

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
Faculdade de Ciências e Letras - Campus de Assis

CAMILLA APARECIDA DE OLIVEIRA FLAUZINO

**AVALIAÇÃO E EXTRAÇÃO DE ANTIOXIDANTES DE RESÍDUOS DE PEQUI
E INAJÁ ORIGINÁRIOS DOS BIOMAS CERRADO E FLORESTA
AMAZÔNICA**

ASSIS - SP

2024

CAMILLA APARECIDA DE OLIVEIRA FLAUZINO

**AVALIAÇÃO E EXTRAÇÃO DE ANTIOXIDANTES DE RESÍDUOS DE PEQUI
E INAJÁ ORIGINÁRIOS DOS BIOMAS CERRADO E FLORESTA
AMAZÔNICA**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Letras, Assis, para a obtenção do título de doutora em Biociências.

Área de Concentração: Caracterização e Aplicação da Diversidade Biológica).

Orientadora: Prof. Dra. Cássia Roberta Malacrida Mayer

Coorientador: Prof. Dr. Harvey Alexander Villa Vélez

ASSIS - SP

2024

F587a

Flauzino, Camilla Aparecida de Oliveira

Avaliação e extração de antioxidantes de resíduos de pequi e inajá originários dos biomas Cerrado e Floresta Amazônica / Camilla Aparecida de Oliveira Flauzino. -- Assis, 2024
73 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências e Letras, Assis

Orientadora: Cassia Roberta Malacrida Mayer

Coorientador: Harvey Alexander Villa Vélez

1. Pequi. 2. Inajá. 3. Extração. 4. Atividade antioxidante. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Assis



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Avaliação e extração de antioxidantes de resíduos de pequi e inajá originários dos biomas Cerrado e Floresta Amazônica

AUTORA: CAMILLA APARECIDA DE OLIVEIRA FLAUZINO

ORIENTADORA: CASSIA ROBERTA MALACRIDA MAYER

COORIENTADOR: HARVEY ALEXANDER VILLA VÉLEZ

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Biociências, área: Caracterização e Aplicação da Diversidade Biológica pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. CASSIA ROBERTA MALACRIDA MAYER (Participação Presencial)
UNESP/FCL - Assis

Profa. Dra. KARINE BALDO DE GÊNOVA CAMPOS (Participação Presencial)
UNIP - Universidade Paulista

Profa. Dra. CINTIA REGINA RODRIGUES CARIGNATTO (Participação Presencial)
UNIP - Universidade Paulista

Profa. Dra. LÍVIA CIRINO DE CARVALHO (Participação Virtual)
UEM/Umuarama

Profa. Dra. EDISLANE BARREIROS DE SOUZA (Participação Presencial)
UNESP/FCL - Assis

Assis, 16 de agosto de 2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus que em todos os momentos me fez sentir a Sua presença me guiando, iluminando e abençoando, dando-me forças e coragem para lutar, tranquilidade nos momentos difíceis e serenidade diante de cada obstáculo. Agradeço por ter colocado tudo em seu devido lugar na hora certa.

Aos meus pais Márcia e José Paulo por todos os princípios e ensinamentos que me fizeram ser quem sou, por apoiarem minhas escolhas, por tantas vezes se dedicarem em me ajudar, por todo amor, paciência, dedicação, sacrifício involuntário e apoio incondicional.

Ao meu marido e companheiro Reginaldo por acreditar em minha capacidade, por sempre me apoiar nas conquistas dos meus sonhos, por sua habilidade em ouvir e por sua compreensão nas inúmeras noites, feriados e finais de semana de estudo, possibilitando essa conquista.

Ao meu filho Miguel por cada sorriso ao me ver retornar para casa entre inúmeras idas e vindas, pela compreensão nos momentos de carência, por contribuir de um jeito todo especial para que eu pudesse estudar e por não permitir, em nenhum momento, que eu me esquecesse de exercer minha mais importante vocação: ser Mãe.

Aos demais familiares, por sempre torcerem por mim.

A minha orientadora Cássia Roberta Malacrida Mayer, pela acolhida, pela oportunidade de trabalho, pela confiança a mim investida e por contribuir para o meu avanço profissional. Meus sinceros agradecimentos por sua disposição, paciência, auxílio e ensinamentos durante este período.

Ao coorientador Harvey Alexander Villa Vélez e à Central Analítica de Química da Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Engenharia Química pela contribuição com as amostras e disponibilidade em realizar análises, contribuindo com o aprimoramento da pesquisa desenvolvida.

Aos professores Karine, Lívia, Cíntia e Edislane por aceitarem participar da banca examinadora, pela disposição em ajudar e pelas valorosas contribuições, essenciais para esse trabalho.

A Faculdade de Ciências e Letras e ao Departamento de Ciências Biológicas e Biotecnologia, Campus de Assis, pela oportunidade de realização

do curso, capacitando-me e conferindo o conhecimento necessário para a tão almejada pós-graduação.

Aos professores que, durante as aulas ministradas, despertaram em mim a busca pelo saber.

Aos funcionários Alan e Eliane por estarem sempre prontos a ajudar e aos colegas de laboratório Natalie, Beatriz, Aline, Rafael, Walter e Felipe pelo apoio, companhia, troca de conhecimentos, ajuda com as rotinas do laboratório, com experimentos e discussões, sem os quais não teria sido possível a realização deste trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para o êxito deste trabalho.

Muito obrigada!

RESUMO

Na indústria alimentícia, a fim de evitar ou retardar a oxidação, é comum o uso de antioxidantes, que podem ser sintéticos ou naturais, sendo os sintéticos os mais utilizados. Porém, a quantidade e o tempo de exposição aos antioxidantes sintéticos podem gerar prejuízos à saúde, sendo interessante sua substituição pelos naturais. Considerando o exposto e a quantidade de resíduos com potencial antioxidante descartados a partir de frutos utilizados na indústria alimentícia para extração de óleo, o presente estudo buscou otimizar a proporção de material seco:solvente e o tempo de extração por ultrassom, a fim de maximizar o rendimento de compostos fenólicos extraídos dos epicarpós e endocarpós de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) e inajá (*Attalea maripa* [Aubl.] Mart.), determinar a composição centesimal, avaliar o potencial antioxidante por diferentes métodos e identificar a estrutura química dos componentes orgânicos dos mesmos. Todos os resíduos apresentaram elevada porcentagem de fibras+carboidratos e baixa umidade. O endocarpo de pequi apresentou valores consideráveis de proteínas (5,7%) e lipídios (28,8%), e o epicarpo de inajá exibiu a maior porcentagem de cinzas (2,7%). A variável matéria seca:solvente exerceu maior influência na proporção 1:10 (g/mL) em todos os extratos estudados e a variável tempo demonstrou não afetar significativamente o processo de extração. Os maiores teores de compostos fenólicos foram encontrados no epicarpo de pequi (7,554 mg EAG/mL) na proporção 1:10 g/mL e 5 min. de extração. Em comparação, a extração convencional utilizando *shaker* demonstrou ser menos eficaz que a extração por ultrassom (4,089 mg EAG/mL). Os resultados apontaram considerável atividade antioxidante no epicarpo de inajá em comparação aos demais resíduos avaliados quando utilizado o método do radical ABTS (1438,16 µmol trolox/g). A identificação de substâncias orgânicas evidenciaram componentes antioxidantes polifenóis e flavonoides nas bandas O-H. Os teores de compostos fenólicos e atividade antioxidante observados são promissores para a utilização dos mesmos em substituição aos antioxidantes sintéticos.

Palavras-chave: pequi; inajá; extração; atividade antioxidante.

ABSTRACT

In the food industry, in order to avoid or delay oxidation, it is common to use antioxidants, which can be synthetic or natural, with synthetics being the most used. However, the amount and time of exposure to synthetic antioxidants can cause harm to health, making it interesting to replace them with natural ones. Considering the above and the amount of waste with antioxidant potential discarded from fruits used in the food industry for oil extraction, the present study sought to optimize the proportion of dry material:solvent and the ultrasound extraction time, in order to maximize the yield of phenolic compounds extracted from the epicarps and endocarps of pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) and inajá (*Attalea maripa* [Aubl.] Mart.), determine the proximate composition, evaluate the antioxidant potential by different methods and identify the chemical structure of the organic components of the same. All residues had a high percentage of fibers+carbohydrates and low moisture. The pequi endocarp presented considerable amounts of proteins (5.7%) and lipids (28.8%), and the inajá epicarp exhibited the highest percentage of ash (2.7%). The dry matter:solvent variable had the greatest influence on the 1:10 (g/mL) ratio in all extracts studied and the time variable demonstrated that it did not significantly affect the extraction process. The highest levels of phenolic compounds were found in the pequi epicarp (7.554 mg EAG/mL) at a ratio of 1:10 g/mL and 5 min. of extraction. In comparison, conventional extraction using a shaker was shown to be less effective than ultrasound extraction (4.089 mg EAG/mL). The results showed considerable antioxidant activity in the inajá epicarp compared to the other residues evaluated when using the ABTS radical method (1438.16 μ mol trolox/g). The identification of organic substances showed polyphenol and flavonoid antioxidant components in the O-H bands. The levels of phenolic compounds and antioxidant activity observed in the waste extracts are promising for their use as a replacement for synthetic antioxidants.

Keywords: pequi; inajá; extraction; antioxidant activity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Características externas do pequi (<i>Caryocar brasiliense</i> Camb.).....	20
Figura 2. Epicarpo do pequi (<i>Caryocar brasiliense</i> Camb.).....	20
Figura 3. Características internas do pequi (<i>Caryocar brasiliense</i> Camb.).....	21
Figura 4. Características externas do Inajá (<i>Attalea maripa</i> [Aubl.] Mart.)	22
Figura 5. Características internas do Inajá (<i>Attalea maripa</i> [Aubl.] Mart.).....	23
Figura 6. Estrutura fenólica da quercetina.....	27
Figura 7. Estrutura fenólica do kaempferol.....	28
Figura 8. Estrutura química do β -caroteno.....	28
Figura 9. Estrutura química do ácido ascórbico.....	29
Figura 10. Estrutura fenólica do TBHQ.....	34
Figura 11. Estrutura fenólica do BHT.....	35
Figura 12. Estrutura fenólica do BHA.....	35
Figura 13. Separação manual das partes do pequi (<i>Caryocar brasiliense</i> Camb.).....	38
Figura 14. Separação manual das partes do pequi (<i>Caryocar brasiliense</i> Camb.).....	38
Figura 15. Moagem do endocarpo de pequi (<i>Caryocar brasiliense</i> Camb.).....	39
Figura 16. Separação manual das partes do inajá (<i>Attalea maripa</i> [Aubl.] Mart.).....	39
Figura 17. Secagem e moagem do Inajá (<i>Attalea maripa</i> [Aubl.] Mart.)	40
Figura 18. Sistema de extração ultrassônica.....	42
Figura 19. Sistema de extração convencional.....	44
Figura 20. Estabilização do radical livre DPPH.....	45
Figura 21. Redução do complexo TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil)-1,3,5-triazina) com Fe^{3+}	47

Figura 22. Estabilização do radical ABTS por um antioxidante e sua formação pelo persulfato de potássio.....	48
Figura 23. Espectro IR do endocarpo de pequi.....	58
Figura 24. Espectro IR do epicarpo de pequi.....	58
Figura 25. Espectro IR do endocarpo de inajá.....	59
Figura 26. Espectro IR do epicarpo de pequi.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros do delineamento experimental para otimização da extração de compostos fenólicos utilizando ultrassom.....	43
Tabela 2. Tempo de reação entre o DPPH e os extratos dos resíduos de pequi e inajá até estabilidade.....	46
Tabela 3. Composição centesimal (%) dos resíduos de pequi e inajá após secagem.....	49
Tabela 4. Compostos fenólicos totais (mg EAG/mL) de extratos hidroalcoólicos de resíduos de pequi e inajá obtidos por extração ultrassônica.....	51
Tabela 5. Comparação da extração de compostos fenólicos totais (mg EAG/mL) utilizando banho ultrassônico e extração convencional <i>shaker</i>	53
Tabela 6. Extrato seco dos resíduos de pequi e inajá.....	54
Tabela 7. Atividade antioxidante total, pelos métodos DPPH, FRAP e ABTS, dos resíduos de pequi e inajá (base seca).....	55
Tabela 8. Resultados dos compostos orgânicos presentes nas amostras de Pequi pelo método de espectroscopia infravermelho.....	61
Tabela 9. Resultados dos compostos orgânicos presentes nas amostras de Inajá pelo método de espectroscopia infravermelho.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAO	Atividade antioxidante
ABTS	Ácido 2,2-azinobis-3-etibenzotiazolina-6-sulfônico
AOAC	Association of Official Agricultural Chemists
AOCS	American Oil Chemist's Society
BHA	Butil Hidroxianisol
BHT	Butil Hidroxitolueno
CEASA	Centrais de abastecimento
CuSO₄	Sulfato de cobre
DNA	Ácido desoxirribonucleico
DPPH	2,2-difenil-1-picril hidrazil
EAG	Equivalente de ácido gálico
ETR	Equivalente de trolox
FDA	Food and Drug Administration
Fe	Ferro
FeCl₃	Cloreto de ferro
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
FTIR-ATR	Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier - Reflexão total atenuada
GC	Cromatografia gasosa
GSH	Glutathione
HCl	Ácido clorídrico
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
HPLC	Cromatografia líquida de alto desempenho
IDR	Ingestão diária recomendada
IR	Radiação infravermelha
K₂SO₄	Sulfato de potássio

KBr	Brometo de potássio
OH'	Hidroxila
PG	Propil galato
pH	Potencial hidrogeniônico
TBHQ	Terc Butil Hidroquinona
TPTZ	2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Geral.....	16
2.2. Específicos.....	16
3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	17
3.1. O processamento de frutos no setor agroindustrial brasileiro.....	17
3.2. O potencial antioxidante e a biodiversidade brasileira.....	18
3.2.1. Pequi (<i>Caryocar brasiliense</i> Camb.).....	19
3.2.2. Inajá (<i>Attalea maripa</i> [Aubl.] Mart.).....	21
3.3. Características nutricionais.....	23
3.4. Compostos bioativos.....	24
3.4.1. Compostos fenólicos	26
3.4.2. Flavonoides.....	27
3.4.3. Carotenoides	28
3.4.4. Ácido ascórbico	29
3.4.5. Extração de compostos bioativos.....	30
3.4.5.1. Influência do solvente	30
3.5. Atividade antioxidante.....	31
3.6. Estabilidade oxidativa.....	33
3.7. Antioxidantes e a estabilidade oxidativa.....	33
3.8. Antioxidantes naturais.....	35
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
4.1. Matéria-prima.....	37
4.1.1. Origem das amostras.....	37
4.1.2. Preparo das amostras.....	37
4.2. Métodos.....	40

4.2.1. Composição centesimal.....	40
4.2.1.1. Determinação de umidade.....	40
4.2.1.2. Determinação de cinzas.....	40
4.2.1.3. Determinação de lipídios (Método de Soxhlet).....	41
4.2.1.4. Determinação de proteínas (Método de Kjeldahl).....	41
4.2.1.5. Determinação de fibras e carboidratos.....	42
4.2.2. Obtenção dos extratos.....	42
4.2.3. Extração ultrassônica.....	42
4.2.4. Otimização.....	43
4.2.5. Extração convencional.....	43
4.2.6. Compostos fenólicos totais.....	44
4.2.7. Extrato seco.....	45
4.2.8. Atividade antioxidante.....	45
4.2.8.1. Método DPPH.....	45
4.2.8.2. Método FRAP.....	46
4.2.8.3. Método ABTS.....	47
4.2.9. Espectroscopia FTIR-ATR.....	48
4.3. Análise estatística.....	48
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1. Composição centesimal	49
5.2. Otimização	50
5.3. Extração convencional.....	52
5.4. Extrato seco.....	53
5.5. Atividade antioxidante.....	54
5.6. Espectroscopia FTIR-ATR.....	57
6. CONCLUSÕES.....	65
7. REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

A estabilidade oxidativa é um importante aspecto relacionado à qualidade nutricional e sensorial dos óleos e produtos alimentícios formulados a partir dele. A deterioração oxidativa é responsável pela formação de sabores estranhos que reduzem a qualidade e a vida de prateleira dos produtos lipídicos, além de produzir outros compostos com implicações nutricionais indesejáveis. Dentre os fatores que afetam ou catalisam a oxidação lipídica, os mais importantes são a presença de ácidos graxos insaturados, luz, alta temperatura e compostos pró-oxidantes como metais e clorofila (Aranha, 2018; Casemiro, 2016; Malacrida, 2009).

A oxidação lipídica é um fenômeno espontâneo e inevitável, que pode se desenvolver durante o processamento e estocagem do óleo e produtos formulados a partir dele (Aranha, 2018).

Na indústria alimentícia é comum o uso de antioxidantes como aditivos para a preservação dos alimentos, no entanto, é imprescindível distingui-los em dois tipos: sintéticos e naturais (Aranha, 2018; Casemiro, 2016; Cruz, 2014).

Atualmente, os consumidores estão mais atentos à saúde e, por isso, têm rejeitado a compra de produtos que contenham antioxidantes sintéticos como BHT e TBHQ, por exemplo, associados ao desenvolvimento de doenças (Aranha, 2018; Casemiro, 2016; Cruz, 2014). Assim, existe uma crescente demanda por pesquisas em busca de alternativas de antioxidantes provenientes de fontes naturais, capazes de evitarem a oxidação lipídica, preservarem a qualidade dos alimentos e também a saúde humana (Aranha, 2018; Casemiro, 2016; Cruz, 2014).

Considerando a ampla utilização do óleo gerado a partir do processamento de frutos como o pequi e o inajá, e conseqüentemente a grande quantidade de resíduos gerados a partir de sua extração, é importante compilar informações sobre esses resíduos, de modo a direcionar o reaproveitamento de maneira sustentável desse material.

Contudo, o potencial antioxidante de frutos e/ou extratos de frutos ainda é pouco explorado em óleos e emulsões alimentícias, por isso é necessário realizar pesquisas sobre a ação antioxidante dos mesmos, a fim de viabilizar

sua aplicação em escala industrial, em substituição aos antioxidantes sintéticos (Aranha, 2018).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo geral deste trabalho foi obter extratos hidroalcoólicos a partir de resíduos dos frutos pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) e inajá (*Attalea maripa* [Aubl.] Mart.) e avaliar seus potenciais antioxidantes.

