principal barreira para evitar o aumento da umidade no armazenamento, alcançando vida de prateleira em torno de 3 e 9 meses, quando armazenadas entre 20 e 38 °C (Gama et al., 2018).

Na Tabela 2, estão apresentados os valores de índice de acidez (IA) e índice de peróxido (IP) das sementes de andiroba processadas e armazenadas durante 9 meses (270 dias). Ambos os valores de IA e IP não apresentaram distribuição normal,

aplicando-se então teste de comparação não paramétrico, que indicou diferenças significativas dos índices em função do tempo de armazenamento.

Tabela 2. Índice de acidez (IA) e índice de peróxidos (IP) durante o armazenamento de sementes de andiroba processadas.

Tempo (dias)	IA (mg KOH g ⁻¹)	IP (meq kg ⁻¹)
0	1,82±0,15 ^b	0,46±0,11 ^b
45	3,41±0,08 ^{ab}	1,33±0,05 ^{ab}
165	7,26±0,15 ^{ab}	3,69±0,25 ^{ab}
270	12,45±0,38 ^a	3,80±0,10 ^a
Teste de Shapiro-Wilk (W, p)	0,8460 (0,0328)	0,8035 (0,0102)
Teste Kruskal-Wallis (H, p)	10,3846 (0,0156)	9,4615 (0,0237)

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis; valores de W (p < 0,05) indicam que os dados não seguem distribuição normal; valores de H (p < 0,05) indicam diferença significativa entre os indivíduos.

Pela falta de legislação específica para óleos não comestíveis, tem-se como referência a Instrução Normativa (IN) nº 87 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) para óleos prensados a frio e não refinados (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2021), na qual os limites máximos estabelecidos de IA e IP são de 4,0 mg KOH g⁻¹ e 15 meq kg⁻¹, respectivamente. Contudo, para o óleo de palma virgem (ou azeite de dendê), obtido por outro tipo de processo, o limite de IA é de 10 mg KOH g⁻¹. Assim, os índices dos óleos obtidos das sementes recém-processadas (Tabela 2) estão dentro dos limites aceitáveis (1,82 mg KOH g⁻¹ e 0,46 meq kg⁻¹) para fins de extração mecânica, indicando que o processo piloto de conservação aplicado às sementes de andiroba neste estudo fornece óleos recém-extraídos de boa qualidade.

Esses valores são semelhantes aos encontrados por Mendonça et al. (2020), de 2,24 mg KOH g⁻¹ e 0,46 meq kg⁻¹, em óleos obtidos pela prensagem de sementes que foram secas inteiras a 40 °C, até umidade final de 6%.

Contudo, durante o armazenamento das sementes, houve o aumento significativo desses índices nos óleos extraídos, com IA ultrapassando o valor limite recomendado pela IN nº 87 (> 4 mg KOH g⁻¹), enquanto o IP manteve-se bem abaixo (< 15 meq kg⁻¹), com tendência à estabilidade e decaimento depois de 5 meses. A partir desse comportamento, pode-se considerar que o índice limitante da qualidade oxidativa das sementes, quando submetidas ao

processo de conservação aqui descrito, foi o índice de acidez.

O limite de IA de 4 mg KOH g⁻¹ foi alcançado entre 45 e 165 dias de armazenamento e somente com o auxílio de modelos estatísticos representativos do processo foi possível estimar os valores de IA com o tempo.

Na Tabela 3, estão apresentados os resultados das análises de regressão e coeficientes dos modelos gerados para estimativa dos índices de acidez e peróxidos das sementes de andiroba, em relação ao tempo de armazenamento.

Tabela 3. Qualidade do ajuste e validação dos modelos de regressão não linear dos índices de acidez (IA) e de peróxidos (IP) de sementes de andiroba processadas e armazenadas.

