



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS**  
**CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E**  
**TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**GABRIELA FONSÊCA LEAL**

**EXTRAÇÃO E OBTENÇÃO DE ENCAPSULADO DE TATURUBÁ (*Pouteria macrophylla*  
(Lam) Eyma.) RICO EM SUBSTÂNCIAS BIOATIVAS**

**Palmas – Tocantins**

**2024**

**Gabriela Fonsêca Leal**

**Extração e obtenção de encapsulado de taturubá (*Pouteria macrophylla* (Lam) Eyma.)  
rico em substâncias bioativas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

**Orientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Glêndara Aparecida de Souza Martins

**Coorientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patrícia Martins Guarda

**Palmas – Tocantins**

**2024**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

- L435e Leal, Gabriela Fonsêca.  
Extração e obtenção de encapsulado de taturubá (*Pouteria macrophylla* (Lam) Eyma.) rico em substâncias bioativas. / Gabriela Fonsêca Leal. – Palmas, TO, 2024.  
36 f.  
  
Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2024.  
Orientadora : Glêndara Aparecida de Souza Martins  
Coorientadora : Patricia Martins Guarda  
  
1. Solventes eutéticos profundos. 2. Banho ultrassom. 3. Amazônia legal. 4. Microencapsulação. I. Título

**CDD 664**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

**Gabriela Fonsêca Leal**

**Extração e obtenção de encapsulado de taturubá (*Pouteria macrophylla* (Lam)  
Eyma.) rico em substâncias bioativas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Foi avaliado para a obtenção do título de Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 12 / 01 / 2024

Banca Examinadora

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Clarissa Damiani, Universidade Federal de Goiás - UFG

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elisângela Elena Nunes Carvalho, Universidade Federal de Lavras - UFLA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Glêndara Aparecida de Souza Martins, Universidade Federal do Tocantins - UFT

*Dedico esse trabalho a Deus e minha família, que nunca me deixaram e me apoiaram nessa caminhada.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, sou grata ao meu Deus, pelo dom de vida e por cumprir em mim seus planos e projetos. Não deixarei de agradecê-lo por todo o cuidado e amor, sempre me capacitando a vencer os momentos difíceis.

A minha família, em especial a minha mãe Albertina que sempre sonhou comigo, me incentivando e sendo meu porto seguro durante a minha vida.

A minha orientadora e amiga, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Glêndara Martins, que investiu, incentivou e provocou para que eu evoluísse tanto como pessoa quanto como profissional. Nunca deixarei de ser grata pela nossa parceria durante esses anos, com todo o respeito, companheirismo e dedicação.

A minha coorientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patrícia Guarda, que tem contribuído na minha formação desde a graduação, tenho um enorme respeito pela profissional e pela pessoa que é.

Ao LaCiMP, essa equipe tem sido essencial na minha formação como profissional através de todo o ensinamento e conhecimento repassado. Em especial as minhas amigas Mariana e Romilda que trabalharam diretamente comigo na realização desse projeto, minha eterna gratidão por sempre me ajudarem nas horas difíceis e apoiarem os meus sonhos.

Ao Hermanny e a Maria Olívia, que me auxiliaram na realização das análises e foram pessoas essenciais para que esse projeto pudesse ser finalizado com sucesso.

As amigas que ganhei durante esses anos, Greice, Luana, Vitória, Camila e Geovana, muito obrigada por todas as risadas, comidas boas e conselhos que fizeram os meus dias mais leves.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, em especial a todos os professores que transmitiram conhecimentos e ensinamentos fundamentais na minha formação.

A Universidade Federal do Tocantins, por disponibilizar a infraestrutura na realização desta pesquisa.

Aos participantes da banca, que contribuíram com seus conhecimentos para este trabalho.

A todos, minha sincera gratidão.