2.2 Específicos

- Determinar a composição centesimal dos resíduos de pequi e inajá;
- Otimizar a extração de compostos fenólicos totais de resíduos de pequi e inajá, com relação aos parâmetros proporção matéria seca:solvente e tempo, utilizando ultrassom;
- Comparar a extração de compostos fenólicos totais utilizando ultrassom com o método convencional;
- Avaliar os extratos obtidos com relação à capacidade antioxidante frente a radicais livres por diferentes métodos;
- Identificar a estrutura química dos componentes orgânicos dos resíduos.

3 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

3.1 O PROCESSAMENTO DE FRUTOS NO SETOR AGROINDUSTRIAL BRASILEIRO

O Brasil, com quase um terço das florestas tropicais remanescentes no mundo, é reconhecidamente um dos mais importantes países em diversidade biológica, sendo um país rico em espécies frutíferas. Devido ao seu vasto território para exploração de culturas agrícolas, a produção de resíduos agroindustriais é bastante significativa e diversificada. A industrialização de matéria-prima vegetal oleaginosa compreende um importante setor do sistema agroindustrial devido ao uso de seus produtos nas indústrias alimentícias, de cosméticos e siderúrgicas (Nascimento Filho; Franco, 2015). A exploração de frutos nativos neste setor tem conquistado espaço, devido a suas características peculiares e ao crescente apelo por produtos naturais.

O pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) e o inajá (*Attalea maripa*) são frutos ricos em óleo, com possibilidade de extração de subprodutos com propriedades alimentícias, terapêuticas e medicinais, bem como grande potencial para a produção de biodiesel (Zuffo *et al.*, 2016; Carrazza; Silva; Ávila, 2012; Oliveira; Scariot, 2010).

A extração de óleos de origem vegetal, especialmente por prensagem mecânica, gera subprodutos com elevado valor nutricional e, neste caso, isentos de resíduos de solventes. Além da torta residual constituída pela porção desengordurada, na extração de óleo podem ser descartadas outras partes dos frutos como cascas, mesocarpos e endocarpos. A investigação de usos alternativos para subprodutos deste tipo representa uma etapa importante no desenvolvimento de processos tecnológicos mais sustentáveis (Rodriguez-Amaya, 1999).

No setor agroindustrial, a reutilização de resíduos para obtenção de compostos de interesse é crescente. Dentre estes compostos, destacam-se os compostos fenólicos, comumente encontrados em resíduos da indústria de alimentos como cascas e bagaço, e que podem apresentar elevada capacidade antioxidante (Cruz, 2014; Laufenberg; Kunz; Nystroem, 2003).

O principal efeito dos compostos fenólicos tem sido atribuído à sua ação antioxidante em alimentos, com potencial de controle das reações de oxidação. Além disso, podem exibir propriedades fisiológicas desejáveis como atividade antialérgica, antiarteriogênica, antiinflamatória, antimicrobiana, antitrombótica, cardioprotetiva e vasodilatadora (Casemiro, 2016; Cruz, 2014; Balasundram; Sundram; Samman, 2006).

Além da capacidade antioxidante, outras características como baixo custo de obtenção, facilidade de emprego, termo-resistência e ausência reconhecida de toxicidade, são importantes características para a utilização de antioxidantes naturais na indústria alimentícia (Mattos, 2017).

3.2 O POTENCIAL ANTIOXIDANTE E A BIODIVERSIDADE BRASILEIRA

A Amazônia é o maior bioma do Brasil com uma área de cerca de 4,2 milhões de km². No que se refere a sua biodiversidade, estima-se que esse bioma abrigue mais da metade de todas as espécies vivas do Brasil, incluindo cerca de 60.000 espécies de plantas (Albagli, 2001).

O inajá (*Attalea maripa* (Aubl.) Mart.), fruto de ocorrência na região Amazônica, tem grande potencial para alimentação e extração de óleo, sobretudo, para a produção de biodiesel (Lobato *et al.*, 2021; Costa; Marchi, 2008). A polpa e o óleo extraído da polpa e da amêndoa do fruto, são fontes de compostos bioativos como carotenóides, flavonóides e vitamina C (Lobato *et al.*, 2021).

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, com cerca de 2 milhões de km² de extensão. Estima-se que a rica flora do Cerrado possui entre 4 e 10 mil espécies de plantas vasculares com 58 espécies de frutas nativas (Paz *et al.*, 2014; Ribeiro, 2011; Vieira *et al.*, 2006).

As plantas do Cerrado, como o pequi, desenvolveram adaptações para enfrentar estações prolongadas de seca, queimadas, elevada incidência solar e calor. Ao longo do tempo, elas passaram a sintetizar enzimas antioxidantes a fim de sequestrarem radicais livres tóxicos tipicamente produzidos nessas condições, conferindo-lhes um eficiente sistema de defesa contra o ataque de radicais livres (Lima *et al.*, 2007; Roesler, 2007). Sendo assim, certas plantas

proporcionam uma rica fonte de antioxidantes naturais incluindo vitamina C, carotenóides e compostos fenólicos (Ribeiro, 2011; Roesler, 2007).

O pequi ocorre em regiões com elevada incidência de raios solares, tendo como consequência a geração de radicais livres. Essa condição, somada às altas taxas de lipídios que possui o pequi, favorecem a biossíntese de compostos antioxidantes como compostos fenólicos (Lima *et al.*, 2007).

Sendo assim, a exploração de pequi e inajá no setor industrial gera uma grande quantidade de resíduos com potencial antioxidante agregados, o que pode representar uma fonte de matéria-prima alternativa com impactos econômicos e ambientais positivos. No entanto, são necessários estudos que viabilizem o uso desses frutos como inibidores da oxidação lipídica em produtos alimentares (Rodriguez-Amaya, 1999).

3.2.1 Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.)

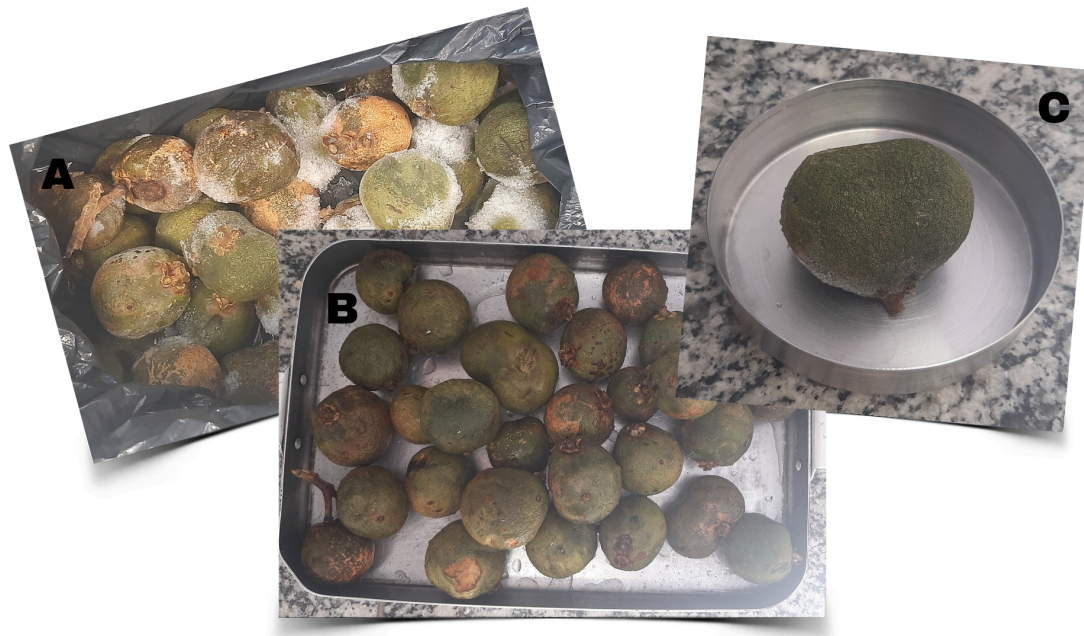
O pequizeiro é uma espécie frutífera do Cerrado, pertencente ao gênero *Caryocar* e à família Caryocaraceae, cujo fruto é o pequi (Figura 1) (Geoczé, 2011; Oliveira, 2010). Trata-se de uma planta arbórea, símbolo do Cerrado, classificada como frutífera ou oleaginosa, em razão das suas características e formas de utilização. A maturidade dos frutos ocorre após a floração, geralmente de outubro a fevereiro, mas o pico da safra ocorre nos meses de dezembro e janeiro (Oliveira *et al.*, 2008).

Embora o Estado de Minas Gerais seja o maior produtor e consumidor de pequi, o mesmo pode ser encontrado em Goiás, São Paulo, Paraná, Pará, Mato Grosso e Distrito Federal (Paz *et al.*, 2014). Os frutos do pequizeiro são constituídos pelo epicarpo (casca) (Figura 2), mesocarpo externo, mesocarpo interno (polpa comestível), endocarpo espinhoso (camada que recobre a amêndoa) e amêndoa (Figura 3) (Baeta, 2013). As partes do pequi que principalmente se aproveitam são polpa e amêndoa, para a alimentação e extração de óleo, respectivamente.

O sabor agradável da polpa do pequi faz com que o mesmo seja muito apreciado na culinária regional (Ribeiro, 2011), e a quantidade elevada de lipídios, confere-lhe maior valor energético, complementando a dieta de populações de baixa renda, além disso, representam boa parte da renda anual

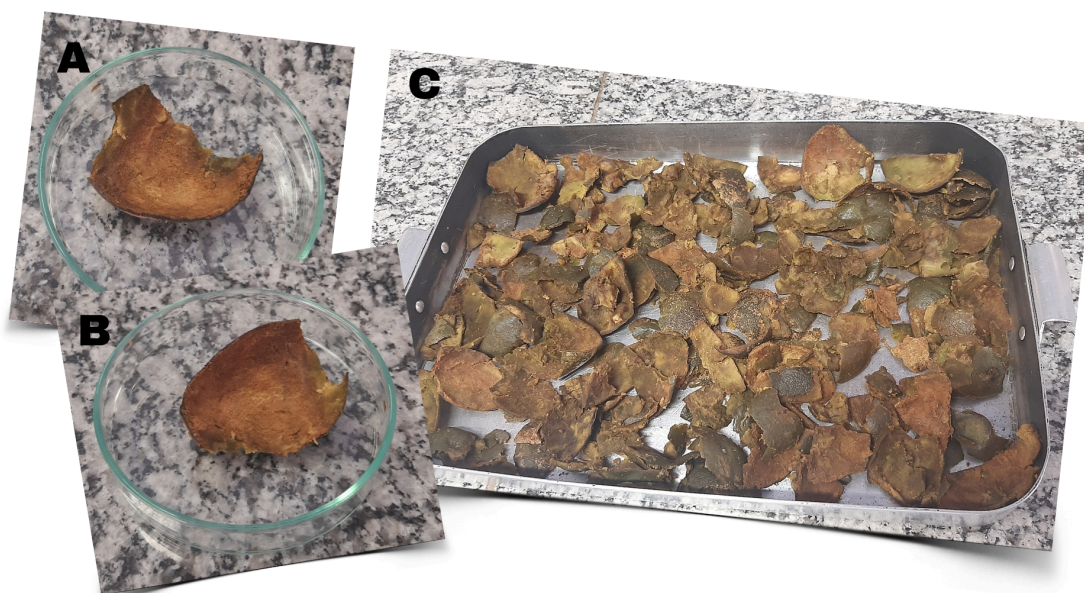
dos trabalhadores locais nas áreas de ocorrência (Paz *et al.*, 2014; Geocze, 2011; Oliveira *et al.*, 2010).

Figura 1. Características externas do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.)



Fonte: elaborado pela autora (A: frutos de pequi congelados; B e C: frutos de pequi íntegros, com epicarpo).

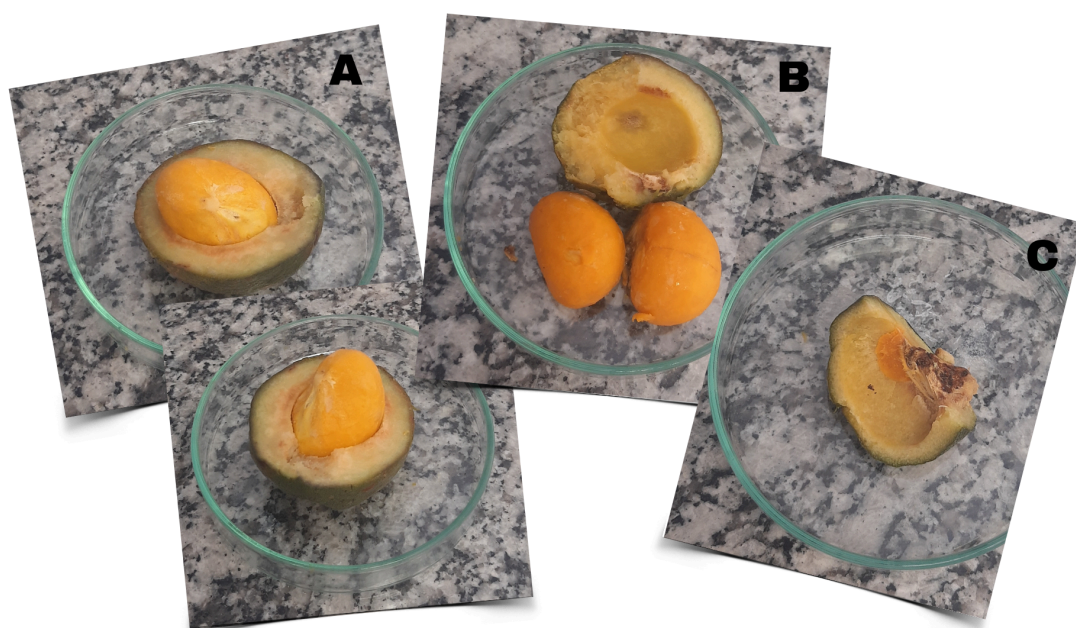
Figura 2. Epicarpo do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.)



Fonte: elaborado pela autora (A e B: epicarpo de pequi; C: epicarpo de pequi distribuídos em recipiente para secagem).

O fruto é também apreciado na indústria e na comercialização de cosméticos, como condicionador, sabonete, hidratante e xampu. Seu óleo possui propriedades terapêuticas e medicinais, podendo combater doenças respiratórias como gripes, resfriados e bronquite. O óleo extraído do pequi possui também um grande potencial de uso na produção de combustíveis e lubrificantes, sendo considerado vantajoso sobre outras oleaginosas, pois pode, por exemplo, produzir até 8 vezes mais L/ha de biodiesel do que a soja (Oliveira; Scariot, 2010; Oliveira *et al.*, 2008).

Figura 3. Características internas do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.)



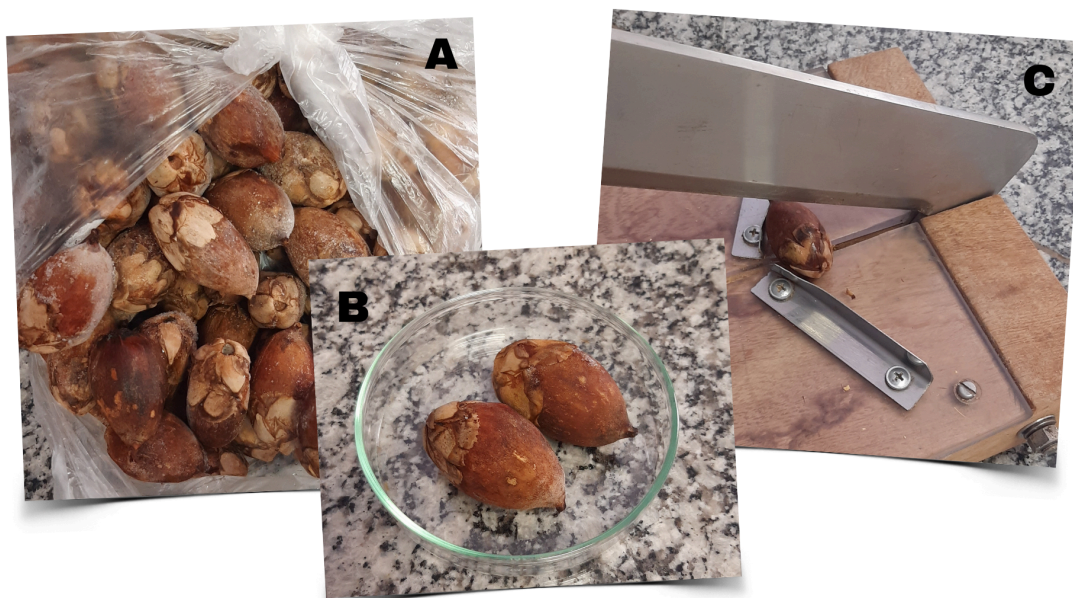
Fonte: elaborado pela autora (A: fruto de pequi em corte longitudinal; B: fruto de pequi após separação manual de mesocarpo externo (aderido ao epicarpo) e interno (polpa comestível amarelo escuro); C: epicarpo e mesocarpo externo de pequi).

3.2.2 Inajá (*Attalea maripa* [Aubl.] Mart.)

A palmeira Inajá produz grande cacho de frutos ovoides, ainda pouco explorados. O inajazeiro é nativo do Brasil sendo encontrado em grande quantidade em toda região Amazônica, com maior concentração em Roraima e no Amapá (Zuffo *et al.*, 2016; Lorenzi *et al.*, 1996; Henderson, 1995). Sua frutificação ocorre entre março e julho (Pires *et al.*, 2016), com teor de 60% de óleo em suas amêndoas, excelente opção para a produção de biodiesel e para

a produção de itens farmacêuticos, o que aumenta as possibilidades na extração de subprodutos (Zuffo *et al.*, 2016; Pires *et al.*, 2016).

Figura 4. Características externas do Inajá (*Attalea maripa* [Aubl.] Mart.



Fonte: elaborado pela autora (A: frutos de inajá congelados; B: frutos de inajá íntegros, com epicarpo; C: fruto de inajá posicionado para corte transversal em guilhotina).

O endocarpo e o mesocarpo são as partes do inajá que mais contribuem com seu peso. O epicarpo é delgado, fibroso e liso, e o endocarpo é lenhoso, pedregoso, de superfície lisa e brilhante (Figuras 4 e 5) (Matos *et al.*, 2017).