Coefficiente de regressão	IA ⁽¹⁾	IP
Tempo (T ³)	—	-16,08.10 ⁻⁸
Tempo (T ²)	5,3.10 ⁻⁵	—
Tempo (T)	0,0249	0,0243
Interseção	1,9275	0,3870
Análise de variância		
R ² ajustado	0,9966	0,9883
F _{modelo} (p)	1.943,80 (<0,000)	467,74 (<0,000)
F _{Faj} (p)	2,92 (0,1256)	2,90 (0,1271)
Pressupostos		
Normalidade dos resíduos (W, p)	0,9481 (0,6095)	0,9008 (0,1622)
Homocedasticidade dos resíduos (Levene, p)	3,4566 (0,0713)	3,7296 (0,0606)
Independência dos resíduos (DW)	1,4694	1,9248

⁽¹⁾ Valores de F_{modelo} (p < 0,05) indicam que o modelo tem regressão significativa; valores de F_{Faj} (p > 0,05) indicam falta de ajuste não significativa; W = estatística do teste de Shapiro-Wilk; valores de W (p > 0,05) indicam que os resíduos seguem distribuição normal; valores do teste de Levene (p > 0,05) indicam homogeneidade das variâncias; valores de DW próximos de dois indicam independência dos resíduos.

Traço (—): informação não aplicável.

Os índices de acidez e de peróxidos apresentaram comportamento não linear, com modelos de regressão bem ajustados aos dados experimentais e sem falta de ajuste significativa, apresentando coeficientes de determinação (R²_{ajus}) maiores que 0,98. Os resíduos de ambos os modelos foram considerados homocedásticos, com distribuição normal e independentes, atendendo assim aos pressupostos estatísticos necessários para que sejam considerados preditivos (Granato et al., 2014).

Calculando-se o tempo, a partir do modelo de regressão de IA (Tabela 3), as sementes apresentaram IA limite de 4,0 mg KOH g⁻¹ (IN nº 87), em cerca de 2,5 meses (73 dias) de armazenamento. Da mesma forma, calculando-se o IA em um ano (365 dias) de armazenamento, estimou-se um valor máximo de 18,1 mg KOH g⁻¹.

Apesar das informações sobre estudos acerca da qualidade oxidativa do óleo de andiroba serem incipientes, foram reportados valores de IA para óleos comerciais (Engifar e Distriol) prensados a frio ou artesanais variando entre 2 e 20 mg KOH g⁻¹ (Moraes; Gutjahr, 2009; Vasconcelos et al., 2009; Cavalcante, 2016; Radünz et al., 2018; Silva, 2018; Mendonça et al., 2020). Em estudos de campo, Navas (2014) observou um aumento no IA do óleo de sementes de andiroba secas em estufa artesanal (25–30 °C) de 0,85% para 9,1% (em ácido oleico), após 20 dias, considerando, a partir de então, que valores de até 10%, ou 19,9 mg KOH g⁻¹ (Instituto Adolfo Lutz, 2008), estariam dentro de limites recomendáveis para aquisição por indústria de cosméticos.

O limite de IA economicamente viável para o refino ou comercialização de óleos brutos ainda não é bem definido, contudo, são feitas algumas referências a valores de IA limites entre 10 e 15%, em ácido oleico (19,9 e 29,9 mg KOH g⁻¹). Para definição desses limites, devem ser considerados os custos com a solução de neutralização e as operações unitárias de separação da borra formada, bem como a finalidade de uso desse óleo (Rohr, 1973; Dorsa, 2004; Paucar-Menacho et al., 2007; Navas, 2014).

Em termos de IP, a partir do modelo de regressão não linear gerado (Tabela 3), as sementes apresentaram maior estabilidade, atingindo um pico de 4,0 meq kg⁻¹ em 224 dias, estimando-se sua redução a valores da ordem de 1,4 meq kg⁻¹ em um ano. Ou seja, a oxidação tende a não apresentar elevação significativa após atingido o pico de formação de peróxidos.

O comportamento não linear de IP, com o tempo, também foi observado por Aragão et al. (2008), que demonstraram claramente, a partir de modelos fenomenológicos, que, além da formação de peróxidos depender da temperatura, normalmente é lenta, apresentando fases de latência, pico e extinção.