## RESUMO

Oriundo a Amazônia legal, o taturubá (*Pouteria macrophylla* (Lam) Eyma.) é um fruto reconhecido por ser uma fonte natural de compostos fenólicos identificados pelo seu potencial de reduzir o estresse oxidativo nas células do organismo. Entretanto, pouco se sabe sobre as suas características nutricionais e otimização do processo de extração dos seus compostos bioativos. Dessa forma, o objetivo deste estudo é avaliar a combinação de diferentes métodos de extração e solventes eutéticos profundos para a quantificação de substâncias bioativas do taturubá, bem como a encapsulação desses compostos utilizando extrusão e gelificação iônica. Para isso, foi investigado a composição nutricional e análises quantitativas das porções do fruto. Na extração dos compostos bioativos foi aplicado um fatorial 4x2, sendo utilizados três solventes eutéticos profundos (cloreto de colina + ácido acético, cloreto de colina + ácido láctico e mentol + ácido láctico) e um solvente controle (álcool etílico 80%), aliado a dois métodos de extração (maceração e banho ultrassom). O melhor extrato de cada porção foi encapsulado utilizando o método combinado de extrusão e gelificação iônica. Os resultados demonstraram que a fração casca e polpa possui um alto teor de carboidratos com destaque para sacarose e frutose e fonte de minerais com destaque para o ferro, enquanto a semente demonstrou ser rica em proteína, com a presença dos aminoácidos essenciais leucina, lisina e valina. As frações casca e polpa e semente apresentaram alto teor de ácido gálico, ácido siringico e trigonelina. Os solventes cloreto de colina + ácido acético e o álcool etílico 80% apresentaram os melhores resultados de extração das substâncias bioativas e antioxidantes e o método de extração banho ultrassom foi o mais significativo nas análises. Entre os compostos bioativos obteve-se maior destaque para os fenólicos totais e flavonoides. O método de encapsulação combinando extrusão e gelificação iônica mostrou eficácia na formação de microcápsulas uniformes e homogêneas, entretanto apresentou baixa eficiência de encapsulamento. No armazenamento, as microcápsulas expostas à luz exibiram maior redução dos compostos fenólicos encapsulados durante os dias em comparação as microcápsulas armazenadas em ausência de luz. Dessa maneira, o fruto do taturubá possui grande atrativo de extração de compostos bioativos em todas as suas porções, sendo possível sua aplicação na indústria de alimentos, farmacêutica e cosmética.

**Palavras-chave:** Solventes eutéticos profundos; Banho ultrassom; Amazônia legal; Microencapsulação

## ABSTRACT

Originating from the legal Amazon, taturubá (*Pouteria macrophylla* (Lam) Eyma.) is a fruit recognized for being a natural source of phenolic compounds identified by their potential to reduce oxidative stress in the body's cells. However, little is known about its nutritional characteristics and optimization of the extraction process of its bioactive compounds. Therefore, the objective of this study is to evaluate the combination of different extraction methods and deep eutectic solvents for the quantification of bioactive substances from taturubá, as well as the encapsulation of these compounds using extrusion and ionic gelation. For this, the nutritional composition and quantitative analyzes of the portions of the fruit were investigated. In the extraction of bioactive compounds, a 4x2 factorial was applied, using three deep eutectic solvents (choline chloride + acetic acid, choline chloride + lactic acid and menthol + lactic acid) and a control solvent (80% ethanol), combined with two extraction methods (maceration and ultrasound bath). The best extract from each portion was encapsulated using the combined extrusion and ionic gelation method. The results demonstrated that the peel and pulp fraction have a high carbohydrate content, especially sucrose and fructose and a source of minerals, especially iron, while the seed demonstrated to be rich in protein, with the presence of the essential amino acids leucine, lysine and valine. The peel, pulp and seed fractions showed a high content of gallic acid, syringic acid and trigonelline. The solvents choline chloride + acetic acid and 80% ethanol showed the best extraction results for bioactive and antioxidant substances and the ultrasound bath extraction method was the most significant in the analyses. Among the bioactive compounds, total phenolics and flavonoids were most prominent. The encapsulation method combining extrusion and ionic gelation showed effectiveness in the formation of uniform and homogeneous microcapsules, however it presented low encapsulation efficiency. During storage, microcapsules exposed to light exhibited a greater reduction in encapsulated phenolic compounds during the days compared to microcapsules stored in the absence of light. In this way, the taturubá fruit has great attraction for extracting bioactive compounds in all its portions, making its application in the food, pharmaceutical and cosmetic industries possible.

**Keywords:** Deep eutectic solvents; Ultrasound bath; Legal Amazon; Microencapsulation

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	Porcentagem
°C	Graus celsius
µg	Micrograma
µL	Microlitros
µM	Micromolar
µmol	Micromol
a*	Coordenada vermelho/verde
ABTS	(2,2-AZINOBIS (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid))
b*	Coordenada amarelo / azul
C	Carbono
cm	Centímetro
DAD	<i>Diode Array Detector</i>
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
DPPH	2,2- di-4-t-octilfenil-1-picrilhidrazila
EAG	Equivalente ácido gálico
FRAP	<i>Ferric reducing antioxidant power</i>
g	Gramma
H	Hidrogênio
h	Hora
H*	Ângulo Hue
HCl	Ácido clorídrico
HCN	Cianeto de hidrogênio
HPLC	<i>High performance liquid chromatography</i>
IDR	Índice de ingestão diária
L	Luminosidade
L	Litros
LaCiMP	Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos
m	Metro
mg	Miligrama
min	Minuto
mL	Mililitro
Mm	Milímetros
N	Nitrogênio
N	Nitrogênio
NaOH	Hidróxido de Sódio
nm	Nanômetro
pH	Potencial hidrogeniônico
pKa	Constante de dissociação ácida
PPGCTA	Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos
ppm	Parte por milhão
PTFE	Politetrafluoretileno
R <sup>2</sup>	Coeficiente de determinação
RSL	Razão sólido-líquido
S	Sul
UFT	Universidade Federal do Tocantins
UV/VIS	Ultravioleta visível
W	Watts
α	Alfa
β	Beta

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da Amazônia Legal brasileira 2022 .....	19
Figura 2. Características botânicas da planta taturubá ( <i>Pouteria Macrophylla</i> (Lam.) Eyma). A) Árvore; B) Casca da árvore; C) Frutos verdes; D) Folhas.....	21
Figura 3. Características do fruto do taturubá ( <i>Pouteria Macrophylla</i> (Lam.) Eyma). A) Fruto maduro do taturubá; B) Despolpa dos frutos; C) Fração casca e polpa seca; D) Sementes inteiras de taturubá; E) Cápsula e semente de taturubá; F) Fração cápsula e semente.....	22
Figura 4. Esquema da produção de microcápsulas pela união da técnica de gotejamento simples e gelificação iônica.....	32
Figura 5. Análise de FT-IR de amostras secas de casca e polpa e semente de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma).....	50
Figura 6. Análise de FT-IR da combinação dos extratos preparados com Álcool etílico 80%, amostras secas de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma) e aplicação do método de extração.....	51
Figura 7. Análise de FT-IR da combinação dos extratos preparados com Cloreto de colina + ácido acético, amostras secas de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma) e aplicação do método de extração.....	52
Figura 8. Análise de FT-IR da combinação dos extratos preparados com Cloreto de colina + ácido láctico, amostras secas de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma) e aplicação do método de extração.....	53
Figura 9. Análise de FT-IR da combinação dos extratos preparados com Mentol + ácido láctico, amostras secas de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma) e aplicação do método de extração.....	54
Figura 10. Imagens óticas das microcápsulas de alginato de sódio e quitosana com aumento A) 7,5x, B) 10x, C) 20x, D) 30x, E) 40x e F) 50x.....	62
Figura 11. Imagens óticas das microcápsulas de extrato de casca e polpa de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma) com aumento A) 7,5x, B) 10x, C) 20x, D) 30x, E) 40x e F) 50x.....	62
Figura 12. Imagens óticas das microcápsulas de extrato de semente de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma) com aumento de A) 7,5x, B) 10x, C) 20x, D) 30x, E) 40x e F) 50x.....	63

Figura 13. Imagens da superfície das microcápsulas por espectroscopia Raman A) microcápsulas de alginato de sódio e quitosana, B) microcápsulas de casca e polpa de taturubá e C) microcápsulas de semente de taturubá.....	63
Figura 14. Imagens da microscopia eletrônica de varredura (MEV) das microcápsulas. A) microcápsula de alginato de sódio e quitosana; B) microcápsula de extrato de casca e polpa de taturubá; C) microcápsula de semente de taturubá. ....	64
Figura 15. Análise de FT-IR dos materiais de parede, cápsula de alginato de sódio e microcápsulas de casca e polpa e semente de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma). ....	66
Figura 16. Estabilidade de micropartículas obtidas por extrusão e gelificação iônica em função da escala de pH (1 a 13), A) microcápsulas de casca e polpa de taturubá e B) microcápsulas de semente de taturubá.....	67

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Resultado da Anava para a quantificação de betacaroteno, licopeno, flavonoides, antocianinas, DPPH, ABTS e fenólicos utilizando diferentes métodos para extração e solventes eutéticos da fração casca e polpa de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma).....	55
Quadro 2. Resultado da Anava para a quantificação de betacaroteno, licopeno, flavonoides, antocianinas, DPPH e ABTS utilizando diferentes métodos para extração e solventes eutéticos da fração semente de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma). .....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Nutrientes e compostos de 8 frutos amazônicos.....	26
Tabela 2. Informações relacionadas aos solventes usados para o preparo das soluções extratoras. ....	39
Tabela 3. Combinação de métodos de extração, solventes eutéticos profundos e extrato controle. ....	40
Tabela 4. Caracterização biométrica e rendimento dos frutos do taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma). ....	44
Tabela 5. Caracterização físico-química e composição centesimal das porções de casca e polpa e semente do taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma).....	45
Tabela 6. Análise quantitativa de aminoácidos nas frações casca e polpa e semente de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma).....	48
Tabela 7. Análise quantitativa de minerais nas frações casca e polpa e semente de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma).....	49
Tabela 8. Resultados médios de betacaroteno em amostra seca de casca e polpa e semente de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma) entre os diferentes solventes eutéticos e métodos de extração. ....	57
Tabela 9. Resultados médios de licopeno em amostra seca de casca e polpa e semente de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma) entre os diferentes solventes eutéticos e métodos de extração. ....	57
Tabela 10. Resultados médios de flavonoides em amostras secas de casca e polpa e semente de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma) entre os diferentes solventes eutéticos e métodos de extração. ....	58
Tabela 11. Resultados médios de antocianinas em amostra seca de casca e polpa e semente de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma) entre os diferentes solventes eutéticos e métodos de extração. ....	59
Tabela 12. Resultados médios de fenólicos totais em amostra seca de casca e polpa e semente de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma) entre os diferentes solventes eutéticos e métodos de extração. ....	60
Tabela 13. Resultados médios de sequestro de radical livre DPPH em amostra seca de casca e polpa e semente de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma) entre os diferentes solventes eutéticos e métodos de extração.....	60

Tabela 14. Resultados médios de sequestro de radical livre ABTS em amostra seca de casca e polpa e semente de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma) entre os diferentes solventes eutéticos e métodos de extração.....	61
Tabela 15. Atividade água, teor de fenólicos totais e eficiência de encapsulação das microcápsulas de taturubá ( <i>Pouteria macrophylla</i> (Lam) Eyma). .....	66
Tabela 16. Total de fenólicos totais presentes nas microcápsulas durante os 20 dias de armazenamento com e sem a exposição a luz, resultado expresso em mg ácido gálico/100 g. ....	68

# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
<b>2.1 Amazonia legal</b> .....	18
2.1.1 Taturubá.....	20
<b>2.2 Caracterização de frutos exóticos</b> .....	23
2.2.1 Caracterização química, fitoquímica e antioxidante.....	24
<b>2.3 Extração química de compostos</b> .....	28
<b>2.4 Encapsulação de extratos</b> .....	30
2.4.1 Microencapsulação por gotejamento simples e gelificação iônica.....	30
<b>3. OBJETIVO GERAL</b> .....	33
<b>3.1 Objetivos específicos</b> .....	33
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	34
<b>4.1 Delineamento experimental</b> .....	34
<b>4.2 Identificação botânica</b> .....	34
<b>4.3 Caracterização biométrica</b> .....	35
<b>4.4 Caracterização dos frutos</b> .....	35
4.4.1 Composição centesimal .....	35
4.4.2 Valor energético total .....	35
4.4.3 Atividade de água (Aw).....	35
4.4.4 Potencial hidrogeniônico (pH) .....	36
4.4.5 Acidez total titulável.....	36
4.4.6 Teor de sólidos solúveis .....	36
4.4.7 Cor .....	36
<b>4.5 Protocolos para perfis cromatográficos</b> .....	36
4.5.1 Perfil de açúcares.....	36
4.5.2 Perfil de aminoácidos .....	37
4.5.3 Perfil de minerais.....	37
4.5.4 Perfil de ácidos fenólicos.....	38
<b>4.6 Preparação das soluções extratoras</b> .....	38
4.6.1 Caracterização das soluções extratoras.....	39
<b>4.7 Métodos de extração</b> .....	40
4.7.1 Maceração.....	40
4.7.2 Banho Ultrassônico .....	40
<b>4.8 Obtenção dos extratos</b> .....	40
<b>4.9 Substâncias bioativas</b> .....	40

4.9.1	Conteúdo fenólico total .....	40
4.9.2	Flavonoides.....	41
4.9.3	Antocianinas .....	41
4.9.4	Carotenoides .....	41
4.9.5	Capacidade antioxidante pelo sequestro de DPPH.....	41
4.9.6	Capacidade antioxidante pelo sequestro do Radical Livre ABTS <sup>+</sup> .....	42
<b>4.10</b>	<b>Metodologia de encapsulação</b> .....	<b>42</b>
4.10.1	Preparação dos extratos .....	42
4.10.2	Microencapsulação dos extratos por extrusão e gelificação iônica.....	42
<b>4.11</b>	<b>Análises das microcápsulas</b> .....	<b>43</b>
4.11.1	Atividade de água .....	43
4.11.2	Eficiência da encapsulação .....	43
4.11.3	Determinação da Morfologia da Superfície .....	43
4.11.4	Espectroscopia no infravermelho médio (FT-TR).....	44
4.11.5	Estabilidade das microcápsulas em diferentes pH.....	44
4.11.6	Estabilidade de compostos microencapsulados sob armazenamento .....	44
<b>4.12</b>	<b>Análise estatística</b> .....	<b>44</b>
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>44</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização biométrica</b> .....	<b>44</b>
<b>5.2</b>	<b>Caracterização dos frutos</b> .....	<b>45</b>
<b>5.3</b>	<b>Perfis cromatográficos</b> .....	<b>47</b>
<b>5.4</b>	<b>Caracterização dos solventes eutéticos e extratos</b> .....	<b>50</b>
<b>5.5</b>	<b>Substâncias bioativas</b> .....	<b>55</b>
<b>5.6</b>	<b>Análise das microcápsulas</b> .....	<b>61</b>
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>69</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>70</b>