É um fruto com elevada quantidade de óleo (Santos, 2012). De acordo com as pesquisas da Embrapa em Roraima, os resultados mostram que o inajá é capaz de produzir cerca de 4.000 litros de óleo por hectare ao ano. Esse valor supera, em produtividade, outras fontes tradicionais de biocombustíveis e confirma o grande potencial da palmeira na produção de óleos para atender ao crescente mercado de biodiesel (Duarte, 2008). Apesar de seu grande potencial oleaginoso, sua população natural é constantemente alvo de queimadas durante o preparo de áreas agrícolas e limpeza de pasto (Matos, 2010).

A espécie apresenta assincronia, com observação simultânea de kfrutificação e floração (Matos *et al.*, 2017; Matos *et al.*, 2009). Segundo Lorenzi *et al.* (1996) a frutificação ocorre de janeiro a agosto com pico de

produção entre março e julho. Os frutos são oblongos elipsoides e lisos, medindo 5 a 6 cm de comprimento por 2 a 3 cm de diâmetro, de coloração marrom quando maduros, mesocarpo amarelo e oleoso. A amêndoa possui forma oblonga, podendo apresentar formas e tamanhos variados quando em número de duas ou três. O endocarpo é totalmente aderido ao tegumento da semente, de consistência córnea, duro e espesso (Storti; Storti Filho, 2002; Miranda *et al.*, 2001; Lorenzi *et al.*, 1996).

Figura 5. Características internas do Inajá (*Attalea maripa* [Aubl.] Mart.)



Fonte: elaborado pela autora (A: endocarpos de inajá com amêndoas, embalados após separação manual da polpa; B: endocarpos de inajá com amêndoas, distribuídos em recipiente para secagem; C: endocarpos de inajá em corte longitudinal evidenciando as amêndoas; D: endocarpos de inajá após separação das amêndoas).

Os óleos da polpa e da amêndoa possuem cor (amarelo na polpa e incolor na amêndoa), propriedades e qualidades químicas e físico-químicas muito diferentes entre si. O teor de óleo da polpa é de aproximadamente 23% enquanto as amêndoas podem fornecer 60% de óleo (Duarte, 2008).

3.3 CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS

Para que as pessoas mantenham uma dieta nutricional equilibrada, de acordo com a Ingestão Diária Recomendada (IDR), é necessário que o consumo de vitaminas, minerais e proteínas seja realizado em quantidades

adequadas (Brasil, 1998). Para tanto, é imprescindível dados sobre as composições dos alimentos. Esse tipo de informação pode servir de base para a indústria de alimentos, fomentar pesquisas sobre as relações entre dieta e doença (Gondim *et al.*, 2005), controle de qualidade do alimento, desenvolvimento de novos produtos, identificação de espécies promissoras ao aproveitamento industrial, bem como para a aplicação de melhoramento genético (Oliveira *et al.*, 2010).

Estudos como estes podem fornecer, por exemplo, informações sobre o teor de umidade nos alimentos, que se em altas proporções, compromete a qualidade e diminui o tempo de prateleira de alguns alimentos, ou seja, garante a estabilidade e a segurança microbiológica dos mesmos por mais tempo (Pereira *et al.*, 2003).

Além de enriquecer a dieta, a prática de reaproveitar dos alimentos suas partes comumente descartadas, diminui os gastos com alimentação, reduz o desperdício e torna possível a produção de novas fontes de alimentação, como farinhas, geleias e doces (Gondim *et al.*, 2005).

Geocze (2011) e Paz *et al.* (2014) ressaltaram que as características físico-químicas e os valores nutricionais de materiais vegetais podem variar conforme diferenças genotípicas, sazonalidade, formas de cultivo, variações de clima e solo, estágio de maturação, armazenamento e processamento.

3.4 COMPOSTOS BIOATIVOS

Compostos bioativos são considerados constituintes “extra nutricionais” presentes em alimentos de origem vegetal a fim de oferecer à eles proteção contra infecções microbianas e virais, atração de polinizadores e frugívoros, promovendo crescimento, desenvolvimento e manutenção dos mesmos, bem como aos organismos que se alimentam deles, onde agem como antioxidantes, antiinflamatórios, antitrombo e cardioprotetores, por exemplo (Ribeiro, 2011).

Os seres vivos ao realizarem o metabolismo do oxigênio em suas células, produzem radicais livres (Gonçalves, 2008; Roesler, 2007), moléculas ou átomos altamente instáveis e quimicamente muito reativos, podendo causar

danos por reagir com qualquer molécula que entra em contato (Gonçalves, 2008).

Fatores ambientais como pesticidas, poluição, cigarro, radiação ultravioleta e estilo de vida não saudável também constituem poderosas fontes de radicais livres nos organismos humanos. O excesso destes circulando no corpo, bem como em produtos alimentícios, pode causar oxidação de substratos, resultando na morte de células e danos aos tecidos (Gonçalves, 2008; Oliveira, 2010; Roesler, 2007). Esse processo acelera o envelhecimento e facilita a ocorrência de doenças crônicas e degenerativas não-transmissíveis como derrame cerebral, diabetes mellitus, artrite, Parkinson, Alzheimer, catarata e câncer (Gonçalves, 2008; Régis; Souza; Silveira, 2013; Roesler, 2007).

Antioxidantes são substâncias que retardam ou previnem a oxidação de substratos a serem oxidados. O organismo humano possui antioxidantes celulares (α -tocoferol, β -caroteno, ascorbil palmitato e GSH) e extracelulares (ácido úrico, bilirrubina e carnosina). Além disso, nosso organismo sintetiza antioxidantes como, por exemplo, superóxido dismutase, catalase, glutathione peroxidase, urato e ubiquinol, contudo, há evidências de que os mesmos não previnem completamente os danos causados por determinadas substâncias (Roesler, 2007).

Quando a quantidade de radicais livres produzidos por um organismo excede o limite dos mecanismos de defesa antioxidante, ocorre um desequilíbrio que leva ao estresse oxidativo, responsável pelo aparecimento das doenças crônicas e degenerativas não-transmissíveis já mencionadas (Oliveira, 2010). Na ausência de defesa antioxidante endógena adequada, há a necessidade de se obter uma regulação da atividade antioxidante, na tentativa de diminuir o risco de ocorrência de tais doenças, o que pode ser alcançado pelo consumo adequado de frutas e vegetais. Existem estudos que relatam ser os antioxidantes fenólicos vegetais contribuintes da redução da incidência de doenças em populações cujas dietas são altas na ingestão desses alimentos (Oliveira, 2010; Roesler, 2007). São exemplos de antioxidantes exógenos (consumidos na dieta) ácido ascórbico, α -tocoferol, vitamina A, carotenoide e compostos fenólicos (Oliveira, 2010).

Os efeitos benéficos de vegetais à saúde deve-se aos seus constituintes, tais como vitaminas, fibras, minerais e principalmente antioxidantes, que garantem suporte ao sistema de defesa do organismo. Existem estudos que evidenciam o superior potencial antioxidante de compostos fenólicos quando comparados com vitaminas E, C e β -caroteno, por exemplo, e outros que apontam ser as frutas e verduras as mais ricas fontes potenciais destas substâncias, enfatizando a importância de proporções adequadas das mesmas na dieta cotidiana (Oliveira, 2010).

Algumas plantas, por exemplo, desenvolveram adaptações para enfrentar estações prolongadas de seca, queimadas, elevada incidência solar e calor. Ao longo do tempo, elas passaram a sintetizar enzimas antioxidantes a fim de sequestrarem radicais livres tóxicos tipicamente produzidos nessas condições, conferindo-lhes um eficiente sistema de defesa contra o ataque de radicais livres (Lima *et al.*, 2007; Roesler, 2007). Sendo assim, proporcionam uma rica fonte de antioxidantes naturais (Ribeiro, 2011; Roesler, 2007).

Contudo, as perspectivas são promissoras para a exploração de espécies não tradicionais de frutas tropicais que possuem apreciáveis teores antioxidantes. No Brasil existem inúmeras espécies frutíferas subexploradas com possíveis potenciais nutricionais e antioxidantes, evidenciando a relevância de se conhecer mais sobre os níveis de compostos bioativos e atividades antioxidantes destas (Oliveira, 2010).

3.4.1 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários desenvolvidos por plantas em resposta a danos nos tecidos, como exposição excessiva à radiação ultravioleta, agressão por patógenos, ferimentos e infecções (Baeta, 2013; Ribeiro, 2011). Nas plantas são pigmentantes, agentes antipatogênicos, participam de seu crescimento e reprodução, além de possuírem importante ação antioxidante (Baeta, 2013). No organismo humano, podem ser protetores vasculares e benéficos no controle de diversas doenças como aterosclerose, catarata e câncer, além de prolongar a vida de prateleira de produtos quando adicionados (Gonçalves, 2008; Oliveira, 2010; Roesler, 2007).

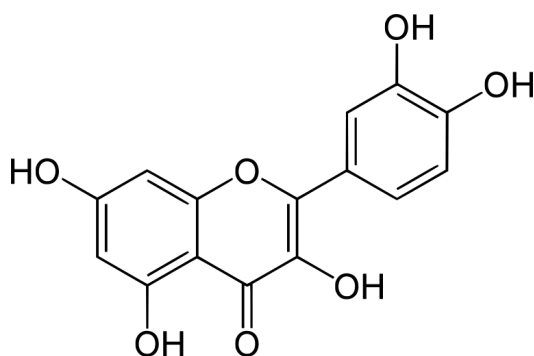
Os compostos fenólicos agem sequestrando radicais livres (Roesler, 2007), reciclando outros antioxidantes como α -tocoferol e convertendo íons metais pró oxidantes, como ferro e cobre, prevenindo a formação de radicais livres. Estas atividades protegem o DNA de danos oxidativos desativando carcinógenos (Gonçalves, 2008; Oliveira, 2010; Ribeiro, 2011).

Dentre a vasta quantidade de compostos fenólicos existentes, destacam-se os flavonoides e os ácidos fenólicos. O conteúdo de flavonoides e ácidos fenólicos de um vegetal pode ser influenciado por diversos fatores como, por exemplo, cultivo, maturidade no momento da colheita, estação do ano, incidência de radiação ultravioleta (UV), composição do solo, clima e condições de armazenamento e processamento (Baeta, 2013).

3.4.2 Flavonoides

Existe uma grande variedade de compostos fenólicos, que podem ser classificados em flavonoides, ou seja, os flavonoides constituem um subgrupo dos compostos fenólicos. Os flavonoides são compostos que possuem baixo peso molecular (Oliveira, 2010) e podem ser divididos em seis subclasses (flavonóis, flavonas, isoflavonas, flavanonas, antocianidinas e flavanois), sendo os flavonóis, como quercetina e kaempferol (Figuras 6 e 7), os mais comuns (Ribeiro, 2011).

Figura 6. Estrutura fenólica da quercetina

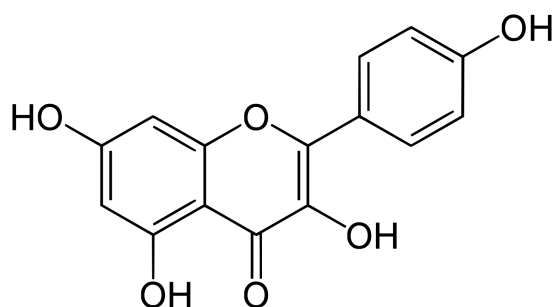


Fonte: Souza *et al.*, 2020.

Existem mais de 5000 flavonoides de ocorrência natural diferentes. Nas plantas eles oferecem proteção contra radiação ultravioleta, patógenos e

herbívoros (Oliveira, 2010), no organismo humano possuem propriedades anti-inflamatórias e participam da prevenção de doenças cardiovasculares (Gonçalves, 2008; Régis; Souza; Silveira, 2013). O amadurecimento e fatores ambientais antes da colheita podem influenciar positiva e negativamente no teor de flavonoides dos alimentos (Oliveira, 2010).

Figura 7. Estrutura fenólica do kaempferol

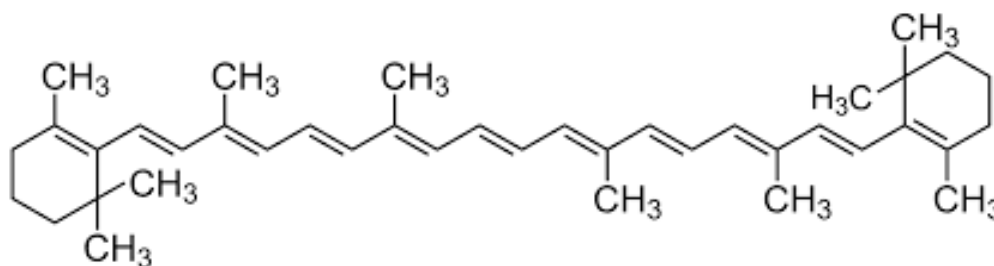


Fonte: Oliveira, 2014.

3.4.3 Carotenoides

Os carotenoides são substâncias pigmentantes que conferem coloração do amarelo ao laranja ou vermelho às plantas. São potentes antioxidantes lipossolúveis com ação terapêutica em doenças crônicas como as cardiovasculares, oftálmicas e osteoporose, além de possuírem efeitos anti-inflamatórios, anticânceres e contribuírem com a regulação do crescimento e da comunidade celular, modulação da expressão gênica e estimular a resposta do sistema imunológico (Cardoso, 2011; Geocze, 2011; Ribeiro, 2011).

Figura 8. Estrutura química do β -caroteno



Fonte: Santos, 2012.

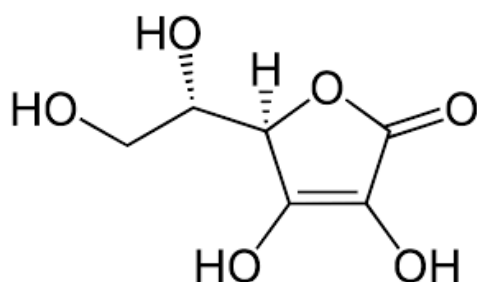
Nas plantas os carotenoides cumprem funções vitais como absorção de luz e proteção contra fotooxidação, além de participar da atração de insetos e

herbívoros polinizadores que contribuem disseminando pólen e sementes. Já foram isolados e identificados mais de 600 tipos de carotenoides, dos quais 10% podem ser metabolizados e convertidos em vitamina A no corpo de animais. Na nutrição humana, a vitamina A pode ser obtida de alimentos de origem animal (pré-formadas) ou provenientes de alimentos de origem vegetal (provitamina A), que são os carotenoides provitaminários A como β -caroteno (Figura 8) e α -caroteno (Geoczze, 2011).

3.4.4 Ácido ascórbico

A vitamina C ou ácido ascórbico (Figura 9), é uma vitamina hidrossolúvel com elevada importância nutricional, pois apresenta excelente atividade antioxidante e atua na absorção de ferro de origem vegetal (Baeta, 2013; Cardoso, 2011), além de atuar na atividade imunológica, na cicatrização através da formação de colágeno, na inibição de nitrosaminas (composto químico cancerígeno), na oxidação da fenilalanina e tirosina, na produção de interferon, na reação inflamatória, na síntese de adrenalina, de corticoesteróides e de ácidos biliares (Baeta, 2013), na formação de tecido conjuntivo, produção de hormônios e anticorpos, biossíntese de aminoácidos, e prevenção de escorbuto, doença desencadeada pela carência de vitamina C no organismo (Gonçalves, 2008).

Figura 9. Estrutura química do ácido ascórbico



Fonte: Santos, 2012.

O ácido ascórbico é considerado um agente fisiológico versátil, pois age em meios intra e extracelulares. Tem importante função na prevenção da aterosclerose plaquetária, pois nas membranas biológicas, restaura atividades

antioxidantes de α -tocoferol e previne a formação de hidroperóxidos lipídicos em lipoproteínas plasmáticas (Gonçalves, 2008).

3.4.5 Extração de compostos bioativos

O ultrassom é comumente utilizado na extração de compostos fenólicos, sobretudo, devido sua capacidade de reduzir os solventes utilizados, o tempo de extração e o consumo de energia (Esclapez *et al.*, 2011; Guerra; Garcia; Silva, 2016; Santos *et al.*, 2021).

O ultrassom age por meio de um fenômeno físico denominado cavitação. Este fenômeno favorece a formação de microbolhas que ao implodirem promovem reações químicas, facilitando a extração (Santos *et al.*, 2021; Suslick, 1989).

A energia desse sistema é emitida através de ondas ultrassônicas que potencializam a penetração do solvente na amostra e a difusão dos compostos fenólicos da amostra para o solvente (Guerra; Garcia; Silva, 2016). Consequentemente, quanto maior a frequência do aparelho, maior a eficiência na extração (Suslick, 1989).

A decomposição térmica é a principal causa de redução do conteúdo de polifenóis durante o processo de extração. O equipamento quando usado por longos períodos, tende a elevar sua temperatura, desse modo, há a necessidade de um controle externo de temperatura. Sendo assim, alguns fatores como, frequência, tempo e o controle da temperatura devem ser considerados durante o processo de extração (Lindley; Mason, 1987; Andreo; Jorge, 2006).

3.4.5.1 Influência do solvente

Difícilmente um solvente será satisfatório para extração de todos os antioxidantes naturais. A natureza química dos compostos, a variedade de compostos bioativos nos vegetais, diferentes quantidades, bem como a possibilidade de interação dos mesmos com outros componentes dos alimentos são fatores que influenciam na extração dos compostos bioativos (Andreo; Jorge, 2006).

O solvente etanol é considerado não tóxico, de grau alimentício e recomendado pela FDA – Food and Drug Administration (Guerra; Garcia; Silva, 2016).

3.5 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Os antioxidantes retardam ou previnem a oxidação de substratos a serem oxidados, através de dois mecanismos básicos classificados como primários e secundários; os de mecanismos primários quebram a cadeia de oxidação e seqüestram radicais livres, e os de mecanismos secundários desativam metais, inibem a cadeia reativa dos hidroperóxidos, regeneram os antioxidantes primários e seqüestram oxigênio (Gonçalves, 2008; Roesler, 2007).

À fim de melhorar a conservação e aumentar o tempo de prateleira de alguns alimentos industrializados, faz-se comumente o uso de antioxidantes sintéticos como, por exemplo, o TBHQ (Terc Butil Hidroquinona) e o BHT (Butil Hidroxitolueno). Apesar dos benefícios, o uso destas substâncias tem sido associado em ratos ao aparecimento de cânceres, havendo assim uma tendência de substituição destes por antioxidantes naturais (Oliveira, 2010) e consequentemente uma necessidade de pesquisas relacionadas aos recursos vegetais que os possuem, bem como suas quantidades e qualidade.

Existem estudos que apontam a vitamina C e os compostos fenólicos, principalmente os flavonoides, como antioxidantes hidrofílicos e a vitamina E e os carotenoides como antioxidantes lipofílicos, podendo funcionar de maneira sinérgica, aumentando a eficácia da ação antioxidante (Oliveira, 2010).

A capacidade antioxidante de um extrato reflete a atividade antioxidante integrada de todos seus componentes, elucidando sua ação cumulativa, podendo fornecer inclusive informações fisiológicas e nutricionais importantes do material em questão (Gonçalves, 2008).

Inúmeros métodos têm sido desenvolvidos para avaliar a atividade antioxidante, tornando praticamente impossível expressá-la como um valor absoluto. A atividade antioxidante depende do substrato a ser oxidado e da associação entre o antioxidante e os componentes do substrato. Em função da grande complexidade entre os processos oxidantes e antioxidantes, nenhum método sozinho é capaz de promover uma interpretação da amostra

antioxidante testada (Gonçalves, 2008; Roesler, 2007). Sendo assim, a fim de se obter resultados significativos, aconselha-se a utilização de multi métodos para avaliar a AAO de uma amostra (Roesler, 2007).

O método DPPH (2,2-difenil-1-picril hidrazil) envolve o sequestro de radicais livres, determinando o poder redutor dos compostos analisados (Gonçalves, 2008). Em linhas gerais, emprega modelos de radicais relativamente estáveis (2,2- difenil-1-picril hidrazil), avaliando a capacidade do extrato vegetal em doar hidrogênio a fim de formar não radicais, ou seja, seqüestrar os radicais livres ($\text{OH}^\bullet$) formados durante a oxidação (Roesler, 2007). A absorbância máxima do radical em UV visível é a 515 nm. À medida que os compostos antioxidantes capturam radical, nota-se a redução na absorbância, que é monitorada ao longo do tempo até a estabilização (Resende, 2016). É um método considerado rápido e simples, sendo indicado para um grande número de amostras (Pires *et al.*, 2017; Roesler, 2007; Sucupira *et al.*, 2012), preciso, com resultados reprodutíveis e sensível, ou seja, detecta pequenas concentrações de ativo testado. A partir dos resultados, calcula-se a quantidade de DPPH consumida/sequestradora ou a porcentagem remanescente deste em meio reacional (Oliveira, 2010).

O método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), baseia-se em reações de transferência de elétrons. O método surgiu como alternativa para avaliar fluidos biológicos e misturas aquosas de compostos puros, podendo ser equiparado a outras metodologias igualmente eficientes (Pulido; Bravo; Saura-Calixto, 2000; Sucupira *et al.*, 2012).

Na reação por FRAP, ocorre uma complexação de TPTZ (2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina) com Fe (III), de tons amarelados. Em contato com compostos antioxidantes, ocorre a redução do ferro presente, dando origem a tons azulados a roxo escuro. A análise é realizada em pH de 3,6 e lida em absorbância máxima de 593 nm, visto que em meio ácido pode haver a supressão da redução da capacidade de reduzir uma amostra e em meio alcalino a potencialização da capacidade antioxidante (Huang; Ou; Prior, 2005; Sucupira *et al.*, 2012).

A metodologia ABTS consiste na reação do radical com o antioxidante, por meio da redução do radical catiônico e perda da coloração do meio

reacional. Assim, a porcentagem de inibição do ABTS é determinada utilizando Trolox como padrão (Casemiro, 2016; Sucupira *et al.*, 2012).

3.6 ESTABILIDADE OXIDATIVA

A qualidade nutricional e sensorial dos alimentos é fortemente influenciada pela estabilidade oxidativa dos óleos e produtos derivados, por isso um aspecto de extrema importância. Os fatores pró-oxidantes na oxidação lipídica podem causar alterações na textura, aparência e sabor do alimento, comprometendo seu valor nutricional e sua aceitabilidade, além de produzir compostos altamente tóxicos ao organismo humano e gerar perdas econômicas para a indústria alimentícia (Aranha, 2018; Casemiro, 2016; Cruz, 2014).

Cada tipo de óleo ou gordura possui uma estrutura única, que influencia diretamente na sua estabilidade oxidativa, devido ao grau de insaturação dos ácidos graxos que os compõem. São exemplos o óleo de soja, considerado de baixa estabilidade oxidativa por possuir ácidos graxos poli-insaturados, e os óleos de palma e de coco, de alta estabilidade devido sua composição com grandes concentrações de ácidos graxos saturados. A taxa de oxidação aumenta em emulsões do tipo óleo em água porque a fase aquosa fica suscetível a fatores que induzem o processo oxidativo, como oxigênio e metais (Aranha, 2018).

A oxidação lipídica em alimentos pode ser inibida ou reduzida com o emprego de antioxidantes (Cruz, 2014).

3.7 ANTIOXIDANTES E A ESTABILIDADE OXIDATIVA

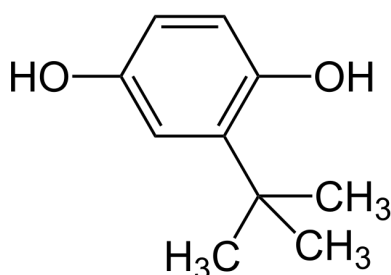
Antioxidantes são aditivos amplamente empregados nas indústrias alimentícia, farmacêutica e química, com função de impedir a oxidação e aumentar a vida útil de produtos que possuem altas concentrações de lipídios (Aranha, 2018; Casemiro, 2016; Cruz, 2014).

São inúmeros os antioxidantes sintéticos (BHT, BHA, TBHQ e PG) utilizados como inibidores da oxidação lipídica (Aranha, 2018; Casemiro, 2016; Cruz, 2014). O potencial antioxidante de um composto é determinado pela

reatividade do mesmo como doador de elétrons ou hidrogênio, pela sua capacidade de deslocar ou estabilizar elétrons desemparelhados e pelas suas reatividades com outro antioxidante ou com o oxigênio molecular, interrompendo a formação de radicais livres (Moraes; Colla, 2006).

O TBHQ (Figura 10) é um dos antioxidantes sintéticos mais efetivos em óleos vegetais insaturados por causa de sua alta estabilidade. Apesar disso, devido a possibilidade dos efeitos tóxicos, sua aplicação em produtos alimentícios têm sido banidos em alguns países (Aranha, 2018; Cruz, 2014).

Figura 10. Estrutura fenólica do TBHQ



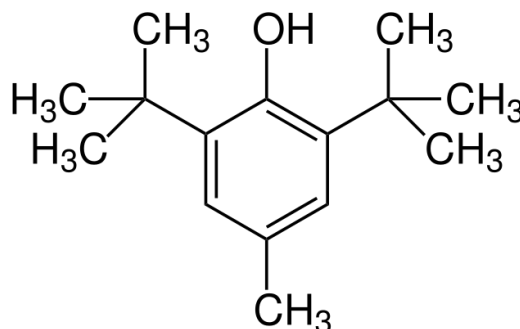
Fonte: Hui, 1996.

O BHT (Figura 11) é um antioxidante sintético amplamente empregado na indústria alimentícia, entretanto, muitos estudos demonstram uma atividade antioxidante mais baixa do BHT em comparação com os antioxidantes naturais, como a quercetina, encontrada na maçã, cebola, acerola e a catequina encontrada na uva, amora e pêssego, além de sua possível toxigenicidade (Cruz, 2014).

O emprego de antioxidantes sintéticos pela indústria alimentícia têm trazido preocupações aos consumidores, isso porque existem evidências de efeitos deletérios ao organismo causados pelo consumo desses aditivos (Aranha, 2018; Casemiro, 2016; Cruz, 2014).

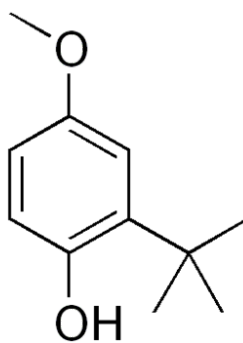
O uso do antioxidante sintético BHA (Butil Hidroxianisol) (Figura 12) foi associado ao desenvolvimento de carcinomas em ratos e hamsters num experimento realizado durante 104 semanas, por exemplo (Masui *et al.*, 1986).

Figura 11. Estrutura fenólica do BHT



Fonte: Hui, 1996.

Figura 12. Estrutura fenólica do BHA



Fonte: Hui, 1996.

Sendo assim, fica evidente a demanda que existe por pesquisas voltadas ao desenvolvimento de antioxidantes naturais provenientes de diferentes fontes vegetais (Cruz, 2014).

3.8 ANTIOXIDANTES NATURAIS

Nos últimos tempos, tem havido um aumento significativo na procura por opções naturais para substituir antioxidantes sintéticos em produtos alimentares (Aranha, 2018; Casemiro, 2016).

Os antioxidantes naturais podem ser extraídos de diversas fontes vegetais, como frutas, ervas e especiarias (Casemiro, 2016; Cruz, 2014). Estudos com extratos de alecrim, tomilho e lavanda demonstraram possuir altos níveis de atividade antioxidante quando aplicados em emulsões

óleo-em-água, com potencial para substituição de antioxidantes sintéticos, por exemplo (Gallego *et al.*, 2013).

Casemiro (2016) estudando a atividade antioxidante encontraram inúmeros compostos fenólicos em extratos de orégano, tomilho e alecrim.

Existem diversos compostos presentes em alimentos naturais que exercem efeito antioxidante, dentre estes se destacam os compostos fenólicos (Casemiro, 2016), ácido ascórbico e carotenoides (Aranha, 2018).

Os compostos fenólicos são encontrados naturalmente nos vegetais e ajudam a proteger as plantas contra agressões de animais e insetos, tornando-os poderosos antioxidantes (Aranha, 2018). Quando incorporados na alimentação humana, os compostos fenólicos não apenas conservam a qualidade dos alimentos, como também reduzem o risco de desenvolvimento de diversas doenças (Casemiro, 2016; Martínez-Valverde; Periago; Ros, 2000; Cruz, 2014).

Antioxidantes fenólicos funcionam como sequestradores de radicais livres, doando um átomo de hidrogênio a um radical lipídico, e algumas vezes como quelantes de metais. Os produtos intermediários, formados pela ação destes antioxidantes, são relativamente estáveis, devido à ressonância do anel aromático apresentado por estas substâncias. Além disso, os compostos fenólicos podem atuar como protetores e regeneradores de antioxidantes primários como ácido ascórbico, tocoferol e β -caroteno (Casemiro, 2016; Soares, 2002; Kinsella *et al.*, 1993).

Outro composto que os vegetais produzem naturalmente é o ácido ascórbico, que possui hidroxilas capazes de doar hidrogênio, regenerar compostos antioxidantes primários, sequestrar radicais livres e quelar várias formas de oxigênio, além de atuar como sinergista junto aos tocoferóis (Aranha, 2018).

Estudos têm sido realizados para explorar o potencial antioxidante de extratos de frutos, revelando fontes promissoras na redução da oxidação lipídica em emulsões (Cruz, 2014). Dentre os frutos, há interesse também no uso do pequi e inajá, devido aos seus componentes, tais como compostos fenólicos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

As análises químicas, físicas e os ensaios experimentais foram conduzidos no Laboratório de Química de Alimentos da Faculdade de Ciências e Letras da UNESP, Campus de Assis/SP.

4.1 Matéria-prima

Foram utilizados frutos da flora brasileira, nativos do Cerrado e da Região Amazônica utilizados para a extração de óleo, pequi e inajá, respectivamente.

4.1.1 Origem das amostras

Os frutos de inajá foram coletados no Maranhão, na Comunidade Quilombola de Pedrinhas, do Município de Itapecuru Mirim, coordenadas 3° 23' 34" Sul e 44° 21' 32" Oeste.

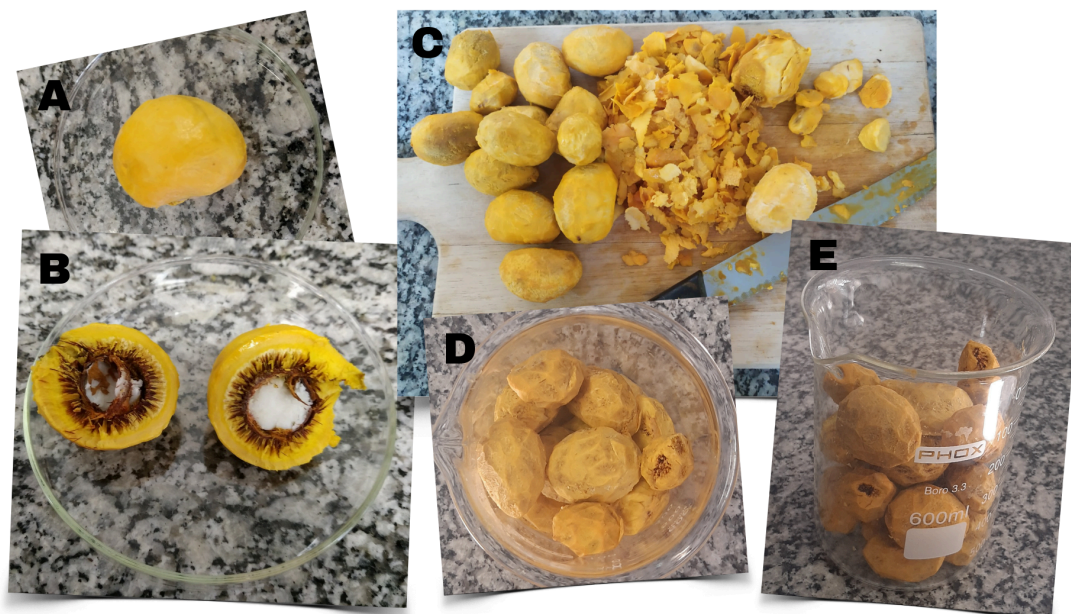
Os pequis foram obtidos no CEASA - Centrais de Abastecimento de Campinas - SP, provenientes do estado de Goiás, cidade de Damianópolis, latitude 14° 33' 48" Sul e longitude 46° 10' 48" Oeste.

4.1.2 Preparo das amostras

Para o desenvolvimento dos experimentos, foram utilizados o epicarpo e endocarpo do pequi e inajá, obtidos após separação manual da polpa e amêndoa (Figuras 13, 14 e 16).

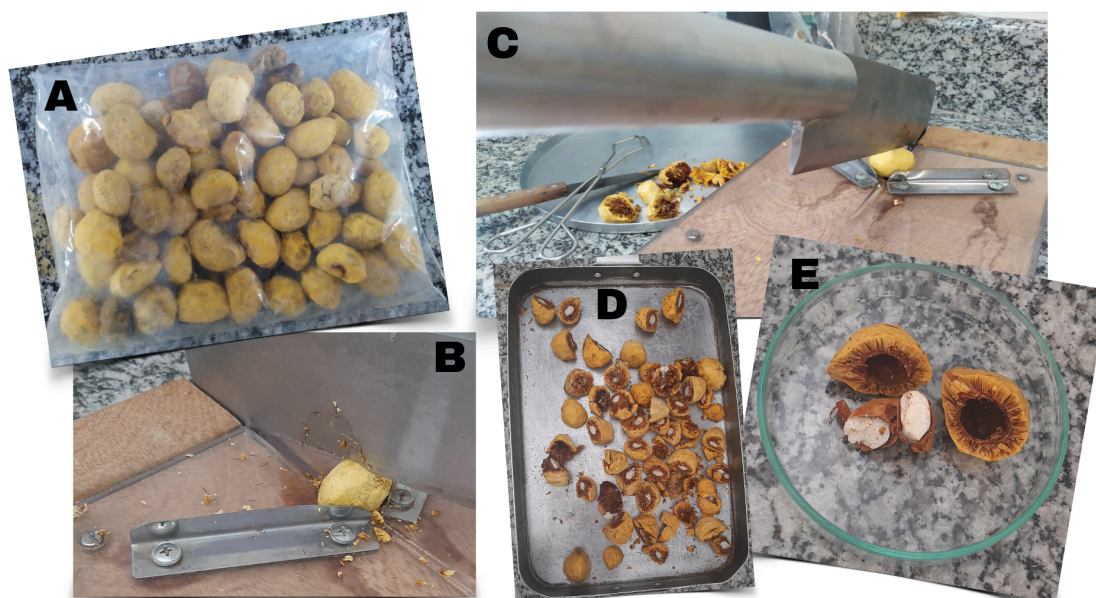
Os materiais resultantes da separação, foram secos em estufa com circulação de ar a temperatura de 40 °C por 24 horas (Figura 15 e 17), em seguida passaram em moinho de facas (Figura 15). O endocarpo do inajá, devido a elevada dureza do material, foi triturado em moinho Multiuso (Figura 17). Os materiais triturados foram armazenados em dessecador ao abrigo da luz para análises posteriores.

Figura 13. Separação manual das partes do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.)



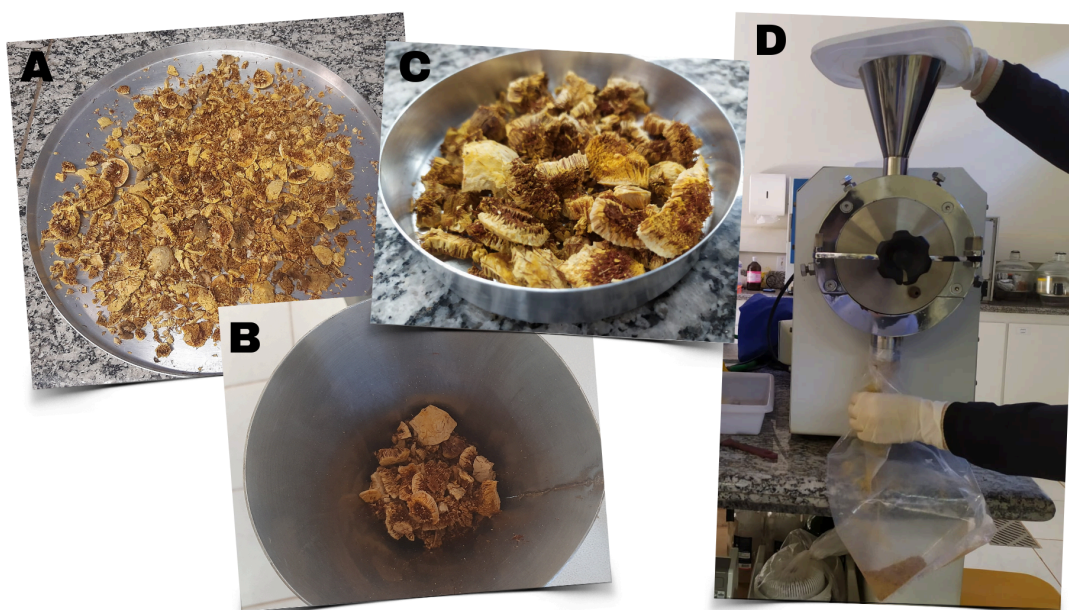
Fonte: elaborado pela autora (A: mesocarpo interno de pequi íntegro com amêndoa; B: mesocarpo interno de pequi com amêndoa em corte transversal; C: separação manual da polpa e endocarpo espinhoso do pequi; D e E: endocarpos espinhosos de pequi com amêndoas, despolpados).

Figura 14. Separação manual das partes do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.)



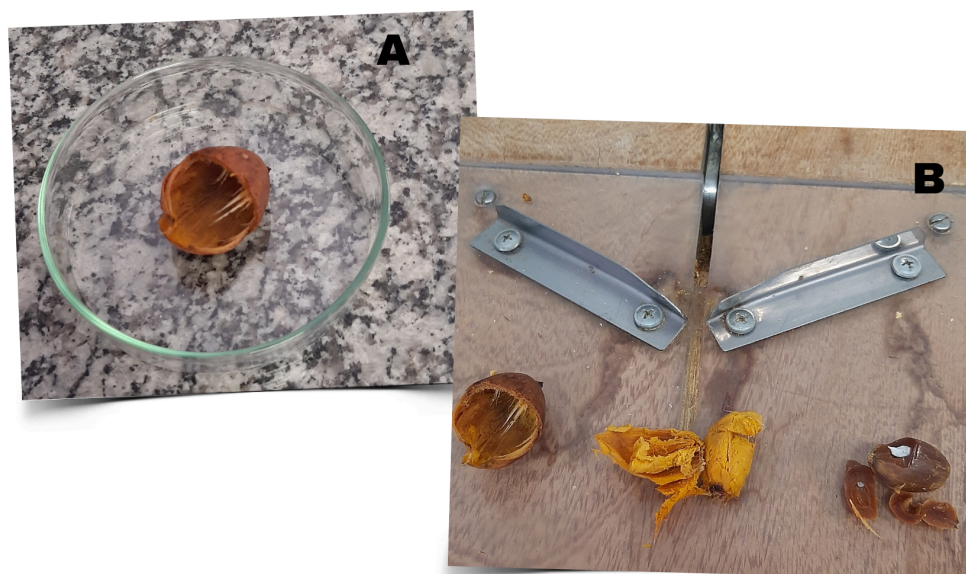
Fonte: elaborado pela autora (A: endocarpos espinhosos de pequi com amêndoas, despolpados; B e C: endocarpos espinhosos de pequi com amêndoas posicionado para corte transversal em guilhotina; D: endocarpos espinhosos de pequi com amêndoas em corte transversal; E: endocarpo espinhoso de pequi e amêndoa após separação manual).

Figura 15. Moagem do endocarpo de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.)



Fonte: elaborado pela autora (A e C: endocarpos espinhosos de pequi após secagem; B e D: endocarpos espinhosos de pequi no processo de moagem em moinho de facas).

Figura 16. Separação manual das partes do inajá (*Attalea maripa* [Aubl.] Mart.)



Fonte: elaborado pela autora (A: epicarpo de inajá; B: partes do fruto inajá após separação manual).

Figura 17. Secagem e moagem do Inajá (*Attalea maripa* [Aubl.] Mart.)



Fonte: elaborado pela autora (A: epicarpos de inajá em estufa para secagem; B: epicarpos de inajá distribuídos em recipiente após secagem em estufa; C: endocarpos de inajá no processo de moagem em moinho Multi-uso).

4.2 Métodos

4.2.1 Composição Centesimal

Os materiais previamente secos, triturados e homogeneizados foram caracterizados quanto à composição centesimal (umidade, cinzas, lipídios, proteínas, fibras e carboidratos) utilizando as metodologias oficiais da AOCS (2003) e AOAC (2000). Todas análises foram realizadas em triplicata.

4.2.1.1 Determinação de Umidade

A umidade foi determinada em estufa com circulação forçada de ar a 105 °C. Cerca de 3 g de amostra foram pesadas em cadinhos tarados. As amostras foram aquecidas, até a obtenção de massa constante, o que ocorreu após quatro horas.

4.2.1.2 Determinação de Cinzas

Para determinação das cinzas, 3 g de amostras foi pesada em cadinhos de porcelana tarados e carbonizados individualmente em bico de Bunsen até não haver mais desprendimento de fumaça. Os cadinhos com as amostras foram levados à mufla a 550 °C até que as cinzas se tornassem claras ou levemente acinzentadas, ou seja, até que não tivessem resíduos pretos de matéria orgânica na cinza. Após, foram resfriadas, por 30 minutos, em dessecador até atingir a temperatura ambiente e pesadas.

4.2.1.3 Determinação de Lipídios (Método de Soxhlet)

Os teores de lipídios foram determinados utilizando um aparelho extrator do tipo Soxhlet. Para análise, cerca de 10 g de amostras foram pesadas e envolvidas em papel filtro. Os cartuchos contendo as amostras foram colocados no extrator de Soxhlet e a extração foi realizada com éter de petróleo a 40-60 °C por 5 horas. O solvente foi eliminado sob vácuo em evaporador rotativo a 60 °C. Em seguida, os balões com a matéria graxa extraída foram esfriados em dessecador e pesados.

4.2.1.4 Determinação de Proteínas (Método de Kjeldahl)

As determinações de nitrogênio e proteína total foram realizadas pelo método clássico de Kjeldahl, que se baseia em três etapas: digestão da amostra em ácido sulfúrico com catalisador; destilação do nitrogênio amoniacal e quantificação da amônia por titulometria. Para as análises, 0,1 g das amostras foram digeridas com 2 mL de H₂SO₄ concentrado, 1 g da mistura catalítica (CuSO₄ e K₂SO₄ na proporção 4:96) em tubos Kjeldahl utilizando temperatura de 350 °C, por aproximadamente 2 horas até o aparecimento de coloração esverdeada nas amostras. Após a digestão foi acrescentado 10 mL de água destilada, seguida de destilação. O destilado foi coletado em erlenmeyer contendo ácido bórico (0,32 M) e a titulação foi realizada utilizando ácido clorídrico 0,02 M na presença de verde de bromocresol e vermelho de metila como indicadores. Os teores de proteínas totais foram estimados utilizando fator de conversão de 6,25.

4.2.1.5 Determinação de Fibras e Carboidratos

O conteúdo de fibras e carboidratos (fibras + carboidratos) foram calculados por diferença subtraindo-se a soma das porcentagens de umidade, lipídios, proteínas e cinzas de 100%.

4.2.2 Obtenção dos extratos

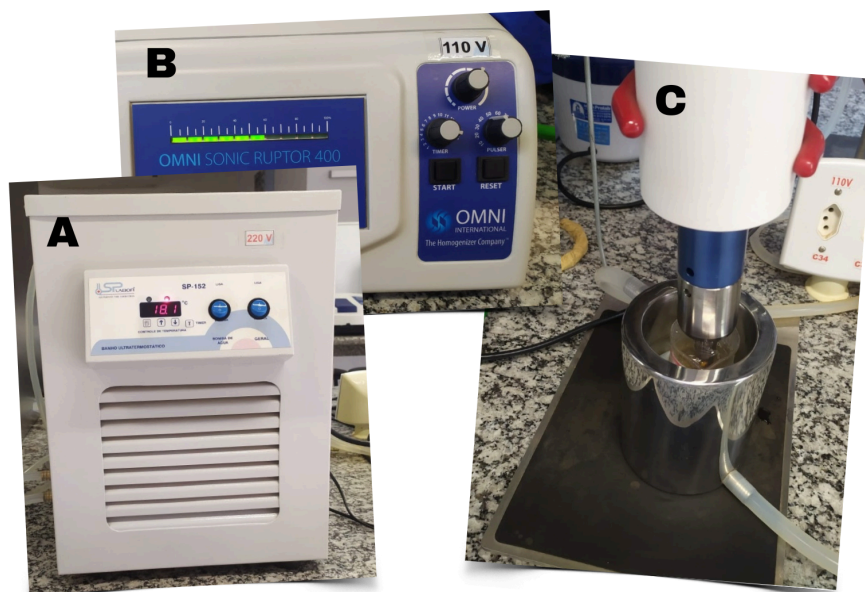
Para as análises foram realizadas a preparação de extratos. A proporção de material seco:solvente e o tempo de extração foram otimizados utilizando ultrassom, visando a extração máxima de compostos fenólicos totais.

Para fins de comparação, os parâmetros otimizados foram utilizados para a realização de extração convencional.

4.2.3 Extração ultrassônica

Os extratos hidroalcoólicos foram obtidos utilizando ultrassom, com homogeneizador ultrassônico Omni Sonic Ruptor 400®, equipado com uma sonda de titânio (13 mm de diâmetro) operando a uma frequência de 20 kHz.

Figura 18. Sistema de extração ultrassônica



Fonte: elaborado pela autora (A: controle de temperatura com circulação de água; B: aparelho homogeneizador ultrassônico; C: sonda ultrassônica).

O controle de temperatura foi realizado utilizando uma camisa com circulação de água a 18 °C (Figura 18). Outros parâmetros de extração foram considerados mediante resultados de trabalho prévio (Leite et al., 2018): solvente álcool etílico : água (1:3), potência do ultrassom 240 W e quantidade de pulsos de 50%. Após extração, os extratos foram submetidos a filtragem com papel filtro qualitativo e armazenados sob refrigeração.

4.2.4 Otimização

Foi utilizado para cada resíduo, um delineamento experimental nos seguintes níveis de variação: proporção de matéria seca : solvente de 1:10 a 1:30 g:ml e tempo de extração de 5 a 20 minutos, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros do delineamento experimental para otimização da extração de compostos fenólicos utilizando ultrassom.

Extração	Matéria seca:solvente g:ml	Tempo minutos	Potência W	Pulsos
1	1:10	5	240	50%
2	1:10	10	240	50%
3	1:10	20	240	50%
4	1:20	5	240	50%
5	1:20	10	240	50%
6	1:20	20	240	50%
7	1:30	5	240	50%
8	1:30	10	240	50%
9	1:30	20	240	50%

4.2.5 Extração convencional

Para extração convencional foi utilizada uma incubadora *shaker* com agitação orbital (Quimis®) (Figura 19), proporção de 1:10 matéria seca:solvente, temperatura de 30 °C, durante 60 minutos e agitação de 100

rpm. Os extratos foram armazenados sob refrigeração, após filtragem com papel filtro qualitativo.

Figura 19. Sistema de extração convencional



Fonte: elaborado pela autora.

4.2.6 Compostos Fenólicos Totais

Os conteúdos de compostos fenólicos totais foram determinados por meio de ensaios colorimétricos, tal como descrito por Singleton e Rossi (1965), utilizando o reagente de Folin - Ciocalteu. Alíquotas de 0,5 mL de cada extrato foram misturadas com 0,5 mL do reagente de Folin-Ciocalteu e 8 mL de água destilada. Após 3 minutos, se adicionou 1 mL de solução de carbonato de sódio 20%, e após descanso de 1 hora no escuro, foram feitas as leituras de absorbância a 765 nm, contra um branco com água destilada substituindo o extrato. Para quantificação foi construída uma curva de calibração utilizando ácido gálico como padrão, em concentrações de 0 a 300 mg/L, nas mesmas condições descritas anteriormente. A equação da curva foi $y = 0,0051 x - 0,015$ com $R^2 = 0,9959$. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico por mL de extrato (mg EAG/mL).

4.2.7 Extrato seco

Os materiais foram caracterizados quanto à matéria seca, determinada em estufa com circulação forçada de ar a 105 °C. Cerca de 3 mL dos extratos foram pipetados em placas petri taradas, posteriormente aquecidas até a obtenção de massa constante, que ocorreu aproximadamente após um período de 4 horas de aquecimento. O valor obtido de matéria seca foi dividido pelo volume do extrato utilizado, obtendo o rendimento do extrato seco, expresso em g/100 mL.

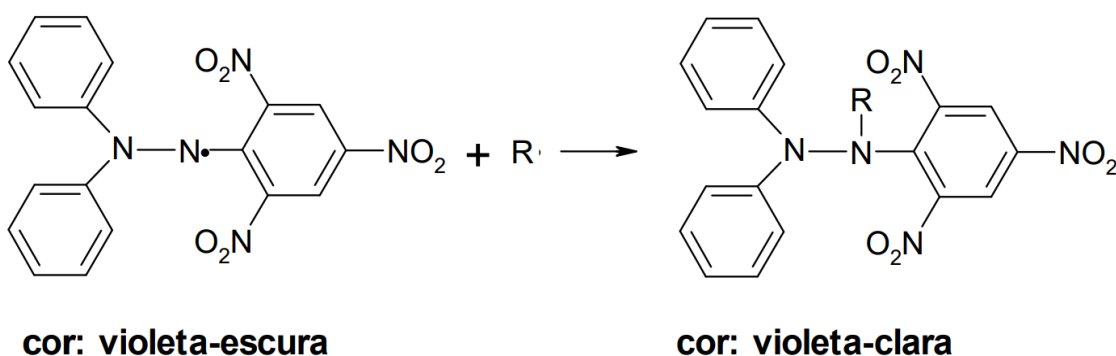
4.2.8 Atividade antioxidante

Os extratos obtidos a partir das condições de extração otimizadas foram analisados quanto à atividade antioxidante.

4.2.8.1 Método DPPH

A atividade antioxidante foi determinada pelo método de DPPH conforme descrito por Silveira *et al.* (2018) (Figura 20). Para tanto, foram preparadas uma solução estoque de DPPH, armazenada sob refrigeração, e uma solução padrão de trolox 2 mM, utilizada apenas no dia das análises.

Figura 20. Estabilização do radical livre DPPH



Fonte: Magalhães; Matos; Lourençon, (2018).

O tempo de reação entre o DPPH e os extratos foi determinado a partir da curva cinética, obtida a partir de leituras espectrofotométricas subsequentes a 515 nm até estabilidade (Tabela 2).

Tabela 2. Tempo de reação entre o DPPH e os extratos dos resíduos de pequi e inajá até estabilidade.

Material	Tempo de estabilidade (minutos)
Epicarpo de pequi	15
Endocarpo de pequi	15
Epicarpo de inajá	80
Endocarpo de inajá	100

Para determinação da atividade antioxidante, alíquotas de 150 µL dos extratos foram transferidas para tubos de ensaio contendo 5,850 mL de DPPH, homogeneizados e as leituras foram realizadas nos tempos estabelecidos anteriormente. O solvente álcool etílico 25% foi utilizado como branco e as análises foram conduzidas em triplicata.

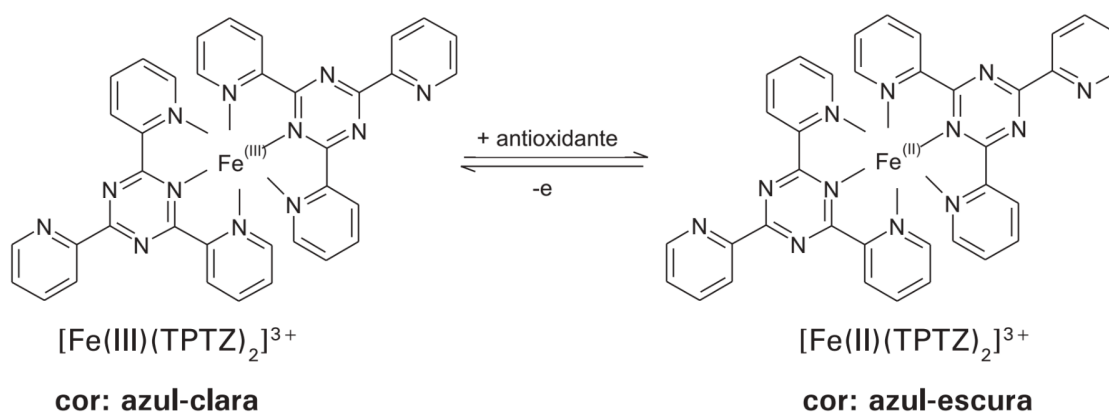
Para quantificação da concentração de atividade antioxidante foi construída uma curva de calibração utilizando Trolox como padrão, em concentrações de 50 µM a 1.000 µM, nas mesmas condições descritas acima. A equação da curva foi $y = -0,0006 x + 0,6607$ com $R^2 = 0,9974$. Os resultados foram expressos em concentração equivalente de Trolox µM/g.

4.2.8.2 Método FRAP

Em complementação, os extratos foram analisados quanto à atividade antioxidante pelo método de redução do ferro (FRAP), descrito por Rufino *et al.* (2006) (Figura 21). O reagente FRAP foi preparado no dia da análise, por meio de uma mistura na proporção de 10:1:1 de tampão acetato (300 mM, pH 3,6), solução TPTZ (10 mM de 2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina em 40 mM HCl) e FeCl₃ (20 mM) em solução aquosa, respectivamente. Uma alíquota de 90 µL da

solução de extrato foi adicionada a 270 μL de água destilada e 2,7 mL do reagente FRAP e incubada a 37 °C em banho-maria por 30 min. As absorbâncias foram medidas em seguida a 595 nm contra um branco de reagente FRAP. As análises foram conduzidas em triplicata. Para avaliar o potencial de redução do ferro foi construída uma curva padrão utilizando Trolox como padrão, em concentrações de 160 a 800 $\mu\text{mol/L}$, com os mesmos procedimentos realizados com o extrato. A equação da curva foi $y = 0,196 x + 0,188$ com $R^2 = 0,999$. Os resultados foram expressos em equivalente de Trolox $\mu\text{M/g}$.

Figura 21. Redução do complexo TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil)-1,3,5-triazina) com Fe^{3+} .



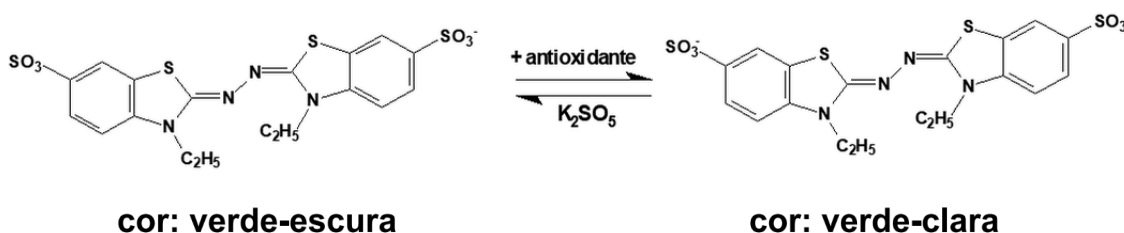
Fonte: Ilustração: Edy Sousa de Brito (Rufino *et al.*, 2006).

4.2.8.3 Método ABTS

A atividade antioxidante determinada pela captura do radical ABTS (ácido 2,2-azinobis-3-etilbenzotiazolína-6-sulfônico) foi realizada pela metodologia descrita por Rufino *et al.* (2007) cujo radical ABTS é formado com a reação de ABTS 7mM com persulfato de potássio 140 mM durante 16 h à temperatura ambiente (Figura 22). Os extratos foram diluídos em diferentes concentrações. O radical ABTS foi diluído em etanol até atingir uma absorvância de 0,7 a 734 nm. Em triplicata, foi adicionado em tubos de ensaio 30 μL de amostra com 3,0 mL do radical ABTS diluído, seguido de homogeneização em agitador de tubos e cronometrado 6 minutos para a reação. As análises foram conduzidas em triplicata. Posteriormente foi utilizado

etanol absoluto como branco para calibrar o espectrofotômetro e as leituras foram realizadas. A curva padrão foi realizada em Trolox (100 a 2000 μM), a equação da curva foi $y = -0,116x + 0,663$ com R^2 0,993 e os resultados foram expressos em equivalente de Trolox $\mu\text{M/g}$.

Figura 22. Estabilização do radical ABTS por um antioxidante e sua formação pelo persulfato de potássio.



Fonte: Ilustração: Edy Sousa de Brito (Rufino *et al.*, 2007).

4.2.9 Espectroscopia FTIR-ATR

A FTIR-ATR espectroscopia dos extratos de pequi e inajá com e sem tratamento com ultrassom foram determinados através de um espectrômetro (Shimadzu, modelo IR-Prestige, Japãoz) em 128 scans, com 4 cm^{-1} de resolução, entre 400 e 5000 cm^{-1} . Todas as análises foram realizadas com diluição em KBr.

A espectroscopia na região do infravermelho é uma técnica de análise orgânica qualitativa, de bastante importância na identificação e elucidação estrutural de substâncias orgânicas (Lopes; Fascio, 2004).

4.3 Análise estatística

Os resultados obtidos a partir dos delineamentos experimentais foram avaliados com 5% de significância. As determinações analíticas foram expressas como a média $\pm$ desvio padrão de três repetições e comparadas pelo Teste de Tukey com intervalo de confiança de 95%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Composição centesimal

A determinação da composição centesimal dos resíduos está demonstrada na Tabela 3.

Tabela 3. Composição centesimal (%) dos resíduos de pequi e inajá após secagem.

Composição centesimal	Epicarpo de pequi	Endocarpo de pequi	Epicarpo de inajá	Endocarpo de inajá*
Umidade	3,0 ± 0,51	3,3 ± 0,72	3,4 ± 0,79	3,5 ± 0,76
Lipídios	1,6 ± 0,88	28,8 ± 0,99	4,8 ± 0,06	4,6 ± 0,15
Cinzas	1,8 ± 0,00	0,9 ± 0,00	2,7 ± 0,00	0,4 ± 0,00
Proteínas	4,8 ± 0,59	5,7 ± 0,12	2,6 ± 0,09	1,7 ± 0,11
Fibras e Carboidratos**	88,8	61,3	86,5	89,8

* Valores médios (n=3) ± desvio padrão.

** Calculados por diferença.

É possível verificar que, em termos gerais, os materiais analisados apresentaram baixas porcentagens de umidade, característica que contribui para a inibição de reações indesejáveis e crescimento microbiano.

Os valores de umidade nos resíduos de pequi são inferiores ao relatado por Campos *et al.* (2016) na farinha de casca de pequi (epicarpo+mesocarpo externo) (12,73%), o que justifica-se pelo fato dos materiais utilizados representarem a porção não comestível, com função de revestimento e proteção do fruto e semente. Os teores de umidade nos resíduos de inajá são inferiores aos relatados por Castro (2021) no epicarpo do fruto nessas mesmas condições (9,33%).

Os teores de lipídios são semelhantes entre os resíduos de inajá. No que diz respeito aos resíduos de pequi, o endocarpo se destaca, o que se deve possivelmente à polpa que se manteve aderida ao endocarpo mesmo após a extração manual, devido a presença de espinhos que dificultam sua retirada por completo.

Em comparação com os demais resíduos analisados, o epicarpo de inajá foi o que evidenciou a maior porção de cinzas, em consonância com o valor relatado por Castro (2021) no mesmo (2,54%). O conteúdo de resíduo mineral fixo representa a quantidade de minerais do produto (Campos *et al.*, 2016).

Os teores de proteínas resultantes para os resíduos de inajá foram superiores aos encontrados por Castro (2021) no epicarpo do fruto (1,22%).

O endocarpo de pequi apresentou o maior teor de proteínas dentre os materiais analisados, o que representa 15,40% da necessidade de ingestão diária recomendada por um homem adulto (37 g/100 g) (Bezerra, 2011). Os demais resíduos analisados representam 12,97%, 7,02% e 4,59% da recomendação, em escala decrescente.

Todas as amostras demonstraram possuir elevadas porcentagens de fibras+carboidratos, com destaque aos resíduos de inajá e epicarpo de pequi. Castro (2021), ao analisar o epicarpo de inajá, observou 76,6% de carboidratos, o que sugere ser o valor obtido para carboidratos+fibras no material composto em sua maior parte por carboidratos.

5.2 Otimização

A partir do delineamento experimental foi possível avaliar as respostas da influência das variáveis tempo e proporção matéria seca:solvente na extração de compostos fenólicos totais. Na Tabela 4, é possível observar os resultados experimentais obtidos para concentração de fenólicos em cada ensaio.

Um comparativo entre os valores de compostos fenólicos nos resíduos de cada fruto evidencia ser os epicarpes os extratos com maiores concentrações em ambos. Esses dados corroboram com o que afirma Ribeiro (2011), que determinados flavonoides, como quercetina e kaempferol, os mais comuns, são encontrados principalmente em tecidos vegetais exteriores como casca e folhas, já que tem sua biossíntese estimulada pela luz.

Os maiores teores de compostos fenólicos foram observados no epicarpo de pequi, seguido pelo endocarpo de pequi, epicarpo de inajá e endocarpo de inajá.

Tabela 4. Compostos fenólicos totais (mg EAG/mL) de extratos hidroalcoólicos de resíduos de pequi e inajá obtidos por extração ultrassônica.

Ensaio	Matéria seca: solvente (g/mL)	Tempo (min.)	Epicarpo pequi	Endocarpo pequi	Epicarpo inajá	Endocarpo inajá*
1	1:10	5	7,554 ± 1,74 ^{a**}	1,027 ± 0,15 ^{a**}	0,969 ± 1,11 ^{a**}	0,255 ± 0,01 ^{a**}
2	1:10	10	7,076 ± 1,98 ^a	1,052 ± 0,18 ^a	0,938 ± 1,11 ^a	0,225 ± 0,07 ^a
3	1:10	20	6,514 ± 1,95 ^{ab}	1,037 ± 0,12 ^a	0,890 ± 0,22 ^a	0,295 ± 0,04 ^a
4	1:20	5	4,618 ± 1,02 ^{ab}	0,478 ± 0,09 ^b	0,514 ± 0,04 ^b	0,108 ± 0,01 ^b
5	1:20	10	4,593 ± 0,90 ^{ab}	0,494 ± 0,05 ^b	0,540 ± 0,04 ^b	0,118 ± 0,01 ^b
6	1:20	20	4,846 ± 1,01 ^{ab}	0,512 ± 0,06 ^b	0,594 ± 0,03 ^b	0,116 ± 0,00 ^b
7	1:30	5	3,152 ± 0,71 ^b	0,337 ± 0,06 ^b	0,365 ± 0,05 ^b	0,077 ± 0,00 ^b
8	1:30	10	2,999 ± 0,56 ^b	0,330 ± 0,06 ^b	0,369 ± 0,05 ^b	0,082 ± 0,00 ^b
9	1:30	20	3,200 ± 0,68 ^b	0,367 ± 0,07 ^b	0,389 ± 0,03 ^b	0,086 ± 0,00 ^b

* Valores médios (n=3) ± desvio padrão.

**Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa (Teste de Tukey, p < 0,05).

A variável matéria seca:solvente demonstrou afetar significativamente as extrações, exercendo maior influência na proporção 1:10 (g/mL) em todos os extratos estudados.

Embora a variável tempo tenha demonstrado não afetar significativamente o processo de extração, verificou-se que nas extrações de compostos fenólicos dos epicarpos, o menor tempo (5 minutos) apresentou maior efeito sobre a extração. Sendo assim, para todos os materiais, os ensaios com as menores variáveis em relação ao tempo e proporção matéria seca:solvente (ensaio 1) foram selecionados para o estudo sequencial.

Em extrações realizadas em partes vegetais menos resistentes, como flores e folhas, a liberação dos compostos de interesse ocorre mais rápido, porém, em partes mais resistentes a transferência de massa das substâncias no tempo inicial é demorada, o que afeta o rendimento das substâncias extraídas (Guerra; Garcia; Silva, 2016). Neste trabalho, não foi observado aumento significativo na extração de compostos fenólicos nos materiais mais resistentes (endocarpos do pequi e inajá) com o tempo de extração, independente da proporção matéria seca: solvente.

Ali, El-Nour e Yagi (2018) avaliaram a influência de três fatores (temperatura, concentração do solvente e razão solvente : soluto) no rendimento, extração de compostos fenólicos e atividade antioxidante de extratos de folhas de pimenteira (*Peter betle*) por extração ultrassônica. A temperatura e a razão solvente : soluto tiveram impacto significativo na extração de compostos fenólicos.

5.3 Extração convencional

Diante dos resultados de otimização, foi realizada uma comparação com a extração convencional utilizando *shaker* (Tabela 5).

A extração de compostos fenólicos por ultrassom se mostrou mais eficaz em comparação com a extração convencional, o que pode ser atribuído à cavitação do ultrassom. O ultrassom torna a penetração do solvente na amostra mais eficiente, o que facilita a difusão dos compostos fenólicos da mesma para o solvente (Guerra; Garcia; Silva, 2016; Santos *et al.*, 2021).

Tabela 5. Extração de compostos fenólicos totais (mg EAG/mL) utilizando ultrassom e extração convencional *shaker*.

Amostras	Ultrassom	Convencional*
Epicarpo de pequi	7,554 ^a ± 1,74	4,089 ^b ± 0,07
Endocarpo de pequi	1,027 ^a ± 0,15	0,394 ^b ± 0,01
Epicarpo de inajá	0,969 ^a ± 1,11	0,286 ^b ± 0,004
Endocarpo de inajá	0,255 ^a ± 0,01	0,084 ^b ± 0,002

* Valores médios (n=3) ± desvio padrão.

**Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa (Teste de Tukey, $p < 0,05$).

Tais resultados corroboram com Santos *et al.* (2021), que em estudo com resíduo madeireiro de maçaranduba, obteve melhores resultados utilizando sonda ultrassônica (48,02 µg de EAG/ mg) em comparação aos métodos percolação (43,53), soxhlet (36,96) e autoclave (29,79).

Ali, El-Nour e Yagi (2018) em avaliação de extratos de folhas de pimenteira (*Peter betle*) por extração ultrassônica observaram um aumento significativo no rendimento, compostos fenólicos totais, flavonoides totais e atividade antioxidante quando comparado com o método de extração convencional por maceração.

Assim, optou-se pela extração ultrassônica nas etapas posteriores do trabalho.

5.4 Extrato seco

Observa-se na Tabela 6 os resultados para a determinação do extrato seco dos resíduos de pequi e inajá. Como se pode observar, o resíduo analisado com maior proporção de extrato seco foi o epicarpo de inajá.

A secagem de extratos consiste na evaporação do líquido de um material, trazendo o benefício de concentrar seus componentes químicos, bem como de aumentar a vida útil e facilitar a armazenagem e o transporte do material (Oliveira; Petrovick, 2010).

Tabela 6. Extrato seco dos resíduos de pequi e inajá

Amostra	Extrato seco (g/100 mL)*
Epicarpo de pequi	1,61 ± 0,05
Endocarpo de pequi	0,98 ± 0,21
Epicarpo de inajá	1,83 ± 0,27
Endocarpo de inajá	0,16 ± 0,03

* Valores médios (n=3) ± desvio padrão.

5.5 Atividade antioxidante

As atividades antioxidantes das diferentes amostras avaliadas pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP estão apresentadas na Tabela 7.

Os resultados apontaram considerável atividade antioxidante no epicarpo de inajá em comparação aos demais resíduos avaliados quando utilizado o método do radical ABTS. Não foi possível quantificar, pela mesma metodologia, a atividade antioxidante no endocarpo de inajá. No endocarpo do fruto os valores foram maiores quanto à utilização do método DPPH do que FRAP. Estes resultados sugerem que o método DPPH apresentou-se mais sensível para o endocarpo do fruto, e o método ABTS para o epicarpo, sendo capazes de quantificar compostos não determinados pelo método FRAP, que demonstrou teores menos expressivos para os mesmos.

No que diz respeito ao potencial antioxidante dos resíduos de pequi, os mesmos apresentaram resultados expressivos pela metodologia ABTS. Nesse caso, as metodologias DPPH e FRAP possivelmente possuem pouca especificidade em quantificar os compostos antioxidantes presentes nos resíduos do fruto.

O potencial antioxidante apresentado no endocarpo do pequi pode estar relacionado aos compostos antioxidantes pertencentes ao próprio material, mas também à presença da polpa do fruto que não foi completamente separada e permanece aderida ao endocarpo após extração manual.

Tabela 7. Atividade antioxidante total, pelos métodos DPPH, FRAP e ABTS, dos resíduos de pequi e inajá (em base seca).

Amostra	DPPH ($\mu\text{mol trolox/g}$)	FRAP ($\mu\text{mol trolox/g}$)	ABTS ($\mu\text{mol trolox/g}$)*	Compostos fenólicos* (mg EAG/g extrato seco)
Epicarpo de pequi	61,24 $\pm$ 0,75	17,95 $\pm$ 1,06	217,78 $\pm$ 6,45	469,19
Endocarpo de pequi	101,36 $\pm$ 0,35	4,48 $\pm$ 0,26	315,37 $\pm$ 26,68	104,79
Epicarpo de inajá	42,62 $\pm$ 1,84	1,30 $\pm$ 0,01	1438,16 $\pm$ 407,35	52,95
Endocarpo de inajá	259,75 $\pm$ 3,00	3,03 $\pm$ 0,25	**	159,37

* Valores médios (n=3) $\pm$ desvio padrão.

** Resultados não são significativos.

Segundo Ali, El-Nour e Yagi (2018), a composição do solvente, bem como a proporção de soluto : solvente tem um efeito positivo na atividade antioxidante. Solventes tendem a solubilizar compostos com propriedades similares mais facilmente e tal fato interfere diretamente na atividade antioxidante dos extratos obtidos. A solubilidade e extractabilidade de compostos fenólicos polares, por exemplo, é maior com o uso de solventes polares (Campos *et al.*, 2016; Tomšik *et al.*, 2016).

O método ABTS permite análises de compostos lipofílicos, hidrofílicos e pigmentados (Aranha, 2018; Rufino *et al.*, 2007; Sucupira *et al.*, 2012). Existem estudos que apontam a vitamina C e os compostos fenólicos, principalmente os flavonoides, como antioxidantes hidrofílicos e a vitamina E e os carotenoides como antioxidantes lipofílicos, podendo funcionar de maneira sinérgica, aumentando a eficácia da ação antioxidante (Oliveira, 2010). Lopes *et al.* (2020) em estudo com a polpa de inajá, concluíram que a mesma é rica em carotenoides e compostos fenólicos (35,29 µg/g e 67,46 mg ácido gálico/100g, respectivamente). Sendo assim, essa sinergia possivelmente seja a causa do elevado valor de atividade antioxidante no epicarpo de inajá determinado por esta metodologia.

Os flavonoides constituem um subgrupo dos compostos fenólicos, a quercetina e kaempferol são os flavonoides mais comuns, com biossíntese estimulada pela luz (Ribeiro, 2011). Os maiores valores de atividade antioxidante observados nos resíduos de pequi pela metodologia ABTS podem estar relacionados às regiões de alta incidência de luz onde são encontrados os frutos, que promovem a produção de radicais livres e, conseqüentemente, de compostos antioxidantes nos frutos (Moraes *et al.*, 2013).

Embora o método DPPH tenha sido amplamente utilizado para determinar a atividade antioxidante, essa metodologia é menos precisa na detecção do potencial antioxidante de compostos carotenoides, por exemplo (Ribeiro, 2011). O radical DPPH influencia significativamente a determinação da atividade antioxidante pela presença de ácidos orgânicos, açúcares, aminoácidos e principalmente de flavonoides, como a antocianina (Aranha, 2018).

A metodologia FRAP possui correlação com a determinação de ácido ascórbico e grupos fenólicos (Rufino *et al.*, 2006). É possível notar que, no presente estudo, o maior potencial antioxidante apresentado pela metodologia

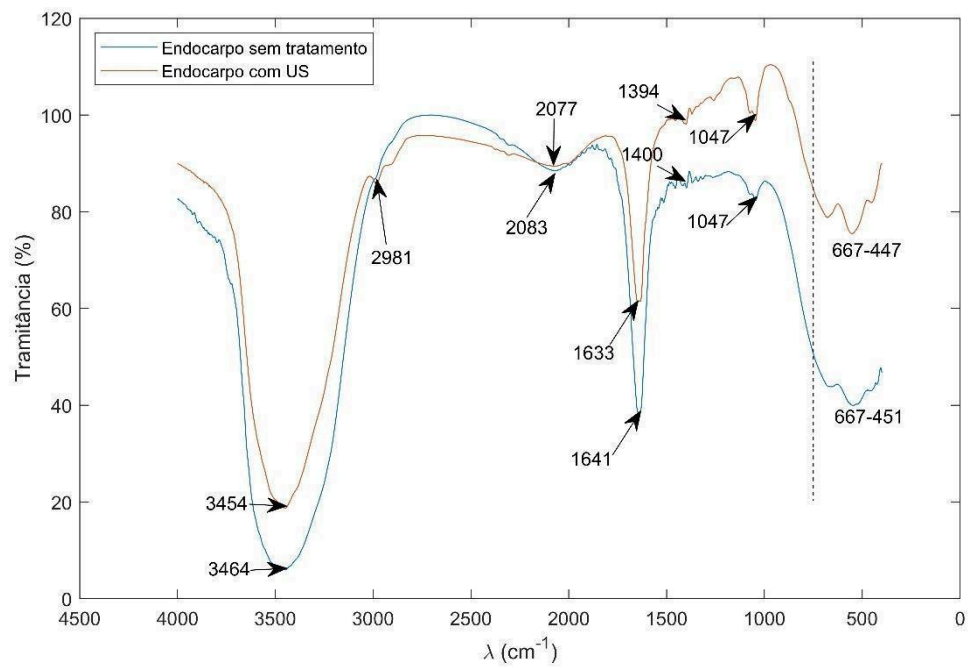
FRAP foi o epicarpo de pequi. Esses dados corroboram com a análise de compostos fenólicos por grama de extrato seco apresentado. De maneira geral, os valores de atividade antioxidante pelo método FRAP se relacionaram bem com a quantidade de compostos fenólicos totais presentes nos extratos secos.

No estudo da capacidade antioxidante deve-se levar em consideração não apenas a quantidade, mas também a composição do material (Sucupira *et al.*, 2012), as possíveis interações entre seus diferentes compostos antioxidantes (Roesler, 2007), a solubilidade dos mesmos em determinados solventes (Campos *et al.*, 2016), bem como o método de extração utilizado (Santos *et al.*, 2021), o que explica a inexistência de um procedimento universal para a determinação de atividade antioxidante (Sucupira *et al.*, 2012).

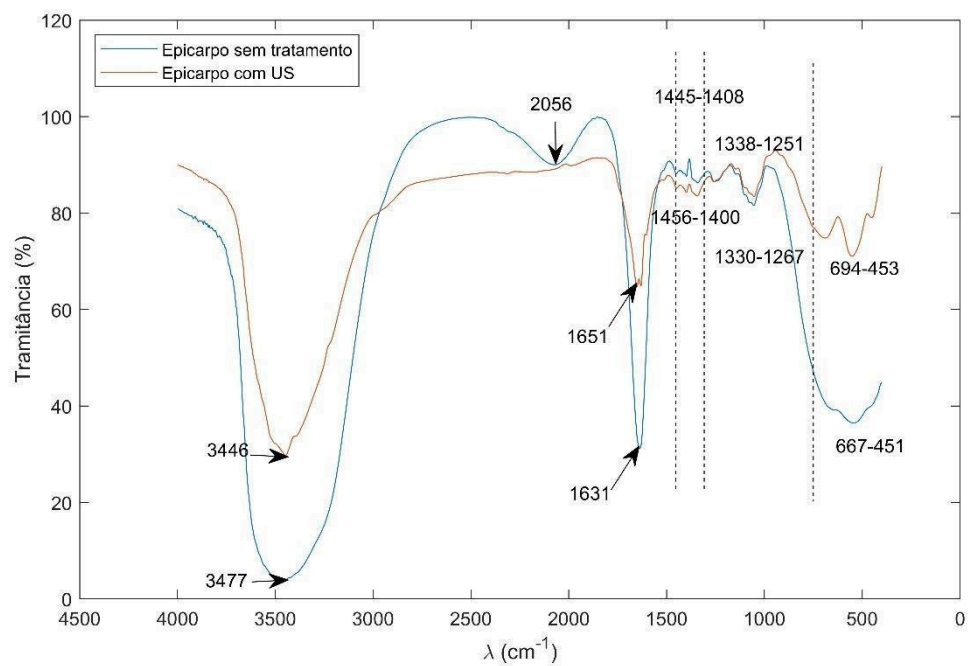
5.6 Espectroscopia FTIR-ATR

Os espectros de infravermelho obtidos para os extratos de pequi e inajá são apresentados nas Figuras 23 e 24 e Figuras 25 e 26, respectivamente. Para ambos os frutos, foram encontrados um grande número de grupos funcionais nas bandas de comprimento entre 400 a 3500 cm^{-1} .

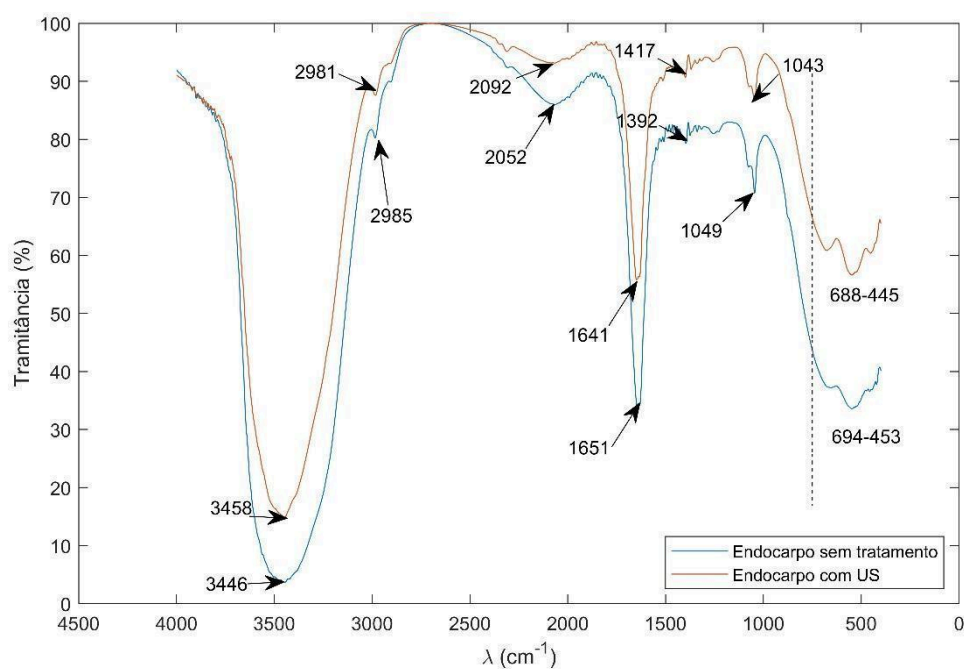
Nos espectros IR do pequi, tanto para o endocarpo como para o epicarpo foram encontrados grupos carboxílicos (O-H) e grupos alcanos (C-H), alquinos ($\text{C}\equiv\text{H}$) com enlaces fortes na faixa de banda de 3477-2056 cm^{-1} , olefinas (Ésteres, Amidas) ($\text{C}=\text{C}(\text{R}_1=\text{H}_3)$) na banda de 1651-1631 cm^{-1} , N-H, C-H, Derivados ácidos carboxílicos (CH_3) (Compostos nitro, Haloalcanos, i-propil ou i-butil) de enlace forte na banda de 1338-1251 cm^{-1} e, grupos Aril-Alquil-Éter (C-O) e álcoois e fenóis (O-H) na banda de 1051-447 cm^{-1} . Este conjunto de grupos avaliados indicam uma riqueza de componentes antioxidantes, óleos essenciais e carboidratos que estão presentes no fruto (Smith, 2015), corroborando com os resultados obtidos no presente estudo para os resíduos do fruto. A presença de polifenóis e flavonoides podem ser confirmados pelas presenças das bandas O-H.

Figura 23. Espectro IR do endocarpo de pequi.

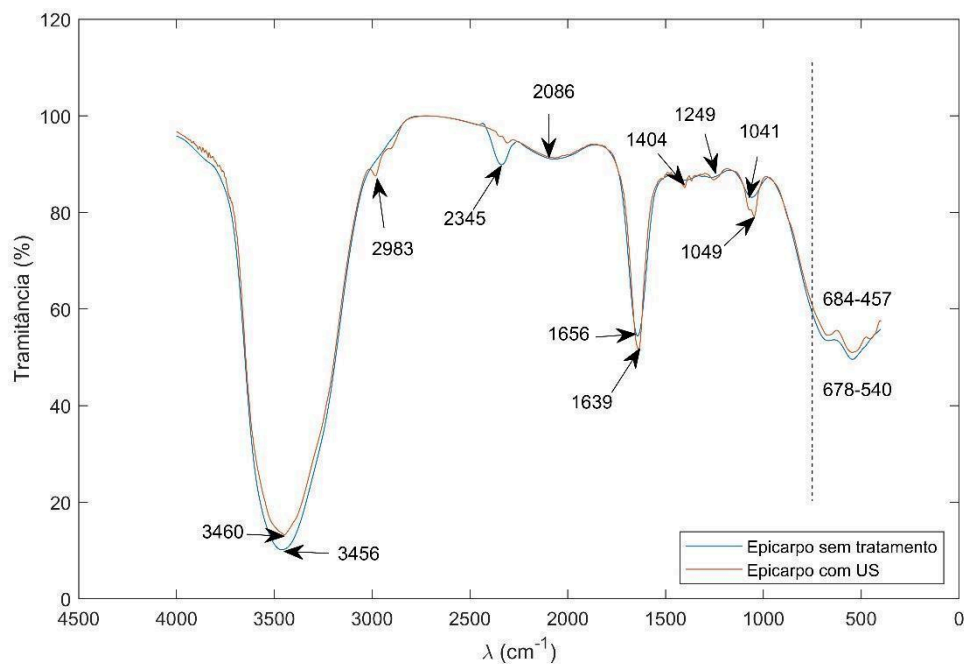
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 24. Espectro IR do epicarpo de pequi.

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 25. Espectro IR do endocarpo de inajá.

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 26. Espectro IR do epicarpo de inajá.

Fonte: elaborado pela autora.

Estudos realizados por Da Costa *et al.* (2024) evidenciaram 19 compostos no pequi, os quais foram agrupados em três classes químicas: o dos ésteres

com 57,89% do total de compostos, seguido de terpenos, com 31,58% e, por fim, aldeídos (10,53%). Dentre os diferentes compostos químicos voláteis sintetizados pelos frutos, o grupo mais abundante são os ésteres voláteis, que são atribuídos como responsáveis pelo aroma frutado (Mostafa *et al.*, 2022).

Para o fruto de inajá foram observadas bandas similares ao pequi (endocarpo e epicarpo) com grupos carboxílicos (O-H), grupos alcanos (C-H), alquinos ($C\equiv H$) com enlaces fortes na faixa de banda de $3460-2052\text{ cm}^{-1}$, olefinas (Ésteres, Amidas) ($C=C(R_1=H_3)$) na banda de $1656-1639\text{ cm}^{-1}$, N-H, C-H, derivados ácidos carboxílicos (CH_3) (Compostos nitro, Haloalcanos, i-propil ou i-butil) de enlace forte na banda de $1417-1249\text{ cm}^{-1}$, grupos Aril-Alquil-Éter (C-O) e álcoois e fenóis (O-H) na banda de $1049-445\text{ cm}^{-1}$. Este número de bandas mostra um número de compostos que podem estar presentes no epicarpo e endocarpo, como antioxidantes, óleos essenciais, grupos aromáticos, entre outros (Smith, 2015). No entanto, devido ao fruto de inajá não ser muito explorado, poucos estudos têm caracterizado os componentes químicos deste. Assim, estudos subsequentes podem ser realizados, empregando métodos de extração avançados a fim de caracterizar os componentes por técnicas analíticas avançadas como HPLC, GC e espectroscopia de massas.

Observou-se, para todos os extratos, similaridade entre as curvas obtidas por FTIR-ATR entre os métodos de extração convencional e com ultrassom, o que indica que a aplicação desse processo não implica em alterações nos perfis de compostos dos extratos obtidos.

As Tabelas 8 e 9 apresentam de forma mais detalhada os componentes encontrados nas análises FTIR-ATR.

Tabela 8. Resultados dos compostos orgânicos presentes nas amostras de extratos de pequi pelo método de espectroscopia infravermelho.

Amostras	λ (cm ⁻¹)	Estrutura	Componente
Endocarpo (extração utilizando ultrassom)	3454	O-H	Ácido carboxílico
	2981	C-H	Alcanos
	2083	C $\equiv$ C, C-H	Alquinos
	1633	C=C (R1=H ₃)	Olefinas
	1394	N-H, C-H, Derivados ácidos carboxílicos (CH ₃)	Compostos nitro, Haloalcanos, i-propil ou i-butil
	1047	C-O	Aril-Alquil-Éter
	667-447	O-H	Álcool e Fenóis
Endocarpo (extração convencional <i>shaker</i>)	3464	O-H	Ácido carboxílico
	2077	C $\equiv$ C, C-H	Alquinos
	1641	C=C (R1=H ₃)	Olefinas
	1400	C-HO	Alcanos
	1047	C-O	Aril-Alquil-Éter
	667-451	O-H	Álcool e Fenóis

Epicarpo (extração utilizando ultrassom)	3446	O-H	Álcool ou Ácido carboxílico
	1651	(C=C)	Alquenos
	1400-1456	C-HO	Alcanos
	1338-1251	N-H, C-H, Derivados ácidos carboxílicos (CH ₃), C-O, C-N	Compostos nitro, Haloalcanos, i-propil ou i-butil, Ésteres, álcoois, aminas alifáticas
	1055	C-O	Aril-Alquil-Éter
	694-453	O-H	Álcool e Fenóis
Epicarpo (extração convencional <i>shaker</i>)	3477	O-H	Álcool ou Ácido carboxílico
	2056	C≡C, C-H	Alquinos
	1631	(C=C)	Alquenos
	1445-1408	C-HO	Alcanos
	1330-1267	N-H, C-H, Derivados ácidos carboxílicos (CH ₃), C-O, C-N	Compostos nitro, Haloalcanos, i-propil ou i-butil, Ésteres, álcoois, aminas alifáticas
	1076	C-O	Aril-Alquil-Éter
	667-451	O-H	Álcool e Fenóis

Fonte: Lopes; Fascio, 2004.

Tabela 9. Resultados dos compostos orgânicos presentes nos extratos de inajá pelo método de espectroscopia infravermelho.

Amostras	λ (cm ⁻¹)	Estrutura	Componente
Endocarpo (extração utilizando ultrassom)	3458	O-H	Ácido carboxílico
	2981	C-H	Alcanos
	2092	C $\equiv$ C, C-H	Alquinos
	1641	C=C (R1=H ₃)	kOlefinas
	1417	N-H, C-H, Derivados ácidos carboxílicos (CH ₃)	Compostos nitro, Haloalcanos, i-propil ou i-butil
	1043	C-O	Aril-Alquil-Éter
	688-445	O-H	Álcool e Fenóis
Endocarpo (extração convencional <i>shaker</i>)	3446	O-H	Ácido carboxílico
	2985	C-H	Alcanos
	2052	C $\equiv$ C, C-H	Alquinos
	1633	C=C (R1=H ₃)	Olefinas
	1392	N-H, C-H, Derivados ácidos carboxílicos (CH ₃)	Compostos nitro, Haloalcanos, i-propil ou i-butil
	1049	C-O	Aril-Alquil-Éter
	680-457	O-H	Álcool e Fenóis

Epicarpo (extração utilizando ultrassom)	3460	O-H	Álcool ou Ácido carboxílico
	2983	C-H	Alcanos
	2086	$C\equiv C$, C-H	Alquinos
	1639	(C=C)	Alquenos
	1404	C-HO	Alcanos
	1249	N-H, C-H, Derivados ácidos carboxílicos (CH_3), C-O, C-N	Compostos nitro, Haloalcanos, i-propil ou i-butil, Ésteres, álcoois, aminas alifáticas
	1041	C-O	Aril-Alquil-Éter
	684-457	O-H	Álcool e Fenóis
Epicarpo (extração convencional <i>shaker</i>)	3456	O-H	Álcool ou Ácido carboxílico
	1656	(C=C)	Alquenos
	1234	N-H, C-H, Derivados ácidos carboxílicos (CH_3), C-O, C-N	Compostos nitro, Haloalcanos, i-propil ou i-butil, Ésteres, álcoois, aminas alifáticas
	1049	C-O	Aril-Alquil-Éter
	678-540	O-H	Álcool e Fenóis

Fonte: Lopes; Fascio, 2004.

6 CONCLUSÕES

Os resíduos de pequi mostraram-se como fontes de lipídios (28,8% no endocarpo) e proteínas (epicarpo 4,8% e endocarpo 5,7%) considerando que são descarte e resíduo dos frutos após extração do óleo.

A aplicação do delineamento experimental se mostrou uma ferramenta eficaz para encontrar a condição otimizada de matéria seca:solvente no rendimento de compostos fenólicos dos epicarpós e endocarpós de pequi e inajá. O ultrassom se destaca como uma abordagem promissora na extração destes compostos. A variável matéria seca:solvente demonstrou afetar significativamente as extrações, exercendo maior influência na proporção 1:10 (g/mL) em todos os ensaios estudados. Os maiores teores de compostos fenólicos foram observados no epicarpo de pequi (7,554 mg EAG/mL).

Os resultados apontaram maior atividade antioxidante no epicarpo de inajá (1438,16 $\mu\text{mol trolox/g}$) em comparação aos demais resíduos analisados. A avaliação da atividade antioxidante dos resíduos por três metodologias forneceram uma visão geral da capacidade antioxidante dos resíduos estudados e reforçaram a importância de utilizar procedimentos complementares para a determinação da atividade antioxidante.

A identificação de substâncias orgânicas evidenciaram componentes antioxidantes em todos os resíduos analisados.

Foi possível concluir que os extratos dos resíduos apresentaram possível aplicabilidade na extração de antioxidantes naturais a serem utilizados na conservação de produtos alimentícios e farmacêuticos.

7 REFERÊNCIAS

ALBAGLI, S. Amazônia: fronteira geopolítica da biodiversidade. **Parcerias Estratégicas**, v. 6, n. 12, p.5-19, 2001.

ALI, A. M. A.; EL-NOUR, M. E. M.; YAGI, S. M. Total phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) rhizome, callus and callus treated with some elicitors. **Journal of genetic engineering and biotechnology**. v. 16, p. 677-682, 2018.

ANDREO, D.; JORGE, N. Antioxidantes naturais: Técnicas de extração. **B.CEPPA**, Curitiba v. 24, n. 2, p. 319-336, 2006.

AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Arlington: AOAC, 2000.

AOCS (American Oil Chemist's Society). **Official Methods and Recommended Practices of the AOCS**. Champaing: AOCS, 2003.

ARANHA, J. B. **Aplicação de extratos de acerola (*Malpighia emarginata*) em emulsões lipídicas**. Piracicaba – SP, 2018. 79 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciências, Universidade de São Paulo.

BAETA, D. S. **Avaliação de características físico-químicas e bioquímicas do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) em suas diversas formas de armazenamento**. Araraquara – SP, 2013. 123 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Biotecologia, Universidade Estadual Paulista.

BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plant and agri-industrial byproducts: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, v. 99, p. 191-203, 2006.

BEZERRA, V. S. **O inajá (*Maximiliana maripa* (Aubl.) Drude) como fonte alimentar e oleaginosa**. 1º edição. Macapá - AP: Embrapa Amapá, 2011. 6 p., (Comunicado técnico, 129). ISSN 1517-4077.

BRASIL. Portaria MS nº 33, de 13 de janeiro de 1998. Ingestão Diária Recomendada (IDR) para proteínas, vitaminas e minerais. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 16 de janeiro de 1998.

CAMPOS, R. P.; SILVA, M. J. F.; SILVA, C. F.; FRAGOSO, M. R.; CANDIDO, C. J. Elaboração e Caracterização de Farinha da Casca de Pequi. **Cadernos de Agroecologia**, v. 11, n. 2, p. 1-12, 2016.

CARDOSO, L. M. **Araticum, cagaita, jatobá, mangaba e pequi do cerrado de Minas Gerais: ocorrência e conteúdo de carotenóides e vitaminas**. Visçosa – MG, 2011. 78 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciência da Nutrição, Universidade Federal de Visçosa.

CARRAZZA, L. R.; SILVA, M. L.; ÁVILA, J. C. C. **Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto do Babaçu**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza, 2012. 63 p.

CASEMIRO, R. C. **Estabilidade oxidativa e avaliação sensorial de emulsões com extratos de ervas antioxidantes**. Piracicaba – SP, 2016. 92 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

CASTRO, C. J. B. R. **Caracterização físico-química do inajá (*Attalea maripa*)**. São Luís – MA, 2021. 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão.

COSTA, C. J.; MARCHI, E. C. S. **Germinação de sementes de palmeiras com potencial para produção de agroenergia**. 1º edição. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 35 p. (Documentos, 229). ISSN 1517-5111.

CRUZ, R. G. **Atividade antioxidante de extratos vegetais: estudo das condições de extração e aplicação em sistema lipídico**. Piracicaba – SP, 2014. 98 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

DA COSTA, C. A. R.; DO NASCIMENTO, S. V.; DA SILVA VALADARES, R. B.; DA SILVA, L. G. M.; MACHADO, G. G. L.; DA COSTA, I. R. C.; NAHON, S. M. R.; RODRIGUES, L. J.; VILAS BOAS, E. V. D. B. Proteome and metabolome of *Caryocar brasiliense* camb. fruit and their interaction during development. **Food Research International**, v. 191, p. 114687, 2024.

DUARTE, O. R. **Avaliação quantitativa e análise dos parâmetros biológicos, químicos e físico-químicos de frutos de Inajá (*Attalea maripa*) como subsídio ao estudo do potencial oleífero de populações promissoras para o estado de Roraima**. Manaus – AM, 2008. 146 p. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil.

ESCLAPEZ, M. D.; PÉREZ, J. V. G.; MULET, A.; CÁRCEL, J. A. Ultrasound-assisted extraction of natural products. **Food Engineering Reviews**, v. 3, p. 108-120, 2011.

GALLEGO, M. G.; GORDON, M. H.; SEGOVIA, F. J.; SHOWRYA, M.; ALMAJANO, M. P. Antioxidant properties of three aromatic herbs (rosemary, thyme André lavender) in oil-in-water emulsions. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Madison, v. 90, n. 10, p. 1559-1568, 2013.

GEOCZE, K. C. **Análise exploratória de carotenóides, óleos essenciais e triacilglicerídios do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) de municípios brasileiros situados no bioma Cerrado**. Visçosa – MG, 2011. 201 p. Tese (Doutorado) – Departamento de Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa.

GONÇALVES, A. E. S. S. **Avaliação da capacidade antioxidante de frutas e polpas de frutas nativas e determinação dos teores de flavonoides e vitamina C**. São Paulo – SP, 2008. 88 p. Dissertação (Mestrado) –

Departamento de Ciência do Alimento, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo.

GONDIM, J. A. M.; MOURA, M. F. V.; DANTAS, A. S.; MEDEIROS, R. L. S.; SANTOS, K. M. Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas – SP, v. 25, n. 4, p. 825-827, 2005.

GUERRA, A. P.; GARCIA, V. A. S.; SILVA, C. Otimização da extração de compostos fenólicos da casca de manga (*Tommy atkins*) utilizando processo assistido por ultrassom. **E-xacta**, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, p. 103-110, 2016.

HENDERSON, A. **The Palms of the amazon**. New York, Oxford University Press. 362p. 1995.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, p. 1841-1856, 2005.

HUI, Y. H. Bailey's industrial oil & fat products. **John Willey & Sons**, New York, V ed., v. 3, 1996.

KINSELLA, J. E.; FRANKEL, E.; GERMAN, B.; KANNER, J. Possible mechanisms for the protective role antioxidants in wine and plant foods. **Food Technology**, v. 47, n. 4, p. 85-89, 1993.

LAUFENBERG, G.; KUNZ, B.; NYSTROEM, M. Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. **Bioresource Technology**, v. 87, p. 167–198, 2003.

LEITE, A. C. M.; NUNES, N. S. S.; VELOSO, A. L.; CHICA, L. R. Aplicação de ultrassom na extração de compostos fenólicos de resíduo do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 6., 2018, São José do Rio Preto. **Anais eletrônicos...** Campinas, GALOÁ, 2018. Disponível em: <<https://proceedings.science/seca/seca-2018/trabalhos/aplicacao-de-ultrassom-na-extracao-de-compostos-fenolicos-de-residuo-do-pequi-%28caryocar-brasilien-se-camb.%29>> Acesso em: 23 jan. 2020.

LIMA, A.; SILVA, A. M. O.; TRINDADE, R. A.; TORRES, R. P.; MANCINI-FILHO, J. Composição Química e Compostos Bioativos Presentes na Polpa e na Amêndoa do Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 29, n. 3, p. 695-698, 2007.

LINDLEY, J.; MASON, T. **Journal Chemistry**. Soc. Ver. 16, 275, 1987.

LOBATO, J. M.; STAMFORD, T. C. M.; LOBATO, L. M.; LOBATO, G. M.; SOUZA, A. RR. S.; STAMFORD, T. L.. M. Caracterização físico-química e propriedades do óleo de inajá (*Maximiliana maripa* (Aubl.) Drude). **Avanços em Ciências e Tecnologias de Alimentos**, v. 3, n. 2, p. 35-47, 2021.

LOPES, S. R. F.; FILHO, A. F. S.; TORO, M. J. U.; TERRAZAS, W. D. M. Pesquisa de compostos bioativos e atividade antioxidante da polpa de Inajá (*Maximiliana maripa* AUBLT. Drude). **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n.4, p. 20347-20355, 2020.

LOPES, W. A.; FASCIO, M. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. **Química Nova**, v. 27, n. 4, p. 670-673, 2004.

LORENZI, H.; HERMES, M. S.; MEDEIROS-COSTA, J. T.; DE CERQUEIRA, L. S.; VON BEHR, N. Palmeiras no Brasil nativas e exóticas. Ed. **Plantarum**. Nova Odessa. SP, p. 303, 1996.

MAGALHÃES, W. L. E.; MATOS, M.; LOURENÇON, T. V. **Metodologia científica: determinação da capacidade antioxidante de lignina pela captura do radical livre DPPH**. Comunicação Técnica 417, Embrapa, 2018.

MALACRIDA, C. R. **Caracterização de óleos extraídos de sementes de frutas: composição de ácidos graxos, tocoferóis e carotenoides**. São José do Rio Preto – SP, 2009. 106 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista.

MARTÍNEZ-VALVERDE, I.; PERIAGO, M. J.; ROS, G. Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 50, n. 1, p. 5-18, 2000.

MASUI, T.; HIROSE, M.; IMAIDA, K.; FUKUSHIMA, S.; TAMANO, S. Sequential changes of the stomach of rats, hamsters and mice treated with BHA. **Journal of the Japanese Cancer Research**, Tokyo, v. 77, n. 1, p. 1083-1090, 1986.

MATOS, A. **Biometria e Morfologia do Inajá (*Attalea Maripa*) em Sistema Silvopastoril do Nordeste Paraense**. Belém – PA, 2010. 90p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural da Amazônia.

MATOS, A. K. M. G.; ROSA, L. S.; PIRES, H. C. G.; CABRAL, B. S.; VIEIRA, T. A.; SILVA, V. M. Morfotipos de frutos e morfologia de plântulas de *Attalea maripa* (Aubl.) Mart. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 819-829, 2017.

MATOS, A. K. M. G.; ROSA, L. S.; SILVA, R. F. D.; PIRES, H. C. G.; BALIEIRO, E. C.; VIEIRA, T. A. Morfometria de Cachos, Frutos e Sementes de *Attalea maripa* (Aubl.) Mart: uma Espécie Nativa da Amazônia com Potencial para Produção de Biodiesel. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 1285-1289, 2009.

MATTOS, G.N. **Obtenção de salsicha de tilápia usando antioxidante natural a base de resíduos do processamento de uva**. Seropédica - RJ, 2017. 70 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

MIRANDA, I. P. A.; RABELO, A.; BUENO, C. R.; BARBOSA, E. M.; RIBEIRO, M. N. S. **Frutos de palmeiras da Amazônia**. Manaus, MCT/INPA. 120p. 2001.

MORAES, F. P.; COLLA, L. M. Alimentos funcionais e nutraceuticos: definições, legislação e benefícios à saúde. **Revista Eletrônica de Farmácia**, Goiânia, v. 3, n. 2, p. 109-122, 2006.

MORAIS, M. L.; SILVA, A. C. R.; ARAÚJO, C. R. R.; ESTEVES, E. A.; DESSIMONI-PINTO, N. A. V. Determinação do potencial antioxidante *in vitro* de frutos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 2, p. 355-360, 2013.

MOSTAFA, S.; WANG, Y.; ZENG, W.; & JIN, B. Floral scents and fruit aromas: Functions, compositions, biosynthesis, and regulation. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022.

NASCIMENTO FILHO, W. B.; FRANCO, C. R. Avaliação do Potencial dos Resíduos Produzidos Através do Processamento Agroindustrial no Brasil. **Revista Virtual de Química**, Boa Vista - RR, v. 7, n. 6, p. 1968-1987, 2015.

OLIVEIRA, F. V. **Aplicação da espectroscopia fotoacústica na identificação de biomoléculas funcionais do grupo dos polifenóis em frutas e vegetais**. Campina Grande - PB, 2014. 129 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande.

OLIVEIRA, L. R. **Avaliação dos compostos fenólicos e das propriedades antioxidantes da polpa do pequi (*Caryocar spp*) processado e *in natura***. São Paulo – SP, 2010. 99 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Alimentos e de Nutrição Experimental, Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, M. E. B.; GUERRA, N. B.; BARROS, L. M.; ALVES, R. E. **Aspectos agrônômicos e de qualidade do pequi**. 1ª edição. Fortaleza – CE: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008. 32 p., (Documentos, 113). ISSN 1677-1915.

OLIVEIRA, M. E. B.; GUERRA, N. B.; MAIA, A. H. N.; ALVES, R. E.; MATOS, N. M. S.; SAMPAIO, F. G. M.; LOPES, M. M. T. Características químicas e físico-químicas de pequis da Chapada do Araripe, Ceará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 32, n. 1, p. 114-125, 2010.

OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P. R. A influência do teor de sólidos no material de partida é refletida no tamanho de partícula e na densidade do produto final. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 4, p. 641-650, 2010.

OLIVEIRA, W. L.; SCARIOT, A. **Boas Práticas de manejo para o extrativismo sustentável do Pequi**. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 84 p., Brasília, 2010.

PAZ, J. G.; PACHECO, P.; SILVA, C. O.; PASCOAL, G. B. Análise da composição nutricional e de parâmetros físico-químicos do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) *in natura*. **Revista Científica Linkania**, Uberlândia – MG, v. 1, n. 8, p. 73-86, 2014.

- PEREIRA, L. M.; RODRIGUES, A. C. C.; SARANTÓPOLUS, C. I. G. L.; JUNQUEIRA, V. C. A.; CARDELLO, H. M. A. B.; HUBINGER, M. D. Vida de prateleira de goiabas minimamente processadas adicionadas em embalagens sob atmosfera modificada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas – SP, v. 23, n. 3, p. 427- 433, 2003.
- PIRES, H. C. G.; ROSA, L. S.; CABRAL, B. S.; SILVA, V. M.; NOGUEIRA, G. A.; FERREIRA, P. R. N. Padrão Fenológico de *Attalea maripa* (Aubl.) Mart. em Áreas de pastagens na Amazônia oriental, **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 170179, 2016.
- PIRES, J; TORRES, P. B.; SANTOS, D. Y. A. C.; CHOW, F. **Ensaio em microplaca do potencial antioxidante através do método de sequestro do radical livre DPPH para extratos de algas**. Instituto Biociências, Universidade de São Paulo, 2017.
- PULIDO, R.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. Antioxidant activity of dietary as determined by a modified ferric reducing / antioxidant power assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 48, n. 8, p. 3396-3402, 2000.
- RÉGIS, W. C. B.; SOUZA, M. R. R.; SILVEIRA, R. A. A. Comparação preliminar da composição química de diferentes partes do pequi (*Caryocar brasiliense*) comercializado no Vale do Jequitinhonha e Norte de Minas Gerais. **Revista Percorso Acadêmico**, Belo Horizonte – MG, v. 3, n. 6, p. 269-279, 2013.
- RESENDE, L. M. **Avaliação do potencial de aproveitamento de resíduos da extração de óleo de buriti para produção de pós ricos em fibra alimentar com compostos antioxidantes associados**. Belo Horizonte – MG, 2016. 92 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciência de Alimentos, Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais.
- RIBEIRO, D. M. **Propriedades físicas, químicas e bioquímicas de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) de diferentes regiões do cerrado**. Brasília – DF, 2011. 63 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Nutrição, Universidade de Brasília.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.A. **Guide to Carotenoid Analysis in Food**. International Life Sciences Institute Press, Washington, USA, 1999.
- ROESLER, R. **Estudo de frutas do Cerrado brasileiro para avaliação de propriedade funcional com foco na atividade antioxidante**. Campinas – SP, 2007. 208 p. Tese (Doutorado) – Departamento de Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- RUFINO, M.; ALVES, R.; SOUSA, E.; De MORAIS, S., De GOES, C.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. **Metodologia científica: Determinação de atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP)**. Comunicação Técnica 125, Embrapa, 2006.

RUFINO, M. S. M., ALVES, R. E., BRITO, E. S., De MORAIS, S. M., SAMPAIO, C. G., PÉREZ-JIMÉNEZ, J., SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS**. Comunicação Técnica 128, Embrapa, 2007.

SANTOS, M. A. C.; VIANA, A. F. S.; SILVA, B. A.; SANTOS, A. S.; ABREU, A. S.; MOREIRA, D. K. T. Avaliação de diferentes métodos de extração e atividade antioxidante de compostos bioativos do resíduo madeireiro de maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) Standl.). **Revista Fitos**, v. 15, n. 1, p. 32-39, 2021.

SANTOS, M. **Qualidade e potencial funcional da porção comestível e do óleo de frutos de palmeiras nativas oriundas do Amapá**. 2012. 170p. Dissertação (Doutorado) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Paraíba, Areia.

SILVEIRA, A. C.; KASSUIA, Y. S.; DOMAHOVISK, R. C.; LAZZAROTTO, M. **Método do DPPH adaptado: uma ferramenta para analisar atividade antioxidante de polpa de frutos de erva-mate de forma rápida e reprodutível**. Comunicado técnico 421, EMBRAPA, Colombo-PR, 2018.

SINGLETON, V.; ROSSI, J. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, p. 144–158, 1965.

SMITH, N. *Attalea maripa*. In: Palms and People in the Amazon. Geobotany Studies. **Springer**, Cham, 2015.

SOARES, S. E. Ácidos fenólicos como antioxidantes. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 71-81, 2002.

SOUZA, H. A.; NASCIMENTO, A. L. A.; STRINGHETA, P. C.; BARROS, F. A. R. Capacidade antioxidante de flores de capuchinha (*Tropaeolum majus* L.). **Ponto de Vista**, Viçosa, v. 01, n. 9, p. 73, 2020.

STORTI, E. F.; STORTI FILHO, A. **Biologia Floral do Inajá (*Attalea maripa* - *Arecaceae*) em Manaus, Amazonas, Brasil**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Botânica, v. 18, n. 2, p. 66-81, 2002.

SUCUPIRA, N. R.; SILVA, A. B.; PEREIRA, G.; COSTA, J. N. Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. UNOPAR, **Ciências Biológicas e Saúde**, v. 14, n. 4, p. 263-269, 2012.

SUSLICK, K. S. The Chemical Effects of Ultrasound, **Scientific American**. v. 80, 1989.

TOMSIK, A., PAVLIC, B., VLADIC, J., RAMIC, M., BRINDZA, J., VINDOVIC, S. Optimization of ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from wild garlic (*Allium ursinum* L.). **Ultrason. Sonochem.** V. 29, P. 502–511, 2016.

VIEIRA, R. F.; COSTA, T. S. A.; SILVA, D. B.; FERREIRA, F. R.; SANO, S. M.
Frutas Nativas da Região Centro-Oeste do Brasil. 1ª edição. Brasília-DF:
EMBRAPA Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006. 320 p.

ZUFFO, A. M.; GESTEIRA, G. S.; JÚNIOR, J. M. Z.; ANDRADE, F. R.;
SOARES, I. O.; ZAMBIAZZI, E. V.; GUILHERME, S. R.; SANTOS, A. S.
Caracterização biométrica de frutos e sementes de mirindiba (*Buchenavia
tomentosa* Eichler) e inajá (*Attalea maripa* [Aubl.] Mart.) na região sul do Piauí,
Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 3, p. 334-340, 2016.