Da mesma forma que o IA, também foram observados valores de referência de IP para óleos comerciais prensados a frio ou artesanais variando entre 0,15 e 16 meq kg⁻¹ (Moraes; Gutjahr, 2009; Vasconcelos et al., 2009; Cavalcante, 2016; Radünz et al., 2018; Silva, 2018; Mendonça et al., 2020).

Portanto, os índices de acidez e peróxidos máximos estimados nos óleos extraídos das sementes de andiroba processadas, embaladas e armazenadas, por cerca de um ano, não apresentaram qualidade oxidativa inferior às já referenciadas para óleos comerciais e artesanais.

Conclusões

Sementes de andiroba, quando submetidas a secagem em pedaços e acondicionadas em embalagens plásticas, fornecem óleos recém-extraídos com índices de acidez e de peróxidos dentro dos limites da legislação vigente, para óleos comestíveis prensados a frio e sem refino. Contudo, durante o armazenamento das sementes, os índices de oxidação aumentam significativamente, estimando-se que as sementes podem fornecer óleos com índices máximos de acidez e peróxidos de 18,1 mg KOH g⁻¹ e 3,90 meq kg⁻¹, respectivamente, no período de um ano.

Agradecimentos

Ao agricultor Jorge Ito, da Camta, pelo fornecimento de sementes de andiroba. À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), pelo financiamento do projeto Valorização dos produtos florestais não madeireiros na Amazônia – Kamukaia III, via Sistema Embrapa de Gestão (SEG).

Referências

- ABREU, L. A. S.; CARVALHO, M. L. M.; PINTO, C. A. G.; KATAOKA, V. Y.; SILVA, T. T. A. Deterioration of sunflower seeds during storage. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 2, p. 240-247, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). Instrução IN n. 87, de 15 de março de 2021. Estabelece a lista de espécies vegetais autorizadas, as designações, a composição de ácidos graxos e valores máximos de acidez e de índice de peróxidos para óleos e gorduras vegetais. **Diário Oficial da União**, n. 51, 17 mar. 2021. Seção 1, p. 261-263.
- ARAGAO, G. M. F.; CORRADINI, M. G.; PELEG, M. A. A phenomenological model of the peroxide value's rise and fall during lipid oxidation. **Journal American Oil Chemists Society**, v. 85, n. 12, p. 1143-1153, 2008.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. 18th ed., 3rd rev. Washington, DC, 2010.
- AZEREDO, H. M. C.; BRITO, E. S.; GARRUTI, D. S. Alterações químicas em alimentos durante a estocagem.



In: AZEREDO, H. M. C. (ed.). **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 39-75.

BASTOS, T. X.; PACHECO, N. A.; NECHET, D.; SÁ, T. D. de A. **Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 31 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 128).

BEM, C. M.; JACOBI, L. F.; CARGNELUTTI FILHO, A. Análise dos resíduos em modelos de regressão não linear ajustados aos dados de crotalaria juncea por diferentes métodos de estimação. **Ciência e Natura**, v. 42, p. 1-16, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 2009.

CAVALCANTE, G. H. R. **Estudo de óleos nativos da Amazônia (babaçu e andiroba)**: modificação química, caracterização e avaliação como biolubrificante. 2016. 89 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís.

CRUZ, A. K.; ABREU, L. F.; VASCONCELOS, A. A.; CASTILHO, C. V.; MELO, M. S. Caracterização físico-química de sementes e óleos de andiroba (*Carapa guianensis* Aublet.) provenientes dos estados do Pará e Roraima. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 52., 2012, Recife. **Química e inovação**: caminho para a sustentabilidade: anais. [Recife]: ABQ, 2012.

DORSA, R. **Tecnologia de óleos vegetais**. Campinas: Ideal, 2004.

FARAG, A. M.; GAD, M. Z. Omega-9 fatty acids: potential roles in inflammation and cancer management. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 20, n. 48, 2022. Disponível em: <https://jgeb.springeropen.com/articles/10.1186/s43141-022-00329-0>. Acesso em: 5 jan. 2023.

FERRAZ, I. D. K.; CAMARGO, J. L. C.; SAMPAIO, P. T. B. Sementes e plântulas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl. e *Carapa procera* D. C.): aspectos botânicos, ecológicos e tecnológicos. **Acta Amazonica**, v. 32, n. 4, p. 647-661, 2002.

GAMA, T.; WALLACE, H. M.; TRUEMAN, S. J.; HOSSEINI-BAI, S. Quality and shelf life of tree nuts: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 242, p. 116-126, 2018.

GUIMARÃES, J.; AMARAL, P.; PINTO, A.; GOMES, I. **Preços de produtos da floresta**: uma década de pesquisa e divulgação. Belém, PA: Imazon, 2019. 52 p.

GRANATO, D.; CALADO, V. M. A.; JARVIS, B. Observations on the use of statistical methods in food science and technology. **Food Research International**, v. 55, p. 137-149, 2014.

HOMMA, A. K. O.; MENEZES, A. J. E. A. Histórico do sistema extrativo e extração de óleo de andiroba cultivado no Município de Tomé-Açu, Estado do Pará. In: HOMMA, A. K. O. (ed.). **Extrativismo vegetal na Amazônia**: história, ecologia, economia e domesticação. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 107-117.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

LIRA-GUEDES, A. C.; JESUS-BARROS, C. R. de. Avaliação da predação de sementes de andirobeiras e registro de *Hypsipyla* spp. In: WADT, L. H. de O.; SANTOS, L. M. H.; BENTES, M. P. de M.; OLIVEIRA, V. B. V. (ed.). **Produtos florestais não madeireiros**: guia metodológico da Rede Kamukaia. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Cap. 10, p. 109-116.

LIRA-GUEDES, A. C.; NARDI, M. **Guia prático para o manejo sustentável de andirobeiras de várzea e para a extração do óleo de suas sementes**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 24 p.

MENDONÇA, A. P.; ALMEIDA, F. A. C. A.; OLIVEIRA, A. S.; ROSA, J. C.; ARAÚJO, M. E. R.; SAMPAIO, P. T. B. 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, e2995, 2020.

MENDONÇA, A. P.; FERRAZ, I. D. K. 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, A. P.; SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; SILVA, J. R.; ROSA, J. C. Modelagem matemática das curvas de secagem de sementes de duas espécies de Andiroba. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 4, p. 293-303, 2019.

MORAIS, R. B.; GUTJAHR, E. **Química de oleaginosas**: valorização da biodiversidade amazônica. Brasília, DF: GTZ, 2009.

NARDI, M.; LIRA-GUEDES, A. C.; CUNHA, H. F. A.; GUEDES, M. C.; MUSTIN, K.; GOMES, S. C. P. Artisanal extraction and traditional knowledge associated with medicinal use of crabwood oil (*Carapa guianensis* Aublet.) in a peri-urban várzea environment in the Amazon estuary. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, p. 1-12, 2016.

NAVAS, R. **Beneficiamento das sementes e a qualidade do óleo de andiroba**. [S.l.]: Natura, 2014. Disponível em: <http://www.naturacampus.com.br/cs/naturacampus/post/2014-04/beneficiamento-das-sementes-e-a-qualidade-do-oleo-de-andiroba->. Acesso em: 20 out. 2018.

- OLIVEIRA, I. S. S.; TELLIS, C. J. M.; CHAGAS, M. S. S.; BEHRENS, M. D.; CALABRESE, K. S.; ABREU-SILVA, A. L.; ALMEIDA-SOUZA, F. *Carapa guianensis* Aublet (Andiroba) seed oil: chemical composition and antileishmanial activity of limonoid-rich fractions. **BioMed Research International**, p. 1-10, 2018.
- PAUCAR-MENACHO, L. M.; SILVA, L. H.; SANT'ANA, A. S.; GONÇALVES, L. A. G. Refino de óleo de farelo de arroz (*Oryza sativa* L.) em condições brandas para preservação do γ -orizanol. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 45-53, 2007. Supl. 1.
- PINTO, A.; AMARAL, P.; GAIA, C.; OLIVEIRA, W. **Boas práticas para manejo florestal e agroindustrial de produtos florestais não madeireiros**: açaí, andiroba, babaçu, castanha-do-brasil, copaíba e unha-de-gato. Belém, PA: Imazon; Manaus: Sebrae-AM, 2010.
- RADÜNZ, M.; HACKBART, H. C. S.; RIBAS, B. L. P.; DOBKE, F. V.; RADÜNZ, A. L.; MENDONÇA, C. R. B. Avaliação de parâmetros de qualidade de óleos exóticos. **Revista da Jornada da Pós-Graduação e Pesquisa**, v. 15, n. 15, p. 791-800, 2018.
- ROHR, R. **Óleos e gorduras vegetais e seus subprodutos protéicos**. Campinas: UNICAMP, 1973.
- ROY, A.; SARAF, S. Limonoids: overview of significant bioactive triterpenes distributed in plants kingdom. **Biological and Pharmaceutical Bulletin**, v. 29, n. 2, p. 191-201, 2006.
- SAVOIRE, R.; LANOISELLÉ, J. L.; VOROBIEV, E. Mechanical continuous oil expression from oilseeds: a review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 1-16, 2013.
- SCHMAL, B.; CAMPOS, E. A.; BATISTA, M. J. N.; SILVA, V. R. **Óleos da Amazônia os cheiros da floresta em vidrinhos**: manejo comunitário de produtos florestais não-madeireiros e fortalecimento local de Silves – AM. Manaus: Ibama: ProVarzea, 2006. 28 p.
- SHANLEY, P.; MEDINA, G. **Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica**. Belém, PA: CIFOR: Imazon, 2005. 300 p.
- SILVA, E. N.; SANTANA, A. C.; SILVA, I. M.; OLIVEIRA, C. M. Aspectos socioeconômicos da produção extrativista de óleos de andiroba e de copaíba na floresta nacional do Tapajós, Estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 53, n. 1, p. 12-23, 2010.
- SILVA, L. R. Propriedades físico-químicas e perfil dos ácidos graxos do óleo da andiroba. **Nativa**, v. 6, n. 2, p. 147-152, 2018.
- SINGH, J.; PAROHA, S.; MISHRA, R. P. Factors affecting oilseed quality during storage with special reference to soybean (*Glycine max*) and niger (*Guizotia abyssinica*) seeds. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 10, p. 2215-2226, 2017.
- SOUSA, R. L.; SILVA, S. G.; COSTA, J. M.; COSTA, W. A.; MAIA, A. A. B.; OLIVEIRA, M. S.; ANDRADE, E. H. A. 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, p. 1272011-1272018, 2021. Disponível em: <https://www.scienciaplenu.org.br/sp/article/view/6021>. Acesso em: 5 jan. 2023.
- VASCONCELOS, M. A. M. de; GONÇALVES, A. C. da S.; OLIVEIRA, P. S.; MOREIRA, P. I. O.; MATTIETTO, R. de A. Caracterização físico-química de sementes de andiroba (*Carapa guianensis* aublet) in natura e fermentada. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 60., 2008, Campinas. **Energia ambiente tecnologia**: resumos. Campinas: SBPC, 2008.
- VASCONCELOS, M. A. M. de; MATTIETTO, R. de A.; GONÇALVES, A. C. S.; OLIVEIRA, P. S.; MOREIRA, P. I. O.; ALVES, S. M.; MOREIRA, D. K. T.; FIGUEIREDO, J. G.; DANTAS FILHO, H. A. Avaliação do processo de extração e caracterização do óleo e sementes de andiroba (*Carapa guianensis* Aublet). In: CONFERÊNCIA DO SUBPROGRAMA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - SPC&T FASE II/PPG7, 2008, Belém, PA. **Anais [...]**. Brasília, DF: CNPq, 2009. p. 365-367.