

UNIVERSIDADE CESUMAR - UNICESUMAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA LIMPAS

GABRIELA LUCCA DEL ANGELO

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E BIOATIVA DA CASCA DO FRUTO
DO JATOBÁ (*Hymenaea courbaril* L.)**

MARINGÁ
2024

GABRIELA LUCCA DEL ANGELO

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E BIOATIVA DA CASCA DO FRUTO
DO JATOBÁ (*Hymenaea courbaril* L.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas da Universidade Cesumar - Unicesumar, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Limpas.

Orientadora: Profa. Dra. Rúbia Carvalho Gomes Corrêa.

Coorientadora: Profa. Dra. Luciana Cristina Soto Herek Rezende.

MARINGÁ
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A584c Angelo, Gabriela Lucca Del.

Caracterização química e bioativa da casca do fruto do Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) / Gabriela Lucca Del Angelo. – Maringá-PR: UNICESUMAR, 2024.

61 f.: il.; 30 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Rúbia Carvalho Gomes Corrêa. Coorientadora: Profa. Dra. Luciana Cristina Soto Herek Rezende. Dissertação (mestrado) – Universidade Cesumar - UNICESUMAR,

Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas, Maringá, 2024.

1. Recuperação de resíduos alimentares. 2. Compostos fenólicos. 3. Potencial antioxidante. 4. Potencial antiproliferativo. 5. Atividade antimicrobiana I. Título.

CDD – 628.4

Leila Nascimento – Bibliotecária – CRB 9/1722
Biblioteca Central UniCesumar

Ficha catalográfica elaborada de acordo com os dados fornecidos pelo (a) autor (a).

GABRIELA LUCCA DEL ANGELO

Caracterização química e bioativa da casca do fruto do Jatobá (*Hymenaea
courbaril* L.)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas da
Universidade Cesumar, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em
Tecnologias Limpas Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Profa. Dra. Rúbia Carvalho Gomes Corrêa
Universidade Cesumar - UniCesumar

Profa. Dra. Francielli Gasparotto
Universidade Cesumar - UniCesumar

Prof. Dr. Rafael Castoldi
Universidade Estadual de Maringá

Aprovado em: 27/02/2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus, guia eterno em minha vida. Em sua graça e misericórdia, encontrei força nos momentos mais desafiadores, luz nos períodos de escuridão e direção em cada encruzilhada.

À minha família, agradeço por sempre acreditarem em mim, mesmo nos momentos de desafio, e por proporcionarem um ambiente propício ao meu crescimento pessoal e acadêmico.

Ao meu companheiro Leandro Marchi cujo apoio incondicional e compreensão foram fundamentais para manter meu equilíbrio emocional ao longo dessa jornada. Sua presença constante e encorajamento foram um verdadeiro suporte.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado nos bons e nos desafiadores momentos. Suas palavras de estímulo, risadas compartilhadas e apoio mútuo foram essenciais para manter o ânimo durante todo o processo.

Aos colegas de sala, pela troca de experiências, debates enriquecedores e colaboração no ambiente acadêmico. Cada interação contribuiu para o meu aprendizado e crescimento.

A todos os professores e servidores envolvidos com o Programa de Mestrado em Tecnologias Limpas da– Universidade Cesumar -UNICESUMAR.

Agradeço à minha orientadora, Profa. Dra. Rúbia Carvalho Gomes Corrêa pela orientação dedicada, paciência e expertise que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Seu apoio constante e valiosos foram cruciais para minha formação acadêmica.

À Professoras Dra. Lillian Barros do Centro de Investigação de Montanha (CIMO) do Instituto Politécnico de Bragança, (IPB), Portugal, pela essencial colaboração na realização deste trabalho.

Ao Prof. José Eduardo Gonçalves, líder do Laboratório Interdisciplinar Análises Químicas e Biológicas (LIABQ) da Universidade Cesumar (UniCesumar), por toda paciência e direcionamento durante as análises. Em especial ao Rodrigo Sadão Inumaro por todo auxílio e prontidão aos questionamentos dos ensaios.

À Profa. Francielli Gasparotto, líder do Laboratório de Análises Agronômicas (AGROLAB) da Universidade Cesumar (UniCesumar), por generosamente colaborar com as análises de atividade antioxidantes da minha pesquisa. Em especial à Amanda Eustachio Pereira pela generosa companhia durante utilização do laboratório.

Expresso minha gratidão à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de estudos que viabilizou a realização deste trabalho. O suporte oferecido pela CAPES foi crucial para que eu pudesse dedicar-me à pesquisa.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à Universidade Cesumar - UniCesumar, por mais esta oportunidade de formação.

*"Confia ao Senhor as tuas obras, e
teus projetos serão estabelecidos."*

Provérbios: 16:13

RESUMO

Hymenaea courbaril L., popularmente conhecida como Jatobá ocorre abundantemente nas florestas brasileiras. A espécie tem valor econômico associado a diversas partes da planta com propriedades biológica, que são utilizadas na indústria cosmética e alimentícia. No entanto, poucas informações têm sido relatadas acerca da composição fitoquímica e bioatividades do resíduo do fruto do Jatobá. Considerando também a urgente necessidade de promover o uso sustentável dos recursos naturais, em atenção à ODS 12 “Consumo e Produção Responsáveis” da Agenda 2030, o objetivo deste estudo foi investigar o perfil químico e bioativo da casca do fruto de *H. courbaril*. Para tanto, foram preparados dois extratos: um extrato aquoso (água deionizada) e um extrato hidroetanólico (solução de etanol: água deionizada, 70:30 v/v) por meio da extração via maceração em *shaker*. A cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas usando a interface de ionização por eletropulverização (LC-DAD-ESI/MSn) permitiu a identificação provisória de um total de dez compostos fenólicos: sete procianidinas, dois derivados da quercetina e um derivado da taxifolina, sendo dímeros e trímeros de procianidinas os principais componentes de ambos os extratos. A LC-DAD-ESI/MSn também revelou teores de compostos fenólicos totais de $2,42 \pm 0,06$ e 11 ± 1 mg/g para o extrato aquoso e extrato hidroetanólico, respectivamente; no entanto, apenas sete compostos foram identificados neste último. O extrato avaliado apresentou notável atividade antioxidante, avaliada por meio de quatro métodos distintos: TBARS, OxHLIA, DPPH e FRAP. O extrato hidroetanólico teve maior atividade antioxidante nos ensaios OxHLIA e DPPH, com valores de IC_{50} de $25,4 \mu\text{g/mL}$ e $0,71 \mu\text{g/mL}$, respectivamente. No entanto, o extrato aquoso demonstrou maior potencial antioxidante no sistema FRAP ($2001,0 \mu\text{M TE/mg}$), nenhum dos extratos teve atividade no sistema TBARS. A atividade citotóxica do extrato foi estimada pelo protocolo de Sulforodamina B (SRB) por meio de quatro células tumorais humanas (AGS, CaCo2, MCF-7 e NCI-H460) e células saudáveis de rim de macaco (Vero). Apenas o extrato aquoso apresentou potencial antiproliferativo para as quatro linhagens de células tumorais avaliadas: um promissor potencial inibitório contra AGS ($GI_{50} = 35 \pm 1 \mu\text{g/mL}$) e MCF-7 ($GI_{50} = 89 \pm 4 \mu\text{g/mL}$), e efeitos inibidores de crescimento menos pronunciados contra linhagens celulares de CaCo2 e NCI-H460. A atividade anti-inflamatória foi determinada em função da inibição da produção de óxido nítrico em linhagem celular macrófagos de camundongos (RAW 264.7) através da metodologia de Griess, assim da mesma forma, apenas o extrato aquoso apresentou leve potencial anti-inflamatório ($IC_{50} = 225 \pm 2 \mu\text{g/mL}$). Possivelmente, as moléculas envolvidas nas atividades antiproliferativa e anti-inflamatória observadas no extrato aquoso sejam diferentes dos compostos fenólicos identificados neste trabalho. Ademais, a atividade antibacteriana dos extratos foram investigadas frente à bactérias Gram-Positivas e Gram-Negativas. Ambos os extratos apresentaram efeitos bacteriostáticos contra as bactérias testadas, sendo o extrato hidroetanólico especialmente eficaz contra *Enterococcus faecalis* e *Listeria monocytogenes* (CIMs = $2,5 \text{ mg/mL}$). Tomados em conjunto, os resultados sugerem o potencial da casca do fruto do Jatobá como fonte de molécula bioativas de alto valor agregado e de interesse industrial, com possibilidade de aplicações em cosméticos, alimentos e nutracêuticos.

PALAVRAS-CHAVE: Recuperação de resíduos alimentares, Compostos fenólicos, Potencial antioxidante, Potencial antiproliferativo, Atividade antimicrobiana.

ABSTRACT

Hymenaea courbaril L., popularly known as Jatobá, occurs abundantly in Brazilian forests. The species has economic value associated with several parts of the plant with biological properties, which are used in the cosmetic and food industries. However, little information has been reported about the phytochemical composition and bioactivities of Jatobá fruit residue. Also considering the urgent need to promote the sustainable use of natural resources, in compliance with SDG 12 “Responsible Consumption and Production” of the 2030 Agenda, the objective of this study was to investigate the chemical and bioactive profile of the *H. courbaril* fruit peel. To this end, two extracts were prepared: an aqueous extract (deionized water) and a hydroethanolic extract (ethanol solution: deionized water, 70:30 v/v) through extraction via maceration in a *shaker*. Liquid chromatography coupled to mass spectrometry using the electrospray ionization interface (LC-DAD-ESI/MSn) allowed the provisional identification of a total of ten phenolic compounds: seven procyanidins, two quercetin derivatives and one taxifolin derivative, being procyanidin dimers and trimers are the main components of both extracts. LC-DAD-ESI/MSn also revealed total phenolic compound levels of 2.42 ± 0.06 and 11 ± 1 mg/g for the aqueous extract and hydroethanolic extract, respectively; however, only seven compounds have been identified in the latter. The extract evaluated showed notable antioxidant activity, evaluated using four different methods: TBARS, OxHLIA, DPPH and FRAP. The hydroethanolic extract had greater antioxidant activity in the OxHLIA and DPPH assays, with IC_{50} values of 25.4 μ g/mL and 0.71 μ g/mL, respectively. However, the aqueous extract demonstrated greater antioxidant potential in the FRAP system (2001.0 μ M TE/mg), none of the extracts had activity in the TBARS system. The cytotoxic activity of the extract was estimated by the Sulforhodamine B (SRB) protocol using four human tumor cells (AGS, CaCo2, MCF-7 and NCI-H460) and healthy monkey kidney cells (Vero). Only the aqueous extract showed antiproliferative potential for the four tumor cell lines evaluated: a promising inhibitory potential against AGS ($GI_{50} = 35 \pm 1$ μ g/mL) and MCF-7 ($GI_{50} = 89 \pm 4$ μ g/mL), and inhibitory effects less pronounced growth rates against CaCo2 and NCI-H460 cell lines. The anti-inflammatory activity was determined as a function of the inhibition of nitric oxide production in a mouse macrophage cell line (RAW 264.7) using the Griess methodology. Likewise, only the aqueous extract showed mild anti-inflammatory potential ($IC_{50} = 225 \pm 2$ μ g/mL). Possibly, the molecules involved in the antiproliferative and anti-inflammatory activities observed in the aqueous extract are different from the phenolic compounds identified in this work. Furthermore, the antibacterial activity of the extracts was investigated against Gram-Positive and Gram-Negative bacteria. Both extracts showed bacteriostatic effects against the bacteria tested, with the hydroethanolic extract being especially effective against *Enterococcus faecalis* and *Listeria monocytogenes* (MICs = 2.5 mg/mL). Taken together, the results suggest the potential of Jatobá fruit peel as a source of bioactive molecules of high added value and of industrial interest, with possible applications in cosmetics, food and nutraceuticals.

KEYWORDS: Recovery of food waste, Phenolic compounds, Antioxidant potential, Antiproliferative potential, Antimicrobial activity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principais produtos e coprodutos da árvore Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i> L.).....	38
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estudos dos últimos cinco anos acerca da espécie <i>Hymenaea courbaril</i> L.....	21
Tabela 2 - Estudos sobre a casca do fruto do Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i> L.).....	25
Tabela 3 – Solventes verdes na extração de extratos de matrizes vegetais.....	31
Tabela 4 - Tempo de retenção (Rt), comprimentos de onda de máxima absorção na região do visível (λ_{max}), dados espectrais de massa, tentativa de identificação, referência bibliográfica utilizada para auxiliar na identificação e quantificação dos compostos fenólicos presentes nos extratos de resíduos de vagens de <i>Hymenaea courbaril</i> (mean $\pm$ SD)	48
Tabela 5. Atividades antioxidantes dos extratos de resíduos de vagem de Jatobá (mean $\pm$ SD).....	50
Tabela 6. Propriedades citotóxicas e anti-inflamatórias dos extratos de resíduos de vagem de Jatobá	51
Tabela 7. Potencial antibacteriano de extratos de resíduos de vagens de <i>Hymenaea courbaril</i>	52

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCD	Cromatografia em Camada Delgada
CG	Cromatografia Gasosa
CFT	Compostos Fenólicos Totais
CBM	Concentração Bactericida Mínima
CIM	Concentração Inibitória Mínima
DP	Desvio Padrão
DPPH	Redução do Radical 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazil
EA	Extrato Aquoso
EM	Espectrofotômetro de Massas
ETOH	Extrato Hidroetanólico
FRAP	Poder Redutor do Ferro
LC-DAD-ESI /MSn	Cromatografia líquida acoplada à detecção de arranjo de diodos e ionização por eletropulverização em tandem com espectrometria de massa
NA	Nada consta
OxHLIA	Inibição da Hemólise Oxidativa
TBARS	Inibição da Produção de Substâncias Reativas do Ácido Tiobarbitúrico
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
OE	Óleo essencial
SV	Solvente verde

LISTAS DE SÍMBOLOS

λ_{max}	Absorbância Máxima
β	Beta
α	Alfa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo geral	17
2.2 Objetivos específicos	17
3. REVISÃO DA LITERATURA	18
3.1 O Jatobá	18
3.1.1 <i>Hymenaea courbaril</i> L.	19
3.1.2 Solvente verde	27
3.1.3 Extração por maceração em <i>shaker</i>	31
REFERÊNCIAS	33
4. ARTIGO	42
1. Introduction	1
2. Material and methods	3
2.1. Plant material	3
2.2 Extraction procedure	3
2.3 Phenolic composition by LC-DAD-ESI/MSn	3
2.4 Antioxidant activity	4
2.5 Cytotoxic potential	4
2.6 Anti-inflammatory activity	4
2.7 Antimicrobial potential	4
2.8 Statistical analysis	5
3. Results and discussion	5
3.1 Phenolic profile of the Jatobá pod residue extracts	5
3.3. Biological properties of the Jatobá pod residue extracts	7
4. Conclusions	10
References	10
5. NORMAS DO ARTIGO	55
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	60

1. INTRODUÇÃO

Devido aos princípios implantados na sociedade atual a respeito de sustentabilidade, moléculas de alto valor agregado estão sendo recuperadas de subprodutos agroalimentares e aplicadas no desenvolvimento de ingredientes para as indústrias de alimentícios, nutracêuticos, farmacêuticos e cosméticas com a função de conservar e/ou agregar funcionalidade (CONCEIÇÃO *et al.*, 2020).

Essas práticas promovem a eficiência no uso dos recursos e a circularidade, alinhando-se ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 12 da Agenda 2030 das Nações Unidas, que visa garantir padrões de consumo e produção sustentáveis (NAÇÕES UNIDAS, 2015). Essas moléculas extraídas de subprodutos contribuem para a redução do desperdício, e também possibilitam a criação de produtos, impulsionando a economia circular e promovendo um desenvolvimento mais sustentável (CONCEIÇÃO *et al.*, 2020).

Os compostos fenólicos são exemplos de moléculas que são amplamente extraídas nestes processos, estão presentes nos vegetais e são consideradas moléculas de alto valor. Através de estudos epidemiológicos, clínicos, *in vivo* e *in vitro* destacam as múltiplas atividades biológicas presentes nestes compostos, entre as quais propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antimicrobianas e anticarcinogênicas (CORRÊA *et al.*, 2019; CÂMARA *et al.*, 2021). Assim, ao integrar a valorização destes compostos em práticas sustentáveis, potencializa o aproveitamento de recursos naturais (CONCEIÇÃO *et al.*, 2020).

Hymenaea courbaril L., conhecida como Jatobá, é uma leguminosa arbórea pertencente à família Fabaceae que ocorre abundantemente nas florestas brasileiras. Devido à sua tolerância a uma ampla gama de condições ambientais, o Jatobá é encontrado em biomas diversos como o Cerrado e o Pantanal (DE SOUZA ROCHA *et al.*, 2020), e tem sido cada vez mais empregado na recuperação de áreas desmatadas e arborização (ARRUDA *et al.*, 2015). A espécie tem valor econômico por fornecer madeira de alta qualidade, mas também pelo fato de suas folhas, cascas, seiva, resina e frutos apresentarem teores significativos de fitoquímicos bioativos, o que justifica seu uso na medicina tradicional como matéria-prima para a obtenção de incensos, cosméticos e ingredientes alimentícios, além de tônicos naturais, fortificantes e energizantes (SCHWARTZ, 2018; PEREIRA SANTOS *et al.*, 2020).

Além da presença de constituintes fenólicos como procianidinas e catequinas (VEGGI *et al.*, 2014; FARIAS *et al.*, 2017), vários outros compostos principalmente diterpenos e

sesquiterpenos do tipo enantio-labdanóico e enantio-halimano já foram isolados das sementes, cascas e resinas do tronco, além da casca da vagem de *H. courbaril* (OLIVEIRA, 2018; DOS SANTOS *et al.*, 2018; DE VERAS *et al.*, 2020).

À tão diversa composição química são atribuídas as bioatividades reportadas para extratos, frações ou compostos isolados de produtos e subprodutos de *H. courbaril*, tais como propriedades antioxidantes (SANTOS *et al.*, 2019), anti-inflamatórias (BEZERRA *et al.*, 2013), antivirais e antiproliferativas (BONIFACE, FERREIRA, KAISER., 2017; DE SOUZA, 2020), além de efeitos antimicrobianos (ALEIXO *et al.*, 2015; BRITO *et al.*, 2016) e larvicidas (AGUIAR *et al.*, 2010; RIBEIRO *et al.*, 2014). Neste contexto, embora diversos estudos realizados anteriormente mencionem sobre a *H. courbaril*, dados disponíveis na literatura sobre caracterização química e bioativa especificamente da casca da vagem do Jatobá são escassos (AGUIAR *et al.*, 2010; SALES *et al.*, 2014; VEGGI *et al.*, 2014; DA SILVA *et al.*, 2019; SPESSATO *et al.*, 2019; EVERTON *et al.*, 2020; CABRAL; CASTRO; YAMAGUCHI, 2022), o que permite dizer que este é um bioressíduo agroindustrial ainda subexplorado.

Neste sentido, é de grande interesse expandir os conhecimentos científicos acerca do potencial de matrizes vegetais tipicamente brasileiras, ainda melhor, dos biorresíduos destas plantas, como fontes alternativas para obtenção de moléculas de alto valor agregado (DA SILVA OLIVEIRA *et al.*, 2018). Ainda, existem poucas informações acerca do potencial biológico dos subprodutos do Jatobá, principalmente no que se refere à casca do fruto (AGUIAR *et al.* 2010).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Investigar o perfil químico e bioativo da casca do fruto de *Hymenaea courbaril* L.

2.2 Objetivos específicos

- Obter a farinha da casca da vagem de *H. courbaril*.
- Produzir via maceração em *shaker* dois extratos da farinha da casca do Jatobá: um aquoso e um hidroetanólico.
- Quantificar e identificar os principais compostos fenólicos presentes nos extratos obtidos.
- Investigar o potencial antioxidante dos extratos utilizando um conjunto de quatro ensaios de atividade antioxidante distintos, sendo dois métodos químicos e dois métodos baseados em células.
- Averiguar o potencial antiproliferativo dos extratos em quatro linhagens tumorais humanas, além de seu potencial citotóxico em células saudáveis de rim de macaco;
- Avaliar o potencial anti-inflamatório dos extratos utilizando linhagem celular RAW de camundongos.
- Estimar o potencial antibacteriano dos extratos frente às bactérias Gram-Positivas e Gram-Negativas.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 O Jatobá

O Jatobá, pertencente ao gênero *Hymenaea*, é uma árvore leguminosa que desempenha um papel significativo nos ecossistemas das florestas tropicais da América Latina. Para muitas comunidades indígenas e populações locais, o Jatobá é um símbolo de conexão com a natureza, uma fonte de alimento, medicina e materiais de construção. Suas sementes, folhas e resinas são utilizadas em práticas culturais, cerimônias e rituais tradicionais há séculos, refletindo a profunda ligação entre essas comunidades e seu ambiente natural (SANTOS *et al.*, 2019; TIAGO *et al.*, 2020).

Fabaceae possui distribuição pantropical apresentando 727 gêneros e cerca de 19.000 espécies, sendo considerada a terceira maior família de angiospermas. *Hymenaea* é um gênero que apresenta cerca de 25 espécies pertence a subfamília Caesalpinoideae distribuídas da Região Central do México pela América Central, países da América do Sul, onde 12 espécies são encontradas no Brasil (BONIFACE, FERREIRA, KAISER.; 2017; DA SILVA OLIVEIRA *et al.*, 2018; MOREIRA *et al.*, 2019). No Brasil são comumente encontrados nos Estados do Piauí, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo (SANTOS *et al.*, 2019).

Espécies de do gênero *Hymenaea* em sua maioria são árvores grandes e perenes reconhecidas por sua importância tanto econômica quanto ecológica, além de seu potencial medicinal. Possuem folhas compostas por dois folíolos e frutos em forma de vagens contendo de 6 a 8 sementes envolvidas por uma farinha comestível de grande valor nutritivo (BONIFACE, FERREIRA, KAISER.; 2017; TIAGO *et al.*, 2020). São popularmente conhecidas no Brasil como “jatobá”, “jataí”, “jutaí”, “jataíba”, “jataiba-peba”, “jataíbauva”, “jataúba”, “juteí”, “jassai”, “árvore-copal-do-Brasil” (TIAGO *et al.*, 2020).

Hymenaea tradicionalmente são utilizados como alimento, mas possui potencial na medicina tradicional como no tratamento de infecções, problemas respiratórios, reumatismos, antitumoral, infecções bacterianas, inflamações, distúrbios estomacais, tratamento de feridas (BONIFACE, FERREIRA, KAISER.; 2017). Os óleos e extratos de folhas, raízes e resinas dos troncos, deste gênero apresentam vários constituintes como: terpenos, alcaloides, aminoácidos, ácidos graxos, carboidratos (DA SILVA OLIVEIRA *et al.*, 2018; DE VERAS *et al.*, 2020).

Nos últimos anos, autores descrevem o uso popular de diversas partes de plantas *Hymenaea* no tratamento de tosse, anemia, bronquite, inflamação, sinusite resfriado comum e problemas renais em forma de xaropes ou decocção. Ainda, há relatos do uso da resina destas árvores para auxiliar na cicatrização de feridas. Estudos realizados por pesquisadores visam demonstrar o expressivo potencial químico de *Hymenaea* através de suas substâncias terapêuticas com grande aplicabilidade nas indústrias alimentares, farmacológicas e cosméticas (MECÊDO *et al.*, 2018; DA SILVA OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Dentre as atividades biológicas verificadas *in vitro* e *in vivo* para plantas *Hymenaea* nos últimos anos, podem ser destacados efeitos antibacterianos, antidiarréicos, antifúngicos, anti-inflamatórios, antileishmania, antioxidantes, antiplasmódicos, antiproliferativos, antiulcerativos, antivirais, hepatoprotetores, larvicidas, além de atividades miorelaxantes e propriedades repelentes de insetos (BONIFACE, FERREIRA, KAISER.; 2017; MECÊDO *et al.*, 2018; SCHWARTZ, 2018; DE VERAS *et al.*, 2020).

3.1.1 *Hymenaea courbaril* L.

Dentre as espécies do gênero *Hymenaea*, a *Hymenaea courbaril* L. conhecida popularmente como Jatobá, termo oriundo do tupi que significa “fruto da casca dura”. Em média atinge 40 m de altura e 1 m de diâmetro, possuindo folhas compostas e fruto tipo legume que floresce no final das chuvas (MCCOY *et al.*, 2017; SCHWARTZ, 2018; EVERTON *et al.*, 2020). É uma espécie entre as plantas medicinais no Brasil com estudo ainda pouco explorado (EVERTON *et al.*, 2020).

O jatobazeiro tem valor econômico, fornecendo madeira, resinas, frutos e cascas comestíveis de alta qualidade (BONIFACE, FERREIRA, KAISER.; 2017) (Figura 1). De acordo com Schwartz (2018), as diferentes partes de *H. courbaril* têm uso potencial nas indústrias de alimentos, produtos farmacêuticos, cosméticos, defensivos agrícolas e conservação de alimentos, devido à sua ampla variedade de usos, desde o tratamento de doenças humanas até o controle de patógenos agrícolas.

A planta é conhecida culturalmente por sua utilização ao longo dos anos pelas tribos indígenas da floresta Amazônica e mais recentemente integrada a medicina, em forma de decocções, infusões, tinturas, cataplasmas, sucos ou imersões de diversas partes da planta, para tratamento de várias doenças e até alguns tipos de câncer. Nos últimos anos, as diferentes partes do Jatobá têm sido investigadas quanto ao potencial bioativo (MCCOY *et al.*, 2017; SCHWARTZ, 2018) (Tabela 1).

Tabela 3 - Estudos dos últimos cinco anos acerca da espécie *Hymenaea courbaril* L.

Parte estudada	Bioatividade ou Aplicação Biotecnológica / Modelo experimental	Extrato(s)/ Composto(s) identificado(s)	Principais achados	Ref.
Folhas	Potencial antiproliferativo <i>in vitro</i> contra câncer de próstata (linha PC-3) e análise instrumental.	Extrato hexânico obtido por Soxhlet contendo óxido de cariofileno, γ -sitosterol e 7-isopropil-4,10.	O óxido de cariofileno foi o composto majoritário do extrato, o qual apresentou efeito antiproliferativo com baixa toxicidade para células normais.	DELGADO <i>et al.</i> , 2021
	Potencial inseticida <i>in vivo</i> ; análise instrumental.	Óleo essencial (OE) composto de 46,42% de monoterpenos e 51,41% de sesquiterpenos.	O OE teve significativo efeito inseticida contra <i>Sitophilus zeamais</i> e <i>Tetranychus urticae</i> , possivelmente via danos metabólicos, reprodutivos e comportamentais produzidos nas larvas.	DAS MERCÊS <i>et al.</i> , 2018
Sementes	Substrato para a produção de enzimas lignocelulósicas fúngicas; cultivo em estado sólido, ensaios <i>in vitro</i> e análise instrumental.	Extrato enzimático rico em endoglucanases, glucanases, γ -L-arabinanases e mananases, além de liquenas	As sementes, ricas em xiloglucanas, constituem bom substrato para a produção de enzimas de interesse econômico pela degradação da biomassa por oito fungos de diferentes classes.	CONTATO <i>et al.</i> , 2021
	Produção de agente encapsulante (xiloglucano) para aplicações em sistemas alimentares; ensaios <i>in vitro</i>	Extrato etanólico; xiloglucano	O xiloglucano isolado da semente foi usado para microencapsular vitamina C, para posterior incorporação em hambúrguer de tilápia. O aditivo natural minimizou alterações indesejáveis no produto alimentar.	FARIAS <i>et al.</i> , 2017

	Potencial citotóxico <i>in vitro</i> , potenciais genotóxico e antigenotóxico <i>in vivo</i> ; atividade antioxidante <i>in vitro</i> e análise instrumental.	Extrato hidroetanólico rico em flavonas (hultenina, taxifolina, quercetina e 7-metoxicatequina).	O extrato exerceu atividade citotóxica contra células de câncer de pâncreas (linha B16F10), além de efeito antigenotóxico e genotóxico em células da medula óssea de camundongos tratados via intraperitoneal. Ainda, o extrato teve atividade antioxidante no sistema DPPH.	SPERA <i>et al.</i> , 2019
Raízes	Fitorremediação de solo contaminado por herbicidas (ametrina e hexazinona); ensaios <i>in vitro</i> .	n.a.	Os autores compararam a performance de três espécies arbóreas brasileiras, a saber <i>H. courbaril</i> , <i>Calophyllum brasiliense</i> ; <i>Eremanthus crotonoides</i> na fitodegradação de herbicidas do solo. O jatobá apresentou as melhores taxas de rizodegradação de hexazinona.	DOS SANTOS <i>et al.</i> , 2018
Resina	Potencial bioinseticida em larvas de <i>Drosophila melanogaster</i> ; análise instrumental.	Extrato etanólico → fração hexânica; sesquiterpenos e diterpenos	O estudo genotóxico revelou que as larvas foram mais sensíveis à fração hexânica da resina, possivelmente devido à danos causados ao material genético.	ANAYA-GIL <i>et al.</i> , 2021
Polpa	Potencial antioxidante <i>in vitro</i> ; análise instrumental. Ingrediente natural na formulação de sabonete.	Extratos hexano, diclorometano, metanol e etanol obtidos via maceração a frio. Antocianidinas, chalconas, leucoantocianidina, catequinas e saponinas.	Os extratos ricos em compostos bioativos apresentaram potencial antioxidante no ensaio do DPPH. A potencial aplicabilidade dos mesmos como ingredientes na produção de sabonete artesanal foi indicada por bons resultados em ensaios tecnológicos.	CABRAL; CASTRO; YAMAGUCHI, 2022

Fonte: Autor, 2023.

n.a. = não se aplica.

Os ativos isolados das folhas de *Hymenaea courbaril* L. contém óxido de cariofileno, agente capaz de induzir a apoptose precoce e tardia da linhagem celular de câncer de próstata insensíveis a andrógeno PC-3 com baixa toxicidade para células normais. (DELGADO *et al.*, 2021; DA SILVA OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Seu tronco é utilizado principalmente na produção de madeira na Amazônia (MCCOY *et al.*, 2017), na restauração de terras degradadas (SCHWARTZ, 2018) e na construção civil e carpintaria (TIAGO *et al.*, 2019). Dos Santos *et al.*, (2018) avaliaram a capacidade de fitoremediação de *H. courbaril*, sob herbicidas contendo ametrina e hexazinona diluídas em água com concentrações finais de 1000 e 500 g ha⁻¹ respectivamente, a lesão visual após o experimento foi de 45,7% em escala variando de 0 a 100% (0% sem alteração visual e 100% a morte da planta) após 80 dias. No tratamento sob hexazinona, *H. courbaril* apresentou o maior teor de clorofila comparada a espécie *C. brasiliense* por desenvolver diferente mecanismo de degradação do herbicida por rizodegradação.

As árvores liberam uma resina chamada copal ou jutaicaica, usada para fazer verniz. Extratos obtidos das cascas e resinas de *H. courbaril* tipicamente apresentam teores significativos de diterpenóides; além disso, contêm moléculas como flavonóides, aminoácidos, ácidos graxos, carboidratos, cumarinas, sesquiterpenos, esteróides, lactonas variadas, cromonas e diterpenos com propriedades medicinais (SCHWARTZ, 2018; TIAGO *et al.*, 2020; DA SILVA *et al.*, 2019).

As sementes do Jatobá contêm polissacarídeos (DA SILVA *et al.*, 2019) e xiloglucano aplicada a produção de enzimas lignocelulolíticas fúngicas (CONTATO *et al.*, 2021). Nos últimos anos, a indústria cosmética passou a aplicar extratos da casca do caule do Jatobá devido à presença do composto polcatecina, que é um agente hidratante e clareador da pele (VEGGI *et al.*, 2014). Farias *et al.*, (2017) produziram micropartículas via atomização por secagem por pulverização de xiloglucanos extraídos das sementes de *H. courbaril*. Os autores realizaram a incorporação destas micropartículas contendo ácido ascórbico em hambúrgueres de tilápia e observaram significativa redução de mudanças organolépticas após o cozimento do alimento. A eficiência de encapsulação foi de $96,34 \pm 1,6\%$ e a retenção da atividade antioxidante foi de $89,48 \pm 0,88\%$ após 60 dias a 25 °C.

Também foi relatado aplicabilidade das sementes do Jatobá na indústria farmacológica. Spera *et al.*, (2019) avaliaram a atividade anti-melanoma e genotoxicidade do extrato hidroetanólico de sementes de *H. courbaril* contra a linhagem de células de melanoma B16F10. Os ensaios de citotoxicidade *in vitro* para período de incubação de 24 e 48 horas

com concentração de 50µg/mL do extrato reduziram número de células em 58 e 91% respectivamente. Foi identificada atividade antioxidante de 78,94% pelo método de DPPH e efeito antígeno-tóxico por meio da medula óssea de camundongos *in vivo*. Ainda, revelou a presença de flavonas como composto majoritário no extrato avaliado com teor total de 442,25±18,03 mg ER/g.

No interior da vagem é encontrado a polpa de aspecto farináceo e coloração verde amarelado com sabor doce e aroma característico, possui elevados teores de proteínas e fibras além de apresentar carotenóides, polifenóis, vitamina C e possuir baixos teores de lipídios (CARVALHO *et al.*, 2021; DE MENEZES FILHO *et al.*, 2019). Esta farinha é culturalmente consumida no Norte e Nordeste do Brasil, como ingrediente na formulação de biscoito, geleias, bolos e lanches (EVERTON *et al.*, 2020; DA SILVA *et al.*, 2019). Também é usada para enriquecer alimentos (SCHWARTZ, 2018) e ainda, para substituir a farinha de trigo, por não possuir glúten (BONIFACE, FERREIRA, KAISER.; 2017). Devido à grande procura por novos produtos de origem natural, a farinha do arilo vem apresentando bom aceite da população comercialmente (DE MENEZES FILHO *et al.*, 2020). A polpa também pode inibir a atividade de enzimas relacionadas à inflamação (BONIFACE, FERREIRA, KAISER.; 2017; DA SILVA *et al.*, 2019).

A casca do fruto do Jatobá, por sua vez, é considerada um biorresíduo com modesto uso no artesanato e há poucos dados disponíveis sobre sua composição química e suas propriedades nutricionais, tecnológicas e medicinais, exceto por alguns trabalhos (DA SILVA *et al.*, 2019). Alguns trabalhos foram citados na literatura contendo estudos da casca, conforme demonstra a Tabela 2.

Tabela 4 - Estudos sobre a casca do fruto do Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.)

Extrato / Composto(s) identificado(s)	Bioatividade/ Aplicação Biotecnológica	Modelo experimental	Principais achados	Ref.
Óleo essencial (OE) obtido por hidrodestilação; diterpenos ácido zanzibárico e ácido isoozico, e do sesquiterpeno caryolane-1,9 ÿ-diol	Potencial larvicida contra <i>Aedes aegypti</i>	Análise instrumental - Cromatografia Gasosa (CG) com Detector de Ionização de Chama, <i>in vivo</i>	O OE da casca do fruto maduro apresentou atividade larvicida mais forte do que OE da casca do fruto verde, possivelmente pela maior concentração de sesquiterpenos oxigenados na primeira amostra.	AGUIAR <i>et al.</i> , 2010
Óleo essencial obtido por hidrodestilação; sesquiterpenos como (Z)- β -cariofileno, Germacreno-D, óxido de cariofileno	Potencial antimicrobiano contra cepas de <i>Staphylococcus aureus</i>	Análise instrumental por CG/ Espectrofotômetro de Massas (EM); <i>in vivo</i>	O óleo essencial demonstrou atividade microbiana e efeito modulador sinérgico contra o patógeno quando associado a antibióticos de uso clínico	SALES <i>et al.</i> , 2014
Extrato obtido por CO ₂ supercrítico; ácido málico, ácido quínico, dihidroquercetina ramnósido, glicosídeo de diidrocaempferol	Determinação dos compostos fenólicos e otimização da obtenção dos extratos	Análise instrumental (Cromatografia em Camada Delgada - CCD) e método de Folin-Denis	O rendimento máximo de extração registrado foi de 24%, com alta atividade antioxidante e concentração de compostos fenólicos de 335 mg TAE/g	VEGGI <i>et al.</i> , 2014
Extrato hidroetanólico, compostos fenólicos (CF)	Otimização da recuperação de CF	Análise instrumental; <i>in vitro</i>	As condições ótimas de extração foram obtidas com o solvente etanol a 60% sob 64,18 °C e tempo de extração de 71,93 min	DA SILVA <i>et al.</i> , 2019

Carvão ativado de hidróxido de potássio (KOH)	Potencial adsorção para remoção de fármacos de solução aquosa	Análise instrumental (espectrofotômetro UV/Vis); <i>in vitro</i>	Estudos de adsorção mostraram a eficiência na adsorção das moléculas xenobióticas-alvo; o biomaterial pode ser utilizado muitas vezes, e, mesmo após a exaustão completa, reutilizado devido ao alto teor de nitrogênio	SPESSAT O <i>et al.</i> , 2019
Óleo essencial (OE) obtido por hidrodestilação rico em germacreno-D, (Z) - β -cariofileno, óxido de cariofileno e α -copaeno	Potencial larvicida contra <i>Aedes aegypti</i> e toxicidade	Análise instrumental (CG/EM); <i>in vivo</i>	O OE demonstrou atividade larvicida (concentração Letal 50 inferior a 100 mg L ⁻¹) e foi classificado como atóxico, ou seja, virtualmente seguro para aplicações em produtos para o consumo humano	EVERTON <i>et al.</i> , 2020
Extratos hexano, diclorometano, metanol e etanol obtidos via maceração a frio; antocianidinas, chalconas, leucoantocianidina, catequinas e saponinas	Atividade antioxidante; ingrediente de sabonete artesanal	Análise instrumental (CCD); <i>in vitro</i>	Os extratos ricos em compostos bioativos apresentaram potencial antioxidante no ensaio do DPPH. A potencial aplicabilidade dos mesmos como ingredientes na produção de sabonete artesanal foi indicada por bons resultados em ensaios tecnológicos.	CABRAL; CASTRO; YAMAGUCHI, 2022

Fonte: Autor, 2023.

Aguiar *et al.*, (2010) foram pioneiros na investigação do óleo essencial (OE) da casca do fruto de *H. courbaril* e reportaram sua atividade larvica contra *Aedes aegypti*. Sequencialmente, Sales *et al.* (2014) avaliaram a atividade antimicrobiana da tintura da casca e verificaram que o mesmo possui uma boa atividade antimicrobiana contra a bactéria Gram-positiva *Staphylococcus aureus*, com efeito modulador sinérgico quando associado a antibióticos de uso clínico. Da mesma forma, da Silva *et al.* (2022) verificaram o potencial inibitório da tintura da casca do Jatobá com resultados significativos contra *E. coli*.

Everton *et al.*, (2020) quantificaram o teor fenólico total (490,353 mg g⁻¹) e verificaram a ausência de toxicidade e atividade larvica do OE das vagens do Jatobá contra o *A. aegypti*. Os autores identificaram 28 diferentes fitoquímicos neste material, onde os majoritários foram o germacreno-D (17,61%), (Z)- β -cariofileno (17,56%), óxido de cariofileno (14,65%) e α -copaeno (8,46%).

Sabe-se que o alto teor de compostos fenólicos nos extratos de Jatobá se deve principalmente à presença de procianidinas (VEGGI *et al.*, 2014). Da Silva *et al.* (2019) utilizaram a metodologia de superfície de resposta (MSR) para otimizar a recuperação de compostos fenólicos da casca do Jatobá, investigando a relação de amostra-solvente, tempo e temperatura adequada. O etanol solvente etanol sob 64,18 °C e tempo de extração de 71,93 min permitiu a extração de 32,424 mg EAG/g MS de compostos fenólicos totais e 1,206 mg ERT/g MS de flavonoides totais. Veggi *et al.*, (2014) estudaram a extração de polifenóis da casca do caule do Jatobá e verificaram que a extração com fluido supercrítico usando CO₂ e água (9: 1, v/v), a 323 K e 35 MPa, apresentou os melhores resultados, com rendimento de extrato de 24%, e com alta atividade antioxidante (IC₅₀ = 0,2 mg/cm³).

Os autores CABRAL; CASTRO; YAMAGUCHI, (2022) estudaram a aplicabilidade da casca da vagem do Jatobá em composição de sabonete artesanal, na qual detectam compostos de antocianidinas, chalconas, leucoantocianidina, catequinas e saponinas, que eles caracterizam por ser os responsáveis pelas inúmeras propriedades fitoquímicas, terapêuticas, farmacológicas, antifúngicas relatadas a essa espécie.

Com base nos estudos contidos na literatura, o biorresíduo do Jatobá possui gama de aplicabilidades industriais. A aplicação de matérias-primas naturais é considerada uma vantagem econômica, visto que o Brasil possui colossal diversidade. Neste contexto, surge a demanda por pesquisas que identifiquem potenciais de novas matrizes vegetais brasileiras, e o estímulo para o desenvolvimento de produtos inovadores (DAUDT *et al.*, 2015). Esta busca envolve uma integração interdisciplinar de física, química e biologia, visando o estudo

aprofundado das propriedades das plantas, para aplicações como corantes naturais (CABRAL; CASTRO; YAMAGUCHI, 2022) e óleos vegetais fixos/essenciais (EVERTON *et al.*, 2020; AGUIAR *et al.*, 2010). Abordagens de extração verde podem aumentar a relevância econômica dos produtos naturais (VEGGI *et al.*, 2014). Técnicas ecologicamente corretas aliadas às matrizes naturais prolíficas, como é o caso do biorresíduo de *H. courbaril*, podem resultar em formulações bioativas de alto interesse industrial (TORRES *et al.*, 2022). Ao adotar solventes verdes em processos de extração pode aumentar a ecoeficiência da cadeia produtiva da espécie, pois se tratam de solventes seguros, sem toxicidade e sustentáveis (CHEMAT *et al.*, 2017).

Nesse sentido, a extração sólido-líquido pode ser otimizada pela inclusão de solventes verdes, proporcionando maiores rendimentos, com redução do tempo de extração e consumo de solvente, promovendo a recuperação de subprodutos e resíduos, e a valorização de materiais de origem biológica para a produção de uma ampla gama de produtos sustentáveis (CHEMAT *et al.*, 2017; VIEIRA *et al.*, 2020).

3.1.2 Solvente verde

Solventes são substâncias que dissolvem outras substâncias (soluto), possuindo uma extensa gama de utilização no ramo industrial, variando desde a produção de produtos químicos, farmacêuticos, tintas, cosméticos, alimentos e principalmente na produção de extratos vegetais, ou seja, os solventes desempenham um papel crucial, permitindo a extração de compostos. No entanto, muitos dos solventes convencionais usados nessas aplicações são tóxicos, voláteis e apresentam riscos para a saúde humana e o meio ambiente (LAURINTINO *et al.*, 2019).

A literatura descreve cinco etapas para o processo geral de produção de um extrato vegetal a partir de uma matriz alimentar, como, por exemplo, um resíduo agroindustrial: (1) pré-tratamento macroscópico da matriz; (2) separação de moléculas; (3) extração de moléculas-alvo; (4) purificação; e (5) formação de produtos. Dentre estas, a extração é a etapa mais importante. (GALANAKIS, 2012).

A escolha incorreta do solvente pode ocasionar co-extração de moléculas indesejáveis, alterar a pureza dos compósitos e ainda deve se levar em consideração a toxicidade e segurança do processo. Neste sentido, tem-se notado nas últimas décadas, um movimento significativo com relação a preocupações sobre impactos ambientais dos solventes tradicionais. Por exemplo, na década de 70, utilizava-se em grande escala os

clorofluorcarbonetos (CFC) que são substâncias químicas sintéticas aplicáveis em desodorantes aerossol, máquinas de refrigeração e extração de compostos. Estas substâncias impactam a camada de ozônio e, portanto, foram banidas dos processos de produção do Brasil por meio do Plano Nacional de Eliminação de CFCs (PNC), aprovado em julho de 2002 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002; TORRES *et al.*, 2022).

O solvente utilizado na etapa de extração pode influenciar de modo significativo na eficiência da extração, pois, os variados tipos de solventes possuem afinidades e compatibilidades variadas aos tipos de compostos alvo, interferindo também no rendimento das amostras (PENIDO; NUNES; DOS SANTOS, 2022).

A extração com solventes convencionais ainda é a técnica mais difundida em escala industrial para extrair compostos bioativos de matrizes vegetais entre diferentes fases (isto é, sólido, líquido e vapor) (GALANAKIS, 2012). Se trata de uma técnica simples, de baixo custo, sendo possível realizar extrações simultâneas. No entanto, este método pode se basear no processo de aquecimento que, embora auxilie a transferência de massa entre as diferentes fases, pode resultar na degradação de compostos termolábeis, sem mencionar o alto consumo de energia e solventes (CRISTOFOLI; VICTORIA, 2021).

Os solventes verdes (SV) são alternativas mais seguras e sustentáveis aos solventes convencionais. Eles são caracterizados por serem menos tóxicos, menos voláteis, derivados de fontes renováveis e facilmente recicláveis. O que significa que têm um impacto ambiental reduzido durante todo o seu ciclo de vida, desde a produção até o descarte (CRISTOFOLI; VICTORIA, 2021). São frequentemente vinculados ao conceito da química verde, que abrange o planejamento de processos químicos com o objetivo de minimizar a produção e o uso de substâncias prejudiciais ao meio ambiente (PATEIRO *et al.*, 2021).

Os tipos de SV são classificados pela base química, sendo os solventes de origem biológica como óleos, álcoois e ésteres e os solventes de base aquosa, que substituem os solventes orgânicos (PATEIRO *et al.* 2021). Ainda, os solventes com baixa volatilidade também são destacados. A ampla necessidade industrial por métodos sustentáveis facilita processo de aplicabilidade do mesmo (DE JESUS; MACIEL FILHO, 2020).

Os SV mais populares são a água e suas misturas com o etanol. Considerando características como fácil acesso, baixo custo e segurança para uso humano, estes são amplamente empregados em métodos de extração de compostos bioativos vegetais (BEZERRA *et al.*, 2020).

Nos últimos anos, diversos autores investigaram a performance de solventes verdes em processos de recuperação de bioativos a partir de resíduos agroalimentares (SHIN *et al.*, 2019; DE PAULA LAIDENS *et al.*, 2020; TANAKA *et al.*, 2021; BEZERRA *et al.*, 2022; DA SILVA *et al.*, 2022; KUGLER, *et al.*, 2023; INUMARO *et al.*, 2023), comumente aliando aos SV abordagens emergentes de extração baseadas em processos não-térmicos (TANAKA *et al.*, 2021; KUGLER, *et al.*, 2023; INUMARO *et al.*, 2023) (Tabela 3).

Tabela 3 – Solventes verdes na extração de extratos de matrizes vegetais

Planta e parte estudada	Método de extração	Solvente utilizado	Principais achados	Ref.
Raiz e folhas de lótus (<i>Nelumbo nucifera</i>)	Maceração	Etanol	A capacidade antioxidante pelo método DPPH demonstrou que o extrato retardou efetivamente a oxidação lipídica aplicados a hambúrguer suínos	SHIN <i>et al.</i> , 2019
Sementes de linhaça (<i>Linum usitatissimum</i>)	Baixa pressão	Etanol	As condições ótimas de extração foram registradas para a razão solvente/semente de 12 mL g ⁻¹ , temperatura de 60 °C e tempo de 120min.	DE PAULA LAIDENS <i>et al.</i> , 2020
Sementes de café (<i>Coffea arabica</i>)	Extração assistida por banho ultrassônico	Etanol	Rendimento de 5,95% no processo de recuperação de óleo de café verde por etanol 25%.	TANAKA <i>et al.</i> , 2021
Casca de abacate (<i>Persea americana</i>)	Maceração	Etanol, água destilada, ácido láctico e glicerina	Dentre os solventes testados a para os avaliar o potencial de atividade antioxidante (DPPH e ABTS) a glicerina teve os melhores resultados .	BEZERRA <i>et al.</i> , 2022
Folhas de erva mate (<i>Ilex paraguariensis</i>)	Alta pressão	Água destilada, etanol, metanol, glicerina e ácido láctico	Os melhores resultados foram para H ₂ O + glicerina (50%) para método DPPH e ABTS.	DA SILVA <i>et al.</i> , 2022
Sementes de cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	Extração assistida por banho ultrassônico	Etanol	Quanto maior o tempo de extração e maior a proporção solvente/amostra, maior é o teor de óleo recuperado.	KUGLER, <i>et al.</i> , 2023
Resíduo de cone de lúpulo (<i>Humulus lupulus</i>)	Extração por fluido supercrítico	Etanol	As condições ótimas de extração foram definidas: 40 °C, 10 MPa e 5 ou 10% de etanol.	INUMARO <i>et al.</i> , 2023

Fonte: Autor, 2024.

Nos últimos anos, as tecnologias limpas amplamente associadas aos solventes verdes estão atraindo cada vez mais o interesse da indústria, devido ao seu potencial para recuperar de forma eficaz e sustentável compostos de alto valor agregado com menos energia consumida (BARBA *et al.*, 2016). São exemplos de abordagens mais limpas: extração por pressão negativa (ZHANG *et al.*, 2015; TIAN *et al.*, 2015); extração supercrítica com CO₂ (BASEGMEZ *et al.*, 2017); extração líquida pressurizada (JENTZER *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2016); extração com água subcrítica (ZAKARIA; KAMAL, 2016; NAFFATI *et al.*, 2017); extração assistida por ultrassom (CORBIN *et al.*, 2015; ESPADABELLIDO *et al.*, 2017), e extração por membranas filtrantes (CASTRO-MUÑOZ *et al.*, 2016).

Apesar dos métodos supracitados garantirem menor impacto ambiental, devido à menor geração de resíduos, menor consumo de energia, de solventes e grande eficiência na recuperação de compostos de interesse, ainda, apresentam alto custo operacional e difícil aplicação em grande escala quando comparados aos métodos tradicionais de extração (CORBIN *et al.*, 2015). No entanto, ainda que se aplique uma metodologia convencional de extração, a substituição de solventes tradicionais potencialmente tóxicos por solventes verdes torna o processo sustentável e pode ser igualmente benéfico (ROSELLÓ-SOTO *et al.*, 2018).

3.1.3 Extração por maceração em *shaker*

Para obter compostos bioativos de materiais vegetais, comumente são utilizadas técnicas de separação sólido-líquido com o auxílio de solventes. Entre as técnicas utilizadas, destacam-se a maceração em *shaker*, que envolve a imersão do material de interesse no solvente adequado seguido de agitação. Esta abordagem é particularmente útil na extração de compostos bioativos de matrizes vegetais, como polifenóis, flavonoides e outros compostos fenólicos, devido à sua simplicidade e eficácia (ROSELLÓ-SOTO *et al.*, 2018).

Roselló-Soto *et al.*, (2018) utilizou método para extração de antioxidantes bioativos do subproduto da “Horchata de Chufa”, bebida vegetal típica da Espanha, e conclui ser uma fonte importante de compostos bioativos com capacidade antioxidante de 1759,81 µM equivalentes de Trolox/g dm com solvente etanol 505. Utilizando a metodologia de maceração como referência, no estudo foi observado a redução de 18,58% e 5,71% para o teor de flavonoides e atividade antioxidante, respectivamente para métodos não-convencionais, sendo a extração assistida por ultrassom (MILOMES, 2022).

No entanto, é importante ressaltar que a eficiência da extração convencional pode ser influenciada por vários fatores, como o tipo de solvente utilizado, a relação sólido-líquido, a temperatura e o tempo de agitação. Portanto, é essencial otimizar esses parâmetros para maximizar o rendimento e a qualidade dos extratos obtidos (PIECHOWIAK *et al.*, 2020)

Contudo, tem-se que, ao utilizar métodos de extração que extinguem solventes tóxicos e consomem menos energia, a maceração em shaker pode ser considerada uma forma de abordagem ecológica para obtenção de matrizes vegetais, diante de sua aplicabilidade e custo benefício. (PIECHOWIAK *et al.*, 2020; ROSELLÓ-SOTO *et al.*, 2018).

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. C. D; SANTIAGO, G. M. P.; LAVOR, P. L.; VERAS, H. N. H.; FERREIRA, Y. S.; LIMA, M. A. A.; ARRIAGA, Â. M. C.; LEMOS, T. L. G.; LIMA, J. Q.; DE JESUS, H. C. R.; ALVES, P. B.; BRAZ-FILHO, R. Chemical constituents and larvicidal activity of *Hymenaea courbaril* fruit peel. **Natural Product Communications**, v. 5, n. 12, p. 1977-1980, 2010. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB11.1152>
- ALEIXO, Á. A., CAMARGOS, VN, HERRERA, KMS, ANDRADE, ACDSP, DOS SANTOS, M., MIRANDA, VC, & FERREIRA, JMS. Atividade sinérgica de *Hymenaea courbaril* L. e *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville contra cepas de bactérias multirresistentes. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 9, n. 26, pág. 741-748, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5897/JMPR2014.5502>
- ANAYA-GIL, J., RAMOS-MORALES, P., MUÑOZ-HERNANDEZ, A., BERMÚDEZ, A., & GOMEZ-ESTRADA, H. In vivo evaluation of the toxic activity and genotoxicity of the *Hymenaea courbaril* L.'s resin in *Drosophila melanogaster*. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 1, p. 480-488, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.005>
- ARRUDA, I. R., ALBUQUERQUE, P. B., SANTOS, G. R., SILVA, A. G., MOURÃO, P. A., CORREIA, M. T., & CARNEIRO-DA-CUNHA, M. G. Structure and rheological properties of a xyloglucan extracted from *Hymenaea courbaril* var. courbaril seeds. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 73, p. 31-38, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.11.001>
- BARBA, F. J.; ZHU, Z.; KOUBAA, M.; SANT'ANA, A. S.; ORLIEN, V. Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and by-products: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 49, p. 96-109, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.006>
- BASEGMEZ, H. I. O.; POVILAITIS, D.; KITRYTĖ, V.; KRAUJALIENĖ, V.; ŠULNIŪTĖ, V.; ALASALVAR, C.; VENSKUTONIS, P. R. Biorefining of blackcurrant pomace into high value functional ingredients using supercritical CO₂, pressurized liquid and enzyme assisted extractions. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 124, p. 10–19, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.01.003>
- BEZERRA, GP, DA SILVA GÓIS, RW, DE BRITO, TS, DE LIMA, FJB, BANDEIRA, MAM, ROMERO, NR, & SANTIAGO, GMP Phytochemical study guided by the myorelaxant activity of the crude extract, fractions and constituent from stem bark of *Hymenaea courbaril* L. **Journal of ethnopharmacology**, v. 149, n. 1, p. 62-69, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.05.052>
- BEZERRA, RAD, DA SILVA, NM, TUZZI, BF, DE MARCHI, FE, FEIHRMANN, AC, & DOS SANTOS, GT. Extração de compostos fenólicos e atividade antioxidante da casca de abacate (*Persea americana* Mill) através de diferentes solventes. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 13, pág. e480111335602-e480111335602, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i13.356021>

BRITO, M. S. D., MELO, M. B., ALVES, J. P. D. A., FONTENELLE, R. O. D. S., MATA, M. F., & ANDRADE, L. B. D. S. Partial purification of trypsin/papain inhibitors from *Hymenaea courbaril* L. seeds and antibacterial effect of protein fractions. **Hoehnea**, v. 43, p. 11-18, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-8906-23/2015>

BONIFACE, P. K.; FERREIRA, S. B.; KAISER, C. R. Current state of knowledge on the traditional uses, phytochemistry, and pharmacology of the genus *Hymenaea*. **Journal of ethnopharmacology**, v. 206, p. 193-223, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.05.024>

BOSILJKOV, T.; DUJMIĆ, F.; BUBALO, M. C.; HRIBAR, J.; VIDRIH, R.; BRNČIĆ, M.; JOKIĆ, S. Natural deep eutectic solvents and ultrasound-assisted extraction: Green approaches for extraction of wine lees anthocyanins. **Food and bioproducts processing**, v. 102, p. 195–203, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.12.005>

CABRAL, D. DOS S., CASTRO, G. DOS S., & YAMAGUCHI, K. Prospecção fitoquímica do fruto de jatobá da Amazônia (*Hymenaea corbaril* L.) e elaboração de um sabonete artesanal. **Agri-environmental sciences**, v. 8 (1), p. 12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v8i1.6873>

CÂMARA, J. S.; ALBUQUERQUE, B. R.; AGUIAR, J.; CORRÊA, R. C.; GONÇALVES, J. L.; GRANATO, D.; PEREIRA, J. A. M.; BARROS, L.; FERREIRA, I. Food Bioactive Compounds and Emerging Techniques for Their Extraction: Polyphenols as a Case Study. **Foods**, v.10, n.1, p. 37, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10010037>

CARVALHO, A. A., VIEIRA, M. S., SANTANA, N. L. N., BORGES, R. F., BORGES, R. B. R., SILVEIRA, M. F. A., & DE SOUZA, A. R. M. Desenvolvimento de bala dura a partir da polpa de Jatobá (*Hymenaea stigonocarpa* Mart). **Scientific Electronic Archives**, v. 14, n. 6, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36560/14620211294>

CASTRO-MUÑOZ, R.; YÁÑEZ-FERNÁNDEZ, J.; FÍLA, V. Phenolic compounds recovered from agro-food by-products using membrane technologies: An overview. **Food Chemistry**, v. 213, p. 753 - 762, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.030>

CHEMAT, F., ROMBAUT, N., SICAIRE, A. G., MEULLEMIESTRE, A., FABIANO-TIXER, A. S., & ABERT-VIAN, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. **Ultrasonic Sonochemistry**, v. 34, p. 540–560, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>

CONCEIÇÃO, N.; ALBUQUERQUE, B. R.; PEREIRA, C.; CORRÊA, R. C.; LOPES, C. B.; CALHELHA, R. C.; ALVES, M. J.; BARROS, L.; FERREIRA, I. By-Products of Camu-Camu [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh] as Promising Sources of Bioactive High Added-Value Food Ingredients: Functionalization of Yogurts. **Molecules**, v.25, n.1, p.70, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25010070>

CONTATO, A. G., DE OLIVEIRA, T. B., ARANHA, G. M., DE FREITAS, E. N., VICI, A. C., NOGUEIRA, K. M. V., & POLIZELI, M. D. L. T. D. M. Prospection of fungal lignocellulolytic enzymes produced from jatoba (*Hymenaea courbaril*) and tamarind

(*Tamarindus indica*) seeds: Scaling for bioreactor and saccharification profile of sugarcane bagasse. **Microorganisms**, v. 9, n. 3, p. 533, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030533>

CORBIN, C.; FIDEL, T.; LECLERC, E. A.; BARAKZOY, E.; SAGOT, N.; FALGUIÉRES, A.; HANO, C. Development and validation of an efficient ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from flax (*Linum usitatissimum* L.) seeds. *Ultrasonics Sono chemistry*, v. 26, p. 176–185, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.02.008>

CORRÊA, R. C. G.; GARCIA, J. A. A.; CORREA, V. G.; VIEIRA, T. F.; BRACHT, A.; PERALTA, R. M. Pigments and vitamins from plants as functional ingredients: Current trends and perspectives. **In Advances in food and nutrition research**, v.90, p. 259-303, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.003>

CRISTOFOLI, N. L., & VICTORIA, F. N. Compostos bioativos obtidos de subprodutos vegetais com propriedades antimicrobianas. **Mérida Publishers**, p. 60-75, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-3-8.c5>

DA SILVA, R. W. V. D., MARTINS, G. M. G., NASCIMENTO, R. A. D., VIANA, A. F. D. S., AGUIAR, F. S. D., & SILVA, B. A. D. Uso da metodologia de superfície de resposta na otimização da extração de compostos fenólicos da casca dos frutos de *Hymenaea courbaril* L. (Jatobá). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.08918>

DA SILVA, IP, LINS, FA, DOS SANTOS COSTA, L., DE CABRAL SOBREIRA, AL, & DE SOUZA, JBP. Tintura de jatobá (*Hymenaea* sp.): aspectos físico-químicos de qualidade e avaliação da atividade antimicrobiana. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 6, pág. e 11111628865-e11111628865, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i6.28865>

DA SILVA, NM, DE CAMPOS, TAF, DE MARINS, AR, DA SILVA GOMES, E., MATIUCCI, MA, DE SOUZA, MLR, & FEIHRMANN, AC. Avaliação de diferentes solventes combinados a técnica de alta pressão para proteção de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante da erva-mate (*Ilex paraguariensis*). **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 6, pág. e 43211629163-e43211629163, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i6.29163>

DA SILVA OLIVEIRA, F. G. S.; ROLIM, L. A.; BARBOSA-FILHO, J.M.; ALMEIDA, J. R. G. S. The Genus *Hymenaea* (Fabaceae): A Chemical and Pharmacological Review. *Studies in natural products chemistry*. **Elsevier**, p. 339-388, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.18718>

DAS MERCÊS, P. F. F., DA SILVA-BESSA, C. M. A., MALAFAIA, C. B., DE CÂMARA, C. A. G., DA SILVA, M. M. C., NAVARRO, D. M. D. A. F., & OLIVA, M. L. V. Caracterização fitoquímica e avaliação do potencial acaricida e inseticida do óleo essencial de *Hymenaea courbaril* L. var. *courbaril* sobre o ácaro-rajado e o gorgulho do milho. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 417-428, 2018. DOI: [10.24221/jeap.3.4.2018.2061.417-428](https://doi.org/10.24221/jeap.3.4.2018.2061.417-428)

DAUDT RM, BACK PI, CARDOZO NS, MARCZAK LD, KÜLKAMP-GUERREIRO IC. Pinhão starch and coat extract as new natural cosmetic ingredients: Topical formulation stability and sensory analysis. **Carbohydr Polym.** P. 134-173, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.08.03>

DE JESUS, SS, & MACIEL FILHO, R. Recent advances in lipid extraction using green solvents. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 133, p. 110289, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110289.O>

DELGADO, C., MENDEZ-CALLEJAS, G., & CELIS, C. Caryophyllene oxide, the active compound isolated from leaves of *Hymenaea courbaril* L. (Fabaceae) with antiproliferative and apoptotic effects on pc-3 androgen-independent prostate cancer cell line. **Molecules**, v. 26, n. 20, p. 6142, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26206142>

DE MENEZES FILHO, A. C. P., DE OLIVEIRA FILHO, J. G., & DE SOUZA CASTRO, C. F. Avaliações antioxidante e antifúngica dos óleos essenciais de *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne e *Hymenaea courbaril* L. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 2, p. 104-114, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v8n2.menezes>

DE MENEZES FILHO, A. C. P., DA SILVA, M. A., PEREIRA, A. V., DE OLIVEIRA FILHO, J. G., & DE SOUZA CASTRO, C. F. Parâmetros físico-químicos, tecnológicos, atividade antioxidante, conteúdo de fenólicos totais e carotenóides das farinhas dos frutos do jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne). **Multi-Science Journal**, v. 2, n. 1, p. 93-100, 2019. DOI: <https://doi.org/10.33837/msj.v2i1.900>

DE PAULA LAIDENS, C., POSTAUE, N., STEVANATO, N., & DA SILVA, C. Extração a baixa pressão do óleo de sementes de linhaça utilizando etanol como solvente. **E-xacta**, v. 12, n. 2, pág. 1-10, 2020. DOI: [10.18674/exacta.v12i2.2736](https://doi.org/10.18674/exacta.v12i2.2736)

DE SOUSA BEZERRA, F., DA COSTA, D. F., & KOBLITZ, M. G. B. Aproveitamento integral de matérias-primas oleaginosas com “solventes verdes”: Revisão e oportunidades. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e372985388-e372985388, 2020. DOI: [http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5388](https://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5388)

DE SOUZA ROCHA, AF, VITORINO, LC, BESSA, LA, COSTA, RRGF, DA SILVA BRASIL, M., & SOUCHIE, EL. Parâmetros do solo afetam a diversidade funcional da microbiota simbiótica de *Hymenaea courbaril* L., uma frutífera neotropical. **Rizosfera**, v. 16, p. 100237, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100237>

DE VERAS, BO, DE OLIVEIRA, MBM, DA SILVA OLIVEIRA, FG, DOS SANTOS, YQ, DE OLIVEIRA, JRS, DE MENEZES LIMA, VL, & DE SOUZA LOPES, AC. Chemical composition and evaluation of antinociceptive and antioxidant properties and antimicrobials from the essential oil of *Hymenaea cangaceira* (Pinto, Mansano & Azevedo) native to Brazil: A natural medicine. **Journal of ethnopharmacology**, v. 247, p. 112265, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112265>

DOS SANTOS, NMC, DA COSTA, VAM, DE ARAÚJO, FV, ALENCAR, BTB, RIBEIRO, VHV, OKUMURA, F., & DOS SANTOS, JB. Phytoremediation of Brazilian tree species in soils contaminated by herbicides. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 27, pág. 27561-27568, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2798-0>

ESPADA-BELLIDO, E.; FERREIRO-GONZÁLEZ, M.; CARRERA, C.; PALMA, M., BARROSO, C. G.; BARBERO, G. F. Optimization of the ultrasound-assisted extraction of anthocyanins and total phenolic compounds in mulberry (*Morus nigra*) pulp. **Food Chemistry**, v. 219, p. 23–32, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.122>

EVERTON, GO, MAFRA, NSC, SALES, EH, ROSA, PVS, DOS SANTOS FARIAS, WK, PINHEIRO, FS, & MOUCHREK FILHO, VE. Óleo essencial das cascas descartadas do fruto de *Hymenaea courbaril* L. como larvicida frente *Aedes aegypti*. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 10, pág. e 1389108437-e1389108437, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8437>

FARIAS, K. S.; AUHAREK, S. A.; CUNHA-LAURA, A. L.; DE SOUZA, J. M. E.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; TOFFOLI-KADRI, M. C.; DE OLIVEIRA FILIÚ, W. F.; DOS SANTOS, E. DOS A.; CHANG, M. R.; CAROLLO, C. A. Adulteration and Contamination of Commercial Sap of *Hymenaea* Species. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, p.1–13, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.016>

FERNÁNDEZ, M. L. A.; ESPINO, M.; GOMEZ, F. J.; SILVA, M. F. Novel approaches mediated by tailor-made green solvents for the extraction of phenolic compounds from agro-food industrial by products. **Food Chemistry**, v. 239 p. 671–678, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.150>

GALANAKIS, C. M. Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional emerging technologies and commercialized applications. **Trends in Food Science & Technology**. v. 26 p. 68-87. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.03.003>

GARCÍA, A.; RODRÍGUEZ-JUAN, E.; RODRÍGUEZ-GUTIÉRREZ, G.; RIOS, J. J.; FERNÁNDEZ-BOLAÑOS, J. Extraction of phenolic compounds from virgin olive oil by deep eutectic solvents (DESs). **Food Chemistry**, v.197, p. 554–561, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.131>

INUMARO, RS, CASALVARA, RFA, CORRÊA, RCG, BARROS, L., PEREIRA, C., CALHELHA, RM, & CARDOZO-FILHO, L. Supercritical fluid-assisted extraction of hop cone residue from craft breweries. **Journal of CO₂ Utilization**, v. 72, p. 102498, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2023.102498>

JENTZER, J. B.; ALIGNAN, M.; VACA-GARCIA, C.; RIGAL, L.; VILAREM, G. Response surface methodology to optimise Accelerated Solvent Extraction of steviol glycosides from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. **Food Chemistry**, v. 166, p. 561–567, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.078>

KUGLER, LV, PENTEADO, ME, BENÇAL, GT, LEITE, PDSG, & DA ROCHA WATANABE, ERL. Extração assistida por banho ultrassônico de óleo de sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) utilizando etanol como solvente. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 9, n. 9, pág. 27383-27390, 2023. DOI: [10.34117/bjdv9n9-120](https://doi.org/10.34117/bjdv9n9-120)

LAURINTINO, T. K. S., LAURINTINO, T. N. S., & BOLZAN, A. Obtenção por extração supercrítica do extrato de *Mentha spicata* L. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 8, p. 12004-12009, 2019. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n8-057>

MCCOY, V. E.; BOOM, A.; KRAEMER, M. M. S.; GABBOTT, S. E. The chemistry of American and African amber, copal, and resin from the genus *Hymenaea*. **Organic Geochemistry**, v. 113, p. 43-54, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2017.08.005>

MILOMES, L., G.I.M. **Extração assistida por ultrassom de alta intensidade de compostos bioativos do resíduo da cebola (*Allium cepa* L.)**. 2022. Dissertação (mestrado em Engenharias de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1268468>. Acesso em: 10/10/2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Eliminação de CFCs (PNC)**. Brasília, 2002. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/protecao-da-camada-de-ozonio/acoes-brasileiras-para-protecao-da-camada-de-ozonio/plano-nacional-de-elimina%C3%A7%C3%A3o-de-cfcs-pnc.html>. Acesso em: dez 2023.

MECÊDO, MJF, RIBEIRO, DA, SANTOS, MDO, MACÊDO, DGD, MACEDO, JGF, ALMEIDA, BVD, & SOUZA, MMDA. Fabaceae medicinal flora with therapeutic potential in Savanna areas in the Chapada do Araripe, Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 28, p. 738-750, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.06.010>

MOREIRA, A., MOREIRA, A. C., BUENO, E., AZEVEDO, L., & DINIZ, V. Biometria de frutos e sementes e emergência de plântulas de duas espécies do gênero *Hymenaea* (Fabaceae). **Enciclopédia biosfera**, v. 16, n. 29, 2019. DOI: [10.18677/EnciBio.2019A32](https://doi.org/10.18677/EnciBio.2019A32)

NAFFATI, A.; VLADIĆ, J.; PAVLIĆ, B.; RADOSAVLJEVIĆ, R.; GAVARIĆ, A.; VIDOVIĆ, S. Recycling of filter tea industry by-products: Application of subcritical water extraction for recovery of bioactive compounds from *A. uva-ursi* herbal dust. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 121, p. 1–9, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.11.010>

OLIVEIRA, G.S. FERNANDA. The Genus *Hymenaea* (Fabaceae): A Chemical and Pharmacological Review. Studies in natural products chemistry. **Elsevier**, p. 339-388, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-64056-7.00012-X>

OLIVEIRA, D. A.; ANGONESE, M.; GOMES, C.; FERREIRA, S. R. Valorization of passion fruit (*Passiflora edulis* sp.) by products: Sustainable recovery and biological activities. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 111 p. 55–62, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.01.010>

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: jan de 2024.

PATEIRO, M., GÓMEZ-SALAZAR, JA, JAIME-PATLÁN, M., SOSA-MORALES, ME, & LORENZO, JM. Plant extracts obtained with green solvents as natural antioxidants in fresh meat products. **Antioxidants**, v. 10, n. 2, p. 181, 2021. DOI: [http://dx.doi.org/10.3390/antiox10020181](https://dx.doi.org/10.3390/antiox10020181)

PENIDO, R., NUNES, R., & DOS SANTOS, E. N. Solventes sustentáveis para processos químicos. **Revista Virtual de Química**, v. 14, n. 3, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20220085>

PEREIRA SANTOS, A. C., MARTINS ALVES, A., VELOSO NAVES, M. M., & REIS SILVA, M. Nutritional profile, bioactive compounds and antioxidant capacity of jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril*, var. *stilbocarpa*) by product. **Rev. chil. nutr.**, p. 366-371, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000300366>

PIECHOWIAK, T., GRZELAK-BŁASZCZYK, K., BONIKOWSKI, R., & BALAWEJDER, M. Optimization of extraction process of antioxidant compounds from yellow onion skin and their use in functional bread production. **LWT**, v. 117, p. 108614, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108614>

RIBEIRO, T. G., CHÁVEZ-FUMAGALLI, M. A., VALADARES, D. G., FRANCA, J. R., LAGE, P. S., DUARTE, M. C., & CASTILHO, R. O. Antileishmanial activity and cytotoxicity of Brazilian plants. **Experimental parasitology**, v. 143, p. 60-68, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2014.05.004>

REN, F., NIAN, Y. E PERUSSELLO, CA. Effect of storage, food processing and novel extraction technologies on onions flavonoid content: A review. **Food Research International**, v. 132, p. 108953, 2020. DOI: [10.1016/j.foodres.2019.108953](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108953)

ROSELLÓ-SOTO, E.; BARBA, FJ; PUTNIK, P.; BURSAĆ KOVAČEVIĆ, D.; LOURENÇO, JM; CANTAVELLA-FERRERO, Y. Enhancing Bioactive Antioxidants' Extraction from "Horchata de Chufa" By-Products. **Plants**, v.161, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods7100161>

SALES, G. W. P.; BATISTA, A. H. M.; ROCHA, L. Q.; NOGUEIRA, N. A. P. Efeito antimicrobiano e modulador do óleo essencial extraído da casca de frutos da *Hymenaea courbaril* L. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 35, n. 4, 2014. Disponível em: <https://rcfba.fcfar.unesp.br/index.php/ojs/article/view/103/101>

SANTOS, H. L. L. R. D.; SOUZA, N.; MACEDO, N. R.; RAMOS, J. P. D. S.; DIAS JÚNIOR, A. F.; NASCIMENTO, A; Phytochemical Analysis of Extracts from the Atlantic Forest Wood Species. **Floresta e Ambiente**, v.26 (SPE1), p. 1-8, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.038118>

SCHWARTZ, G. Jatoba—*Hymenaea courbaril*. In: **Exotic Fruits**. Academic Press, p. 257-261, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00033-2>

SHIN, D.-J., CHOE, J., HWANG, K.-E., KIM, C.-J., & JO, C. Antioxidant effects of lotus (*Nelumbo nucifera*) root and leaf extracts and their application on pork patties as inhibitors of lipid oxidation, alone and in combination. **Food Additives & Contaminants: Part A**, 36(3), 383-394, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1588295>

SHIRAHIGUE, L. D.; CECCATO-ANTONINI, S. R. Agro-industrial wastes as sources of bioactive compounds for food and fermentation industries. **Ciência Rural**, v.50, n.4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190857>

SPERA, KD, FIGUEIREDO, PA, SANTOS, PC, BARBOSA, FC, ALVES, CP, DOKKEDAL, AL, & SILVA, RMD. Genotoxicity, anti-melanoma and antioxidant activities of *Hymenaea courbaril* L. seed extract. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201920180446>

SPESSATO, L., BEDIN, KC, CAZETTA, AL, SOUZA, IP, DUARTE, VA, CRESPO, LH, & ALMEIDA, VC. KOH-super activated carbon from biomass waste: Insights into the paracetamol adsorption mechanism and thermal regeneration cycles. **Journal of hazardous materials**, v. 371, p. 499-505, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.102>

TANAKA, VG, CARBONAR, HL, GABRIEL, LC, COQUEIRO, A., LEITE, PDSG, INGLEZ, SD, & DA ROCHA WATANABE, ERL. Extração de óleo de café verde utilizando banho ultrassônico. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 7, n. 8, pág. 83457-83466, 2021. DOI: [10.34117/bjdv7n8-516](https://doi.org/10.34117/bjdv7n8-516).

TIAGO, P. V., ROSSI, A. A. B., PEDRI, E., FERNANDES, J. M., TIAGO, A. V., & LIMA, J. A. Levantamento etnobotânico do jatobá (*Hymenaea courbaril* L., Fabaceae) no norte do estado de Mato Grosso, Brasil. **Gaia Scientia**, v. 13, n. 1, p. 80-90, 2019. DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2019v13n1.44089>

TIAGO, P. V., LAROCCA, D., SILVA, I. V. D., CARPEJANI, A. A., TIAGO, A. V., DARDENGO, J. D. F. E., & ROSSI, A. A. B. Caracterização morfoanatômica, fitoquímica e histoquímica de *Hymenaea courbaril* (Leguminosae), ocorrente na Amazônia Meridional. **Rodriguésia**, v. 71, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860202071063>

TIAN, H. LI, W. Y.; XIAO, D.; LI, Z. M.; WANG, J. W. Negative pressure cavitation extraction of secoisolariciresinol diglycoside from flaxseed cakes. **Molecules**, v. 20, p. 11076-11089, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules200611076>

TORRES, T. M. S., ÁLVAREZ-RIVERA, G., MAZZUTTI, S., SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, J. D., CIFUENTES, A., IBÁÑEZ, E., & FERREIRA, S. R. S. Neuroprotective potential of extracts from leaves of ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata*) recovered by clean compressed fluids. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 179, p. 105390, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105390>

VEGGI, P. C.; PRADO, J. M.; BATAGLION, G. A; EBERLIM, M. N.; MEIRELIS, A. A. Obtaining phenolic compounds from jatoba (*Hymenaea courbaril* L.) bark by supercritical fluid extraction. **The Journal of supercritical fluids**, v. 89, p. 68-77, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.02.016>

VIEIRA, L. M., SILVA, M. L. T., FERREIRA, B. L., POLMANN, G., BLOCK, J. M., NUNES, I. L., & FELTES, M. M. C. Caracterização de extratos antioxidantes de noz pecã (*Carya illinoensis*) obtidos por tecnologia limpa. **Avanços em Ciência E Tecnologia De Alimentos**. V. 4, p.55-72, 2020. DOI: <https://doi.org/10.37885/201102201>

ZAKARIA, S. M.; KAMAL, S. M. M. Subcritical Water Extraction of Bioactive Compounds from Plants and Algae: Applications in Pharmaceutical and Food Ingredients. **Food Engineering Reviews**, v. 8 p. 23–34, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9119-x>

ZHANG, D.; YAO, X.; DUAN, M.; LUO, M.; ZHAO, C.; ZU, Y.; FU, Y. An effective homogenate-assisted negative pressure cavitation extraction for the determination of phenolic compounds in pyrola by LC-MS/MS and the evaluation of its antioxidant activity. **Food & Function**, v. 6, p. 3323-3333, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5FO00727E>

4. ARTIGO

Article

Jatoba (*Hymenaea courbaril* L.) pod residue: a source of phenolic compounds as valuable biomolecules

Gabriela Lucca Del Angelo ¹, Isabela Silva de Oliveira ¹, Bianca Rodrigues de Albuquerque ^{2,3}, Tamires Barlati Vieira da Silva ⁴, Maria Inês Dias ^{2,3}, Ricardo C. Calhelha ^{2,3}, Natalia Ueda Yamaguchi ^{1,5}, Acácio Antonio Ferreira Zielinski ⁶, Lillian Barros ^{2,3}, Rosane Marina Peralta ⁴ and Rúbia Carvalho Gomes Corrêa ^{1,2,3,5,*}

¹ Postgraduate Program in Clean Technologies, Cesumar University - UNICESUMAR, Maringá, PR 87050-390, Brazil.

² Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal.

³ Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal.

⁴ Department of Biochemistry, State University of Maringá, Brazil

⁵ Cesumar Institute of Science, Technology and Innovation - ICETI, Maringá, PR 87050-390, Brazil.

⁶ Department of Chemical Engineering and Food Engineering, Federal University of Santa Catarina, C.P. 476, Florianópolis, SC 88040-900, Brazil

* Correspondence: rubia.correa@unicesumar.edu.br

Abstract:

The objective of this study was to investigate the chemical and bioactive profile of the Jatoba (*Hymenaea courbaril* L.) pod residue. An aqueous extract (deionized water; AE) and a hydroethanolic extract (ethanol: deionized water, 70:30 v/v; EE) were obtained via maceration. A total of ten phenolic compounds were tentatively identified via LC-DAD-ESI/MSn: seven procyanidins, two quercetin derivatives and one taxifolin derivative, with dimers and trimers of procyanidins being the main ones. components of both extracts. Total phenolic compound levels of 2.42 ± 0.06 and 11 ± 1 mg/g were verified for AE and EE, respectively; however, only seven compounds were identified in EE. The Jatoba pod residue showed notable antioxidant activity: EE had greater antioxidant potential in the OxHLIA and DPPH assays ($IC_{50} = 25.4$ μ g/mL and 0.71 μ g/mL, respectively); however, EA demonstrated greater potential in the FRAP system ($IC_{50} = 2001.0$ μ M TE/mg). Only AE showed antiproliferative potential, being effective against cell lines of gastric ($GI_{50} = 35 \pm 1$ μ g/mL) and breast ($GI_{50} = 89 \pm 4$ μ g/mL) adenocarcinomas. Likewise, only AE showed some anti-inflammatory potential ($IC_{50} = 225 \pm 2$ μ g/mL) in mouse macrophages. Both extracts had bacteriostatic effects against Gram-Positive and Gram-Negative bacteria, EE being especially effective against *Enterococcus faecalis* and *Listeria monocytogenes* (MICs = 2.5 mg/mL). Taken together, the results suggest the potential of the Jatoba pod residue as a source of bioactive molecules of industrial interest.

Keywords: Food waste recovery, Phenolic compounds, Antioxidant potential, Antiproliferative potential, Antimicrobial activity, Upcycling.

Citation: To be added by editorial staff during production.

Academic Editor: Firstname
Lastname

Received: date
Accepted: date
Published: date

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Several health benefits have been attributed to the phenolic compounds present in fruits and vegetables. Epidemiological, clinical, *in vivo* and *in vitro* studies show multiple biological activities related to dietary phenolic compounds, including antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial and anticarcinogenic properties [1,2]. The consistent intake of foods rich in phytochemicals is therefore important for the prevention of chronic diseases such as cancer, diabetes and cardiovascular disorders, often associated with

oxidative stress [3,4].

Hymenaea courbaril L., known as Jatobá, is an arboreal legume belonging to the Caesalpiniaceae family that occurs abundantly in Brazilian forests. Due to its tolerance to a wide range of environmental conditions, Jatobá is found in diverse biomes such as the Cerrado and the Pantanal [5]; it has been widely used in the recovery of deforested areas and afforestation [6] and showed potential for phytoremediation [7]. The species has economic value for providing high quality wood, but also because its leaves, bark, sap, resin and fruits present significant levels of bioactive phytochemicals, which justifies its use in traditional medicine as a raw material for obtaining incense, cosmetics and food ingredients, as well as natural tonics, fortifiers and energizers [8,9] (Figure 1).

In addition to the presence of phenolic constituents such as procyanidins and catechins [10,11], several other compounds - mainly diterpenes and sesquiterpenes of the enantio-labdanoid and enantio-halimane types - have already been isolated from seeds, bark and resins from the trunk, in addition to pod bark of *H. courbaril* [12–14]. Chemical analysis of the edible pulp, a sweet yellowish powder obtained from its fruits, allowed the identification of sucrose and linolenic acid [8]. The bioactivities reported for the extracts, fractions or isolated compounds from products and by-products of *H. courbaril* are attributed to such diverse chemical composition. Among the reported biological activities, there are antioxidant [9], anti-inflammatory [15], antivirals and antiproliferatives [16] properties, besides antimicrobial [17,18] and larvicidal [19,20] effects.



Figure 1. Main products and co-products of the Jatobá tree (*Hymenaea courbaril* L.).

Following the sustainability principles implemented in today's society, new molecules of high added value are being recovered from agri-food by-products and applied in the development of food ingredients with the function of conserving and/or adding functionality, thus promoting efficiency in the use of resources and circularity [21]. In this sense, the residues from the commercial exploitation of the Jatobá tree remain underexplored. Despite the several above-mentioned studies on the different parts of the *H. courbaril* plant, to our best knowledge, there are really scarce reports on

the Jatobá pod shell, a residue generated by the industrial processing of the pulp, which is commonly discarded [20,22].

The aim of this study was to evaluate the phenolic and biological profiles of the *Hymenaea courbaril* L. pod shell extracts (aqueous and hydroethanolic).

2. Material and methods

2.1. Plant material

The whole mature pods of *Hymenaea courbaril* were collected at Fazenda São Jorge, located on Estrada Bela Vista, Cambira Municipality (23°36'24.3"S 51°34'28.7"W) Parana, Brazil. The Jatobá fruits were sanitized with water to remove sediment and possible contaminants, and then dried at room temperature. Manually, the yellow floury pulp containing the seeds was separated from the hard shells of each pod. Then, the residue pods were broken into smaller pieces with the aid of a hammer. Subsequently, the material was ground in a knife mill until obtaining a fine powder, which was stored away from light and moisture and under refrigeration.

2.2 Extraction procedure

The aqueous extract (AE) and the hydroethanolic extract (ETOH) were obtained using a proportion of pod residue/extractor solution of 1:20, that is, for 1 g of residue 20 mL of extractor medium was added. The vials were sealed and shaken for 2 h at 130 rpm at room temperature (25°C) and protected from light. This procedure was repeated three times. Subsequently, the extracts were combined and centrifuged at 1792 × g for 15 min. Only the supernatant from the hydroethanolic extraction was evaporated at 35 °C to remove ethanol. Finally, the materials were lyophilized (FreeZone 4.5, model 7750031, Labconco, Kansas City, MO, USA) and stored in a freezer at -20 °C until further analysis.

2.3 Phenolic composition by LC-DAD-ESI/MSn

Prior to analysis, Jatobá pod shell extracts were redissolved at a concentration of 10 mg/mL in a methanol:water mixture (80:20, v/v). Chromatographic analyzes were performed on a Dionex Ultimate 3000 UHPLC system (Thermo Scientific, San Jose, CA, USA) equipped with a diode array detector coupled to an electrospray mass ionization detector (LC-DAD-ESI /MSn), a quaternary pump, a sampler (kept at 5 °C), a degasser and an automated thermostated column compartment, according to the protocol established by Bessada *et al.* (2016) [23].

Chromatographic separation was performed using a Waters Spherisorb S3 ODS-2 C18 column (3 µm, 4.6 mm × 150 mm, Waters, Milford, MA, USA) at 35°C. The mobile phases were: (A) 0.1% formic acid in water, (B) acetonitrile. The established elution gradient was isocratic 15% B (5 min), 15% B to 20% B (5 min), 20–25% B (10 min), 25–35% B (10 min), 35–50 % B (10 min), and column re-equilibration using a flow rate of 0.5 mL/min. Dual online detection was performed on the DAD using 280 and 370 nm as preferred wavelengths and on a mass spectrometer (MS) connected to the HPLC system via the DAD cell output.

MS detection was performed in negative mode using an LTQ XL Linear Ion Trap Mass Spectrometer (ThermoFinnigan, San Jose, CA, USA) equipped with an ESI source. Nitrogen served as the shell gas (50 psi); the system was operated with a spray voltage of 5 kV, a source temperature of 325 °C, and a capillary voltage of – 20V. The tube lens shift was maintained at a voltage of – 66V. The full scan covered the mass range of *m/z* 100–1500. The collision energy used was 35 (arbitrary units). Data acquisition was performed with the Xcalibur® data system (ThermoFinnigan, San Jose, CA, USA).

Compounds were identified by comparing retention times, UV-vis and mass spectral data with available standards and reviewing the literature. Quantitation was performed using calibration curves of available phenolic standards based on the UV

signal. However, in the case of unavailable commercial standards, the calibration curve of the most similar standard available was adopted for quantification. Results were expressed in mg per g of extract.

2.4 Antioxidant activity

For the OxHLIA assay, 200 μ L of a sheep erythrocyte solution (2.8%, v/v) prepared in phosphate-buffered saline (PBS, pH 7.4) was added to 400 μ L of extract solution (0.078–2.5 mg/mL in PBS), or to PBS (control), or to water (for complete hemolysis) or to Trolox (7.81–250 μ g/mL in PBS, positive control). After pre-incubation at 37 °C for 10 min with shaking, 200 μ L of 2,2'-azobis(2-methylpropionamidine) dihydrochloride (AAPH, 160 mM in PBS, from Sigma-Aldrich) was added and the optical density was measured at 690 nm every ~10 min on a microplate reader (Bio-Tek Instruments, ELX800) until complete hemolysis [24]. The Δt (min) values, derived from half the hemolysis time (Ht_{50}) obtained from the hemolytic curves of each extract sample concentration minus the PBS control Ht_{50} value, were correlated to the respective extract concentration for IC_{50} values calculation (μ g/mL) [24]. As IC_{50} values were calculated for a period of 60 min, they correspond to the concentration of extract necessary to protect 50% of the erythrocyte population from the hemolytic action of AAPH for a Δt of 60 min.

The inhibition of the generation of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) and the DPPH radical scavenging activity were estimated as described by Corrêa *et al.* (2015) [25]. The color intensity of the malondialdehyde-thiobarbituric acid (MDA-TBA) complex was measured at 532 nm, with results calculated as inhibition ratio (%) using the equation $[(A_{Control} - A_{Sample}) / A_{Control}] \times 100$ and expressed in IC_{50} values. Finally, the FRAP assay was performed according to the protocol of Koehnlein *et al.* (2016) [26]. For this method, standard curves were constructed using Trolox ($R^2 = 0.999$), which is why the results were expressed in μ mol equivalents of Trolox (TE) /mg of lyophilized extract.

2.5 Cytotoxic potential

For the cytotoxicity assay, four human tumor cell lines used were: gastric adenocarcinoma (AGS), colorectal adenocarcinoma (CaCo2), breast adenocarcinoma (MCF-7), and lung carcinoma (NCI-H460). They were maintained in RPMI-1640 medium supplemented with 10% fetal bovine serum (FBS), glutamine (2 mM), penicillin (100 U/mL), and streptomycin (100 μ g/mL). Furthermore, a green monkey kidney cell line (Vero), a non-tumor line, was assessed. This last was maintained in Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM) supplemented with 10% FBS, glutamine, and antibiotics. Cells were used only when achieving 70–80% confluence. Sulforhodamine B assay (SFB) was performed as recently described [14]. Results were expressed the concentration providing 50% of cell proliferation inhibition (GI_{50}), and the commercial drug Ellipticine was utilized as a positive control.

2.6 Anti-inflammatory activity

The anti-inflammatory properties of the Jatobá pod residue extracts were assessed by lipopolysaccharide (LPS)-induced nitric oxide (NO) production by mouse macrophages RAW 264.7, according to the protocol described in detail by Corrêa *et al.* (2015) [25]. Dexamethasone (50 μ M) was used as positive control, whereas a negative control was formulated without the addition of LPS to observe possible effects on the basal levels of NO. The results were expressed as IC_{50} values (μ g/mL), consisting of the extract concentration that provided 50% of inhibition of NO production.

2.7 Antimicrobial potential

Five Gram-negative bacteria (*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Morganella morganii*, *Proteus mirabilis* and *Pseudomonas aeruginosa*) and three Gram-positive bacteria (*Enterococcus faecalis*, *Listeria monocytogenes* and Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*) were used to evaluate the antibacterial potential of the pod residue extracts. All microbial strains used were clinical isolates donated by Centro Hospitalar de Trás-os-Montes e Alto Douro (Vila Real, Portugal). The minimum inhibitory concentration (MIC)

for all bacterial strains was obtained by the colorimetric method described by Pires *et al* (2018) [27]. The MIC value was designated as the lowest concentration that inhibited visible bacterial growth, which in turn was evidenced by the color change of the medium from yellow to pink in case of viable microorganism. In addition, the minimum bactericidal concentration (MBC) was estimated by measuring the lowest concentration that did not produce growth; therefore, the MBC value was defined as the lowest concentration needed to kill a bacterium. For Gram-negative bacteria, the antibiotics Ampicillin and Imipenem were used as positive controls, whereas Ampicillin and Vancomycin were used for Gram-positive bacteria.

2.8 Statistical analysis

All results were expressed as mean values plus standard deviations (SD) as a result of the three replicates of the assays. To compare the arithmetic means, the *t* test or analysis of variance (ANOVA) was applied according to the context. ANOVA was followed by Tukey's *post hoc* test using Statistica v.13.5 software (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA), with a significance level of 5% ($p \leq 0.05$).

3. Results and discussion

3.1 Phenolic profile of the Jatobá pod residue extracts

The phenolic profiles of the Jatobá pod residue extracts were determined by HPLC-DAD-LC/MSn, and the peak characteristics, namely retention time (Rt, min), maximum absorbance ($\lambda_{\max}$, nm) and mass spectral, are presented in Table 3.

Table 4. Retention time (Rt), wavelengths of maximum absorption in the visible region ($\lambda_{\max}$), mass spectral data, identification attempt, bibliographic reference used to assist in the identification, and quantification of the phenolic compounds present in the pod residue extracts of *Hymenaea courbaril* (mean $\pm$ SD).

Peak	Rt (min)	$\lambda_{\max}$ (nm)	[M-H] ⁺ (m/z)	Main fragments MS ² (m/z)	Tentative identification	Ref.	Quantification (mg/g of extract)		<i>p</i> value
							AE	ETOH	
1	4.86	280	577	451(32), 425(100), 407(33), 289(15), 287(5)	Type-B (epi)catechin dimer	DAD-MSn [10,28]	0.101 $\pm$ 0.005	nd	-
2	5.09	280	577	451(34), 425(100), 407(29), 289(12), 287(5)	Type-B (epi)catechin dimer	DAD-MSn [10,28]	0.745 $\pm$ 0.005	2.5 $\pm$ 0.2	0.007
3	6.17	280	865	739(81), 695(100), 577(75), 575(50), 425(12), 289(10), 287(10)	Type-B (epi)catechin trimer	DAD-MSn [10,28]	0.15 $\pm$ 0.01	2.3 $\pm$ 0.4	0.013
4	6.95	280	577	451(25), 425(100), 407(22), 289(17), 287(5)	Type-B (epi)catechin dimer	DAD-MSn [10,28]	0.309 $\pm$ 0.006	2.3 $\pm$ 0.5	0.001

5	9.83	280	865	739(82), 695(100),577(76), 575(53), 425(10), 289(10), 287(10)	Type-B (epi)catechin trimer	DAD- MSn [10,28]	0.31±0.01	1.27±0.08	0.003
6	10.49	280	865	739(79), 695(100), 577(81), 575(50), 425(15), 289(10), 287(10)	Type-B (epi)catechin trimer	DAD- MSn [10,28]	0.172±0.005	1.45±0.07	0.004
7	11.11	280	1153	865(29), 713(5), 577(20), 575(22), 289(50)	Type-B (epi)catechin tetramer	DAD- MSn [10,28]	0.37±0.02	nd	-
8	17.55	331	449	303(100), 285(50)	Taxifolin-O- rhamnoside	DAD- MSn [10]	0.0845±0.001	0.442±0.002	<0.001
9	17.91	332	463	301(100)	Quercetin-3-O- glucoside	DAD- MSn	0.0887±0.0004	0.439±0.001	<0.001
10	21.34	335	447	301(100)	Quercetin-O- rhamnoside	DAD- MSn [22]	0.0886±0.0005	nd	-
TPC							2.42±0.06	11±1	0.008

Results are presented as mean ± standard deviation and were analyzed using analysis of variance (ANOVA), p-value <0.05 means significant differences. Ref. – references for tentative identification; nd- not detected; TPC – Total phenolic compounds; Calibration curves used for quantification: catechin: $y = 84950x - 23200$; quercetin-3-O-glucoside: $y = 34843x - 160173$.

A total of ten phenolic compounds were tentatively identified: seven procyanidins, two quercetin derivatives and one taxifolin derivative. Peaks 1, 2 and 4 showed the same molecular ion ([MH]⁺ - at m/z 577), releasing MS² fragments at m/z 451 (-126 u), 425 (-152 u) and 407 (-152 u). -18 u). This fragmentation behavior could be explained by heterocyclic ring fission (HRF) and retro-Diels-Alder fragmentation (RDA). Also, other two fragment ion at m/z 287 and 286, corresponding to the lower and upper (epi)catechin, were disassociated in the MS². According to the literature, these peaks were identified as Type B (epi) catechin dimers [28].

Peaks 3, 5, and 6, with the same pseudo molecular ion [M-H]⁺ - at m/z 865, and Peak 7 ([M-H]⁺ - at m/z 1153), showed the same above-mentioned fragmentation pattern, being tentatively identified as Type-B (epi)catechin trimers and tetramer, respectively [28]. The Veggi *et al.* (2014) [10] and Farias *et al.* (2017) [11] have detected the presence of procyanidin dimers, trimers and tetramers in extracts of trunk bark and sap from Jatobá.

Peak 8 ([M-H]⁺ - at m/z 449) showed two MS² fragments at m/z 303 and 285, perhaps from the loss of rhamnose and water moieties, which revealed a dihydroquercetin compound. Veggie *et al.* (2014) [10] also identified this compound as taxifolin-O-rhamnoside. Thus, considering the mass spectral characteristics and literature data, this peak was provisionally identified.

Peak 9 ([M-H]⁺ - at m/z 463), with MS² fragment at m/z 301, was identified as quercetin-3-O-glucoside based on its mass spectral characteristics and comparison with a commercial standard. Peak 10 ([M-H]⁺ - at m/z 447) also released a fragment at m/z 301, corresponding to a quercetin molecule after the loss of a rhamnose unit (-146 u). Silva *et*

al. (2019) [22] have identified this compound in Jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stignocarpa* Mart.) extracts as quercetin-*O*-rhamnoside.

Compounds 2 and 4, both type B (epi) catechin dimers, were the major constituents of the pod residue samples, being more than 43% of the phenolic content of both extracts (Table 3). Although the hydroethanolic extract showed higher levels for all phenolic compounds determined in common with the aqueous extract, compounds 1, 7 and 10 were detected only in the latter. The total phenolic content (TPC) determined for the hydroethanolic extract of Jatobá pod residue was (11 mg/g) 4.5-fold higher than the aqueous extract (2.42 mg/g). It is established that the extraction of phenolic molecules from plant matrices is highly dependent on the polarity of the solvent, as a polar component is easily extracted using a polar solvent. Hereupon, hydroethanolic solutions are suitable solvents for the recovery of phenolic compounds owing to the distinct polarities of the bioactive molecules and their acceptability as a food grade solvent [29].

TPCs based on milligrams of gallic acid equivalent (GAE) per gram of pulp from three Jatobá samples were estimated by Biazotto *et al.* (2019) [30], which reported an average value of 1.05 mg GAE/g of *H. courbaril* pulp. Silva *et al.* (2019) [22], in their study on the optimization of phenolics extraction from the Jatobá pod shell, reported TFC values ranging from 16.289 to 32.424 mg GAE/g (dry matter). More recently, Everton *et al.* (2020) [20] verified a TFC of 490.533 mg TAE (tannic acid equivalent) /g of essential oil obtained from Jatobá pod shell. However, it is known that other types of compounds that may be present in abundance in plant extracts, such as reducing sugars and ascorbic acid, may also reduce the Folin Ciocalteu reagent, resulting in overestimated values of total phenolic compounds by this method [31].

3.3. Biological properties of the Jatobá pod residue extracts

Four distinct antioxidant assays were used to evaluate the antioxidant potential of Jatobá pod shell extracts (Table 4). The use of more than two methods for assessing the antioxidant capacity of plant extracts is essential, considering that antioxidant phytochemicals act by diverse mechanisms, each having its particular target within the reaction matrix [32]. Thus, heterogeneous chemical reactivity implies different degrees of antioxidant activity in the several chemical tests [31]. In this sense, complementary information on the antioxidant capacity of the investigated extracts/compounds are obtained. To our knowledge, this is the first time that such a set of methods has been used to evaluate the antioxidant capacity of *H. courbaril* samples.

Table 5. Antioxidant activities of the Jatobá pod residue extracts (mean $\pm$ SD).

Antioxidant activity	AE	ETOH	<i>p</i> value	Trolox
TBARS (IC ₅₀ = μ g/mL)	4659 $\pm$ 68	5367 $\pm$ 208	0.002	5.8 $\pm$ 0.6
OxHLIA (Δ T _{60min}) (IC ₅₀ = μ g/mL)	31.0 $\pm$ 0.4	25.4 $\pm$ 0.6	<0.001	21.8 $\pm$ 0.2
DPPH (IC ₅₀ = μ g/mL)	5.40 $\pm$ 0.73	0.71 $\pm$ 0.33	0.003	0.11 $\pm$ 0.67
FRAP (μ M TE/mg)	2001.0 $\pm$ 23.7	1378.9 $\pm$ 11.5	<0.001	-

The results are presented as mean $\pm$ standard deviation and analyzed by means of analysis of variance (ANOVA) and in each line *p*-value <0.05. IC₅₀ values: sample concentration providing 50% of the antioxidant activity. TE: Trolox equivalents. Trolox: synthetic antioxidant used as a positive control.

The hydroalcoholic extract had higher antioxidant activity than the aqueous one in the DPPH and OxHLIA assays, with IC₅₀ values of 0.71 and 25.4 μ g/mL, respectively (Table 4). These values are similar to the ones verified for the positive control Trolox. In the FRAP assay, however, the aqueous extract showed the highest activity. Interestingly, in the TBARS system the IC₅₀ values recorded for our samples were almost 1000-fold higher than the one verified for Trolox. The low protection efficiency of the pod residue extracts in the TBARS assay suggests that they would not be ideal for application as preservatives in lipid systems.

Bezerra *et al.* (2013) [15] studied the ethanolic extract of the stem bark of *H. courbaril* as well as its fractions using bioassay-guided fractionation. The crude extract, the ethyl acetate fraction and the methanolic fraction showed IC₅₀ values of 30770.18, 50571.5 and 51270.73 µg/mL, respectively, in the DPPH assay, whereas the positive control (Trolox) had a IC₅₀ value of 2670.23 µg/mL. Using the same method, Arakaki *et al.* (2016)[33] evaluated the antioxidant activity of aqueous, ethanolic and hydroacetonic extracts from the pulp of Jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Hayne.). The hydroacetonic extract showed the highest antioxidant capacity among their samples (IC₅₀ = 26.76 mg/mg), followed by the aqueous (IC₅₀ = 117.07 mg/mg) and ethanolic (IC₅₀ = 618.06 mg/mg) extracts.

More recently, Pereira Santos *et al.* (2020) [9] assessed the antioxidant capacities of pulp flour and fibrous pulp residue samples from *H. courbaril* using DPPH and FRAP methods. For the Jatobá pulp, the authors found IC₅₀ values of 0.045 and 0.036 µM TE/mg, respectively, in the DPPH and FRAP systems. The corresponding pulp residue showed superior antioxidant capacities, with values of 0.072 and 0.051 µM TE/mg, respectively.

The antioxidant potential verified for the Jatobá pod residue extracts may be related, inter alia, to the presence of procyanidins (Table 2). Martins *et al.* (2020) [34], for instance, verified that methanolic extracts of açai seeds (*Euterpe oleracea* Mart.) rich in type A and B procyanidins have high antioxidant capacity, confirmed by DPPH, TEAC and ORAC methods. The authors attributed the extract's antioxidant and antibacterial potentials to its phenolic composition. Likewise, grape seed proanthocyanidins (GSPs), molecules recovered from by-products of the grape juice and winery industries, hold a variety of potent pharmacological effects, including oxidative stress inhibition and anti-inflammatory and antitumor activities, all of which have been verified in *in vitro* and *in vivo* models, besides clinical trials [35].

According to Valencia-Hernandez *et al.* (2021) [36] the biological activities of procyanidins are associated to their chemical structure and their degree of polymerization and galloylation. Their antioxidant potential depends on the presence of the catechol unit on the aromatic B-ring, which acts as a donor of hydrogen atoms, stabilizing the free radicals. While, the ability to chelate metals and proteins is because to o-dihydroxy phenolic groups in their high molecular weight structure [37].

Table 5 summarizes the results of the evaluation of cytotoxic and anti-inflammatory potentials of the Jatobá pod residue extracts.

Table 6. Cytotoxic and anti-inflammatory properties of the Jatobá pod residue extracts.

	AE	ETOH	Ellipticine (µg/mL)
Antiproliferative activity (GI₅₀, µg/mL)¹			
AGS (gastric adenocarcinoma)	35 ± 1	> 400	1.23 ± 0.03
CaCo2 (colorectal adenocarcinoma)	173 ± 3	> 400	1.21 ± 0.02
MCF-7 (breast adenocarcinoma)	89 ± 4	> 400	1.02 ± 0.02
NCI-H460 (lung carcinoma)	186 ± 13	> 400	1.01 ± 0.01
Vero (green monkey kidney cell line)	120 ± 7	> 400	1.41 ± 0.06
	AE	ETOH	Dexametasone (µg/mL)
Anti-inflammatory activity (IC₅₀, µg/mL)²			
RAW 264.7 (mouse macrophages)	225 ± 2	> 400	6.3 ± 0.4

¹ GI₅₀ values correspond to the sample concentration achieving 50% of growth inhibition in human tumor cell lines; ² IC₅₀ value correspond to the sample concentration providing 50% inhibition in the production of NO.

As shown in Table 5 only the aqueous extract (AE) showed antiproliferative potential, in addition to a slight anti-inflammatory activity (IC₅₀ = 225 ± 2 µg/mL). AE exhibited pronounced cytotoxic activities against gastric adenocarcinoma (GI₅₀ = 35 ±

1µg/mL) and breast adenocarcinoma ($GI_{50}=89 \pm 4\mu\text{g/mL}$) cells, and less pronounced growth-inhibiting effects against colorectal and lung carcinoma cell lines.

Spera *et al.* (2019) [38] found that the hydroethanolic seed extract of Jatobá had a dose and time dependent cytotoxic action against B16F10 melanoma cells line, in addition to antigenotoxic effect on mice bone marrow cells and antioxidant activity. The authors attributed such biological effects to the presence of flavones in the extract. Latter, Delgado, Mendez-Callejas and Celis (2021) [39] identified the caryophyllene oxide as the major bioactive compound in the leaf hexane extract of *H. courbaril*, which showed promising anti-proliferative effects against androgen-independent prostate PC-3 cancer cells. Possibly, the molecules involved in the antiproliferative activities of our AE extract are other than the phenolic compounds herein identified (Table 1).

The antimicrobial potential of the Jatobá pod residue extracts against clinical isolates, including bacteria considered to be food-borne pathogens, expressed in minimum inhibitory concentrations (MICs) and minimum bactericidal concentrations (MBCs) of the extracts, are shown in Table 6.

Table 7. Antibacterial potential of *Hymenaea courbaril* pod residue extracts.

	ETOH		EA		Ampicillin (20 mg/mL)		Imipenem (1 mg/mL)		Vancomycin (1 mg/mL)	
	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC
Gram-negative bacteria										
<i>Escherichia coli</i>	5	>20	5	>20	<0.15	<0.15	<0.0078	<0.0078	n.t.	n.t.
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	>20	>20	>20	>20	10	20	<0.0078	<0.0078	n.t.	n.t.
<i>Morganella morganii</i>	5	>20	10	>20	20	>20	<0.0078	<0.0078	n.t.	n.t.
<i>Proteus mirabilis</i>	10	>20	10	>20	<0.15	<0.15	<0.0078	<0.0078	n.t.	n.t.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	>20	>20	>20	>20	>20	>20	0.5	1	n.t.	n.t.
Gram-positive bacteria										
<i>Enterococcus faecalis</i>	2.5	>20	5	>20	<0.15	<0.15	n.t.	n.t.	<0.0078	<0.0078
<i>Listeria monocytogenes</i>	2.5	>20	5	>20	<0.15	<0.15	<0.0078	<0.0078	n.t.	n.t.
MRSA	5	>20	5	>20	<0.15	<0.15	n.t.	n.t.	0.25	0.5

MIC - minimum inhibitory concentration; CBM - minimum bactericidal concentration; n.t. - not tested; MRSA - Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*.

The MIC values reveal that both extracts showed bacteriostatic effects against all bacteria tested, which suggests the presence of a broad spectrum of phytochemicals with antibiotic activity. The hydroethanolic extract showed higher inhibitory potential than the aqueous extract, being especially effective against *Morganella morganii*, *Enterococcus faecalis*, *Listeria monocytogenes* and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MIC values = 2.5-5 mg/mL).

Aleixo *et al.* (2015) [17] found more expressive inhibitory effects than ours when evaluating the *in vitro* antimicrobial potential of ethanolic extracts obtained from the trunk barks of *Hymenaea courbaril* and *Stryphnodendron adstringens* against clinical bacterial isolates. The combination of extracts showed potent synergistic antimicrobial activity, with MIC values of 0.03 mg/mL against *Acinetobacter baumannii*, *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. The authors detected alkaloids, coumarins, flavonoids, steroids/triterpenoids and tannins in their ethanolic extract of *H. courbaril*. Furthermore, Sales *et al.* (2014) [40] evaluated the inhibitory effect of the essential oil extracted from

the Jatobá pod residue and found a good activity against the Gram-positive *S. aureus*, in addition to a synergistic modulatory effect when associated with antibiotics for clinical use.

The antibacterial activities of the Jatobá pod residue extracts studied may be related, *inter alia*, to their procyanidin content (Table 3). Alejo-Armijo *et al.* (2017) [41], for example, found that two procyanidins isolated from a laurel wood extract, namely cinnamtannin B1 and procyanidin B2, promoted inhibition of bacterial growth at high concentrations and prevention of biofilm formation at lower concentrations. The authors believe that this natural extract may be promising in the market of natural food preservatives and/or natural disinfectants for processing equipment where foodborne pathogens reside.

The Jatobá pod residue extracts showed MIC values greater than 1.6 for all bacteria tested (Table 4), which some authors might classify as a weak inhibitor profile [31]. However, it should be considered that the bacteria used here are multidrug-resistant strains (clinical isolates) that in turn hold antibiotic resistance profiles substantially superior to those of ATCC bacterial strain [42]. In other words, the results reported can be interpreted as an indicative of relevant antibacterial potential.

4. Conclusions

To our best knowledge, this is the first in-depth investigation on the phenolic composition and biological capacities of the *Hymenaea courbaril* pod husk, a biomass commonly discarded by the Jatoba fruit pulp industry. Taken together, our results not only corroborate the economic and bioactive potentialities of the whole *H. courbaril* tree, but also endorse the potential of its bio-residues, especially the pod husks, as promising sources of valuable food and cosmetic additives, following the circular bioeconomy concept.

Author Contributions: Conceptualization, R.M.P. and R.C.G.C.; methodology, G.L.A., I.S.O., B.R.A., T.B.V.S., M.I.D. and R.C.C.; formal analysis, G.L.A., I.S.O., B.R.A., T.B.V.S., M.I.D., R.C.C., R.M.P. and R.C.G.C.; investigation, G.L.A., I.S.O., B.R.A., T.B.V.S., M.I.D., R.C.C., R.M.P. and R.C.G.C.; writing—original draft preparation, G.L.A.; writing—review and editing, I.S.O., N.U.Y., A.A.F.Z., L.B., R.M.P. and R.C.G.C. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) through national funds FCT/MCTES (PIDDAC) to CIMO (UIDB/00690/2020 and UIDP/00690/2020) and SusTEC (LA/P/0007/ 2021) and by the FCT National funding, through the institutional scientific employment program-contract with L. Barros and R. Calhela. This work was also funded by the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq, Brazil) through the research grant contract with R. M. Peralta; by the Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICETI, Brazil) through the research grant contracts with N. U. Yamaguchi and R. C. G. Corrêa; and by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, through the master's scholarship contracts with G. L. Del Angelo, I. S. Oliveira and T. B. V. da Silva.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest, financial or otherwise.

References

1. Corrêa, R.C.G.; Garcia, J.A.A.; Correa, V.G.; Vieira, T.F.; Bracht, A.; Peralta, R.M. Pigments and Vitamins from Plants as Functional Ingredients: Current Trends and Perspectives. In *Advances in Food and Nutrition Research*; Elsevier, 2019; Vol. 90, pp. 259–303 ISBN 978-0-12-816567-6.
2. Câmara, J.S.; Albuquerque, B.R.; Aguiar, J.; Corrêa, R.C.G.; Gonçalves, J.L.; Granato, D.; Pereira, J.A.M.; Barros, L.; Ferreira, I.C.F.R. Food Bioactive Compounds and Emerging Techniques for Their Extraction: Polyphenols as a Case Study. *Foods* **2021**, *10*, 37, doi:10.3390/foods10010037.
3. Corrêa, R.C.G.; Peralta, R.M.; Haminiuk, C.W.I.; Maciel, G.M.; Bracht, A.; Ferreira, I.C.F.R. New Phytochemicals as

Potential Human Anti-Aging Compounds: Reality, Promise, and Challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **2018**, *58*, 942–957, doi:10.1080/10408398.2016.1233860.

4. Vieira, T.F.; Corrêa, R.C.G.; Peralta, R.A.; Peralta-Muniz-Moreira, R.F.; Bracht, A.; Peralta, R.M. An Overview of Structural Aspects and Health Beneficial Effects of Antioxidant Oligosaccharides. *Curr Pharm Des* **2020**, *26*, 1759–1777, doi:10.2174/1381612824666180517120642.
5. de Souza Rocha, A.F.; Vitorino, L.C.; Bessa, L.A.; Costa, R.R.G.F.; da Silva Brasil, M.; Souchie, E.L. Soil Parameters Affect the Functional Diversity of the Symbiotic Microbiota of *Hymenaea Courbaril* L., a Neotropical Fruit Tree. *Rhizosphere* **2020**, *16*, 100237, doi:10.1016/j.rhisph.2020.100237.
6. Arruda, I.R.S.; Albuquerque, P.B.S.; Santos, G.R.C.; Silva, A.G.; Mourão, P.A.S.; Correia, M.T.S.; Vicente, A.A.; Carneiro-da-Cunha, M.G. Structure and Rheological Properties of a Xyloglucan Extracted from *Hymenaea Courbaril* Var. *Courbaril* Seeds. *International Journal of Biological Macromolecules* **2015**, *73*, 31–38, doi:10.1016/j.ijbiomac.2014.11.001.
7. dos Santos, N.M.C.; da Costa, V.A.M.; de Araújo, F.V.; Alencar, B.T.B.; Ribeiro, V.H.V.; Okumura, F.; Simeone, M.L.F.; dos Santos, J.B. Phytoremediation of Brazilian Tree Species in Soils Contaminated by Herbicides. *Environ Sci Pollut Res* **2018**, *25*, 27561–27568, doi:10.1007/s11356-018-2798-0.
8. Schwartz, G. Jatoba—*Hymenaea Courbaril*. In *Exotic Fruits*; Elsevier, 2018; pp. 257–261 ISBN 978-0-12-803138-4.
9. Pereira Santos, A.C.; Martins Alves, A.; Veloso Naves, M.M.; Reis Silva, M. Nutritional Profile, Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Jatobá-Da-Mata (*Hymenaea Courbaril*, Var. *Stilbocarpa*) by Product. *Rev. chil. nutr.* **2020**, *47*, 366–371, doi:10.4067/S0717-75182020000300366.
10. Veggi, P.C.; Prado, J.M.; Bataglion, G.A.; Eberlin, M.N.; Meireles, M.A.A. Obtaining Phenolic Compounds from Jatoba (*Hymenaea Courbaril* L.) Bark by Supercritical Fluid Extraction. *The Journal of Supercritical Fluids* **2014**, *89*, 68–77, doi:10.1016/j.supflu.2014.02.016.
11. Farias, K. de S.; Auharek, S.A.; Cunha-Laura, A.L.; de Souza, J.M.E.; Damasceno-Junior, G.A.; Toffoli-Kadri, M.C.; de Oliveira Filiú, W.F.; dos Santos, E. dos A.; Chang, M.R.; Carollo, C.A. Adulteration and Contamination of Commercial Sap of *Hymenaea* Species. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* **2017**, *2017*, 1–13, doi:10.1155/2017/1919474.
12. da Silva Oliveira, F.G.; de Souza Araújo, C.; Rolim, L.A.; Barbosa-Filho, J.M.; da Silva Almeida, J.R.G. Chapter 12 - The Genus *Hymenaea* (Fabaceae): A Chemical and Pharmacological Review. In *Studies in Natural Products Chemistry*; Atta-ur-Rahman, Ed.; Elsevier, 2018; Vol. 58, pp. 339–388.
13. Santos, H.L.L.R. dos; Souza, N.; Macedo, N.R.; Ramos, J.P. da S.; Dias Júnior, A.F.; Nascimento, A. Phytochemical Analysis of Extracts from the Atlantic Forest Wood Species. *Floresta Ambient.* **2019**, *26*, e20180381, doi:10.1590/2179-8087.038118.
14. da Silva Santos, É.; Savam, A.; Cabral, M.R.P.; Castro, J.C.; de Oliveira Collet, S.A.; Mandim, F.; Calhelha, R.C.; Barros, L.; da Silva Machado, M. de F.P.; de Oliveira, A.J.B.; et al. Low-Cost Alternative for the Bioproduction of Bioactive Phenolic Compounds of Callus Cultures from *Cereus Hildmannianus* (K.) Schum. *Journal of Biotechnology* **2022**, *356*, 8–18, doi:10.1016/j.jbiotec.2022.07.001.
15. Bezerra, G.P.; Góis, R.W. da S.; de Brito, T.S.; de Lima, F.J.B.; Bandeira, M.A.M.; Romero, N.R.; Magalhães, P.J.C.; Santiago, G.M.P. Phytochemical Study Guided by the Myorelaxant Activity of the Crude Extract, Fractions and Constituent from Stem Bark of *Hymenaea Courbaril* L. *J Ethnopharmacol* **2013**, *149*, 62–69, doi:10.1016/j.jep.2013.05.052.
16. Boniface, P.K.; Baptista Ferreira, S.; Roland Kaiser, C. Current State of Knowledge on the Traditional Uses, Phytochemistry, and Pharmacology of the Genus *Hymenaea*. *J Ethnopharmacol* **2017**, *206*, 193–223, doi:10.1016/j.jep.2017.05.024.
17. Aleixo, A.A.; Camargos, V.N.; Herrera, K.M.S.; Andrade, A.C. dos S.P.; Santos, M. dos; Miranda, V.C.; Carvalho, R.S.; Magalhaes, J.T. de; Magalhaes, J.C. de; Lima, L.A.R. dos S.; et al. Synergistic Activity from *Hymenaea Courbaril* L. and *Stryphnodendron Adstringens* (Mart.) Coville against Multidrug-Resistant Bacteria Strains. *JMPR* **2015**, *9*, 741–748, doi:10.5897/JMPR2014.5502.
18. Brito, M.S. de; Melo, M.B.; Alves, J.P. de A.; Fontenelle, R.O. dos S.; Mata, M.F.; Andrade, L.B. da S. Partial Purification of Trypsin/Papain Inhibitors from *Hymenaea Courbaril* L. Seeds and Antibacterial Effect of Protein Fractions. *Hoehnea* **2016**, *43*, 11–18, doi:10.1590/2236-8906-23/2015.
19. Ribeiro, T.G.; Chávez-Fumagalli, M.A.; Valadares, D.G.; Franca, J.R.; Lage, P.S.; Duarte, M.C.; Andrade, P.H.R.; Martins, V.T.; Costa, L.E.; Arruda, A.L.A.; et al. Antileishmanial Activity and Cytotoxicity of Brazilian Plants. *Experimental Parasitology* **2014**, *143*, 60–68, doi:10.1016/j.exppara.2014.05.004.
20. Everton, G.O.; Mafra, N.S.C.; Sales, E.H.; Rosa, P.V.S.; Farias, W.K. dos S.; Pinheiro, F.S.; Lages, M.G.G.; Santos, M.B.L.D.; Cunha, J.C.R. da; Neto, A.P. de A.; et al. Óleo essencial das cascas descartadas do fruto de *Hymenaea courbaril* L. como larvicida frente *Aedes aegypti*. *Research, Society and Development* **2020**, *9*, e1389108437–e1389108437, doi:10.33444/rsd-v9i10.8437.
21. Conceição, N.; Albuquerque, B.R.; Pereira, C.; Corrêa, R.C.G.; Lopes, C.B.; Calhelha, R.C.; Alves, M.J.; Barros, L.; C. F. R. Ferreira, I. By-Products of Camu-Camu [*Myrciaria Dubia* (Kunth) McVaugh] as Promising Sources of Bioactive High Added-Value Food Ingredients: Functionalization of Yogurts. *Molecules* **2020**, *25*, 70, doi:10.3390/molecules25010070.
22. Silva, C.P. da; Soares-Freitas, R.A.M.; Sampaio, G.R.; Santos, M.C.B.; do Nascimento, T.P.; Cameron, L.C.; Ferreira, M.S.L.; Arêas, J.A.G. Identification and Action of Phenolic Compounds of Jatobá-Do-Cerrado (*Hymenaea Stignocarpa* Mart.) on α -Amylase and α -Glucosidase Activities and Flour Effect on Glycemic Response and Nutritional Quality of Breads. *Food Research*

International **2019**, *116*, 1076–1083, doi:10.1016/j.foodres.2018.09.050.

23. Bessada, S.M.F.; Barreira, J.C.M.; Barros, L.; Ferreira, I.C.F.R.; Oliveira, M.B.P.P. Phenolic Profile and Antioxidant Activity of *Coleostephus Myconis* (L.) Rchb.f.: An Underexploited and Highly Disseminated Species. *Industrial Crops and Products* **2016**, *89*, 45–51, doi:10.1016/j.indcrop.2016.04.065.
24. Lockowandt, L.; Pinela, J.; Roriz, C.L.; Pereira, C.; Abreu, R.M.V.; Calhelha, R.C.; Alves, M.J.; Barros, L.; Bredol, M.; Ferreira, I.C.F.R. Chemical Features and Bioactivities of Cornflower (*Centaurea Cyanus* L.) Capitula: The Blue Flowers and the Unexplored Non-Edible Part. *Industrial Crops and Products* **2019**, *128*, 496–503, doi:10.1016/j.indcrop.2018.11.059.
25. Corrêa, R.C.G.; Souza, A.H.P. de; Calhelha, R.C.; Barros, L.; Glamoclija, J.; Sokovic, M.; Peralta, R.M.; Bracht, A.; Ferreira, I.C.F.R. Bioactive Formulations Prepared from Fruiting Bodies and Submerged Culture Mycelia of the Brazilian Edible Mushroom *Pleurotus Ostreatoroseus* Singer. *Food Funct.* **2015**, *6*, 2155–2164, doi:10.1039/C5FO00465A.
26. Koehnlein, E.A.; Koehnlein, É.M.; Corrêa, R.C.G.; Nishida, V.S.; Correa, V.G.; Bracht, A.; Peralta, R.M. Analysis of a Whole Diet in Terms of Phenolic Content and Antioxidant Capacity: Effects of a Simulated Gastrointestinal Digestion. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* **2016**, *67*, 614–623, doi:10.1080/09637486.2016.1186156.
27. Pires, T.C.S.P.; Dias, M.I.; Barros, L.; Alves, M.J.; Oliveira, M.B.P.P.; Santos-Buelga, C.; Ferreira, I.C.F.R. Antioxidant and Antimicrobial Properties of Dried Portuguese Apple Variety (*Malus Domestica* Borkh. Cv Bravo de Esmolfe). *Food Chemistry* **2018**, *240*, 701–706, doi:10.1016/j.foodchem.2017.08.010.
28. Barros, L.; Calhelha, R.C.; Queiroz, M.J.R.P.; Santos-Buelga, C.; Santos, E.A.; Regis, W.C.B.; Ferreira, I.C.F.R. The Powerful *in Vitro* Bioactivity of *Euterpe Oleracea* Mart. Seeds and Related Phenolic Compounds. *Industrial Crops and Products* **2015**, *76*, 318–322, doi:10.1016/j.indcrop.2015.05.086.
29. Miamoto, J. de B.M.; Aazza, S.; Ruas, N.R.; Carvalho, A.A. de; Pinto, J.E.B.P.; Resende, L.V.; Bertolucci, S.K.V. Optimization of the Extraction of Polyphenols and Antioxidant Capacities from Two Types of *Solanum Gilo* Raddi Using Response Surface Methodology. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* **2020**, *16*, 100238, doi:10.1016/j.jarmap.2019.100238.
30. Biazotto, K.R.; de Souza Mesquita, L.M.; Neves, B.V.; Braga, A.R.C.; Tangerina, M.M.P.; Vilegas, W.; Mercadante, A.Z.; De Rosso, V.V. Brazilian Biodiversity Fruits: Discovering Bioactive Compounds from Underexplored Sources. *J. Agric. Food Chem.* **2019**, *67*, 1860–1876, doi:10.1021/acs.jafc.8b05815.
31. Garcia, J.A.A.; Corrêa, R.C.G.; Barros, L.; Pereira, C.; Abreu, R.M.V.; Alves, M.J.; Calhelha, R.C.; Bracht, A.; Peralta, R.M.; Ferreira, I.C.F.R. Phytochemical Profile and Biological Activities of “Ora-pro-Nobis” Leaves (*Pereskia Aculeata* Miller), an Underexploited Superfood from the Brazilian Atlantic Forest. *Food Chemistry* **2019**, *294*, 302–308, doi:10.1016/j.foodchem.2019.05.074.
32. Gonçalves, G.A.; Corrêa, R.C.G.; Barros, L.; Dias, M.I.; Calhelha, R.C.; Correa, V.G.; Bracht, A.; Peralta, R.M.; Ferreira, I.C.F.R. Effects of *in Vitro* Gastrointestinal Digestion and Colonic Fermentation on a Rosemary (*Rosmarinus Officinalis* L) Extract Rich in Rosmarinic Acid. *Food Chemistry* **2019**, *271*, 393–400, doi:10.1016/j.foodchem.2018.07.132.
33. Arakaki, D.G.; Candido, C.J.; Silva, A.F. da; Guimarães, R. de C.A.; Hiane, P.A. *In Vitro* and *in Vivo* Antioxidant Activity of the Pulp of Jatobá-Do-Cerrado. *Food Sci. Technol* **2016**, *36*, 166–170, doi:10.1590/1678-457X.0084.
34. Martins, G.R.; do Amaral, F.R.L.; Brum, F.L.; Mohana-Borges, R.; de Moura, S.S.T.; Ferreira, F.A.; Sangenito, L.S.; Santos, A.L.S.; Figueiredo, N.G.; Silva, A.S. da Chemical Characterization, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Açaí Seed (*Euterpe Oleracea* Mart.) Extracts Containing A- and B-Type Procyanidins. *LWT* **2020**, *132*, 109830, doi:10.1016/j.lwt.2020.109830.
35. Li, Y.; Sun, Y.; Si, M. Grape Seed Procyanidins Induces Apoptosis and Inhibits Proliferation of Osteosarcomas Cells *in Vitro*. *International journal of clinical and experimental medicine* **2018**, *11*, 6483–6490.
36. Valencia-Hernandez, L.J.; Wong-Paz, J.E.; Ascacio-Valdés, J.A.; Chávez-González, M.L.; Contreras-Esquivel, J.C.; Aguilar, C.N. Procyanidins: From Agro-Industrial Waste to Food as Bioactive Molecules. *Foods* **2021**, *10*, 3152, doi:10.3390/foods10123152.
37. Alberti, A.; Zielinski, A.A.F.; Zardo, D.M.; Demiate, I.M.; Nogueira, A.; Mafra, L.I. Optimisation of the Extraction of Phenolic Compounds from Apples Using Response Surface Methodology. *Food Chemistry* **2014**, *149*, 151–158, doi:10.1016/j.foodchem.2013.10.086.
38. Spera, K.D.; Figueiredo, P.A.; Santos, P.C.E.; Barbosa, F.C.; Alves, C.P.; Dokkedal, A.L.; Saldanha, L.L.; Silva, L.P.; Figueiredo, C.R.; Ferreira, P.C.; et al. Genotoxicity, Anti-Melanoma and Antioxidant Activities of *Hymenaea Courbaril* L. Seed Extract. *An. Acad. Bras. Ciênc.* **2019**, *91*, e20180446, doi:10.1590/0001-3765201920180446.
39. Delgado, C.; Mendez-Callejas, G.; Celis, C. Caryophyllene Oxide, the Active Compound Isolated from Leaves of *Hymenaea Courbaril* L. (Fabaceae) with Antiproliferative and Apoptotic Effects on PC-3 Androgen-Independent Prostate Cancer Cell Line. *Molecules* **2021**, *26*, 6142, doi:10.3390/molecules26206142.
40. Sales, G.W.P.; Batista, A.H. de M.; Rocha, L.Q.; Nogueira, N.A.P. Efeito antimicrobiano e modulador do óleo essencial extraído da casca de frutos da *Hymenaea courbaril* L. *Rev. ciênc. farm. básica apl* **2015**.
41. Alejo-Armijo, A.; Glibota, N.; Frías, M.P.; Altarejos, J.; Gálvez, A.; Ortega-Morente, E.; Salido, S. Antimicrobial and Antibiofilm Activities of Procyanidins Extracted from Laurel Wood against a Selection of Foodborne Microorganisms. *International Journal of Food Science & Technology* **2017**, *52*, 679–686, doi:10.1111/ijfs.13321.
42. Dias, M.I.; Barros, L.; Morales, P.; Cámara, M.; Alves, M.J.; Oliveira, M.B.P.P.; Santos-Buelga, C.; Ferreira, I.C.F.R. Wild *Fragaria Vesca* L. Fruits: A Rich Source of Bioactive Phytochemicals. *Food Funct.* **2016**, *7*, 4523–4532, doi:10.1039/C6FO01042C.

5. NORMAS DO ARTIGO

Plants ISSN: 2223-7747

Plants é uma revista internacional, científica, revisada por pares e de acesso aberto publicada semestralmente on-line pela MDPI. A Sociedade Australiana de Cientistas de Plantas (ASPS), a Sociedade Fitopológica Espanhola (SEF), a Sociedade Espanhola de Fisiologia Vegetal (SEFV), a Sociedade Espanhola de Ciências Horticolas (SECH) e a Sociedade Italiana de Fitoterapia (S.I.) são afiliadas à *Plants* e seus membros recebem um desconto nas taxas de processamento de artigos.

ENVIO DO MANUSCRITO PARA AUTORES: VISAO GERAL

Tipos de Publicações

Plants não têm restrições no comprimento dos manuscritos, desde que o texto seja conciso e abrangente. Detalhes experimentais completos devem ser fornecidos para que os resultados possam ser reproduzidos. *Plants* exigem que os autores publiquem todos os controles experimentais e disponibilizem conjuntos de dados completos sempre que possível (consulte as diretrizes sobre Materiais Suplementares e referências a dados não publicados).

Os manuscritos enviados à *Plants* não devem ser publicados anteriormente nem estar em consideração para publicação em outra revista. Os principais tipos de artigos são os seguintes:

- *Artigos*: Manuscritos de pesquisa originais. A revista considera todos os manuscritos de pesquisa originais, desde que o trabalho relate experimentos cientificamente sólidos e forneça uma quantidade substancial de novas informações. Os autores não devem dividir desnecessariamente seu trabalho em vários manuscritos relacionados, embora breves *comunicações* de resultados preliminares, mas significativos, sejam consideradas. A qualidade e o impacto do estudo serão considerados durante a revisão por pares.
- *Revisões*: Estes fornecem atualizações concisas e precisas sobre os últimos progressos feitos em uma determinada área de pesquisa. As revisões sistemáticas devem seguir as diretrizes do PRISMA.

Processo de Envio

Manuscritos para *Plantas* devem ser enviados on-line em susy.mdpi.com. O autor que envia, que geralmente é o autor correspondente, é responsável pelo manuscrito durante o processo de envio e revisão por pares. O autor que o submete deve garantir que todos os coautores elegíveis tenham sido incluídos na lista de autores (leia os critérios para se qualificar para a autoria) e que todos tenham lido e aprovado a versão enviada do manuscrito. Para enviar seu manuscrito, registre-se e faça login no site de envio. Depois de se registrar, clique aqui para ir para o formulário de envio de *Plantas*. Todos os coautores podem ver os detalhes do manuscrito no sistema de envio, se se registrarem e fizerem login usando o endereço de e-mail fornecido durante o envio do manuscrito.

Formatos de Arquivo Aceitos

Os autores são incentivados a usar o modelo Microsoft Word ou o modelo LaTeX para preparar seu manuscrito. O uso do arquivo de modelo reduzirá substancialmente o tempo para concluir a edição e publicação de manuscritos aceitos. A quantidade total de dados para todos os arquivos não deve exceder 120 MB. Se isso for um problema, entre em contato com o Escritório Editorial plants@mdpi.com. Os formatos de arquivo aceitos são:

- *Microsoft Word*: Os manuscritos preparados no Microsoft Word devem ser convertidos em um único arquivo antes do envio. Ao preparar manuscritos no Microsoft Word, incentivamos você a usar o arquivo de modelo *Plants* Microsoft Word. Insira seus gráficos (esquemas, figuras, etc.) no texto principal após o parágrafo de sua primeira citação.
- *LaTeX*: Os manuscritos preparados no LaTeX devem ser agrupados em uma pasta ZIP (incluindo todos os arquivos e imagens de origem, para que o Escritório Editorial possa recompilar o PDF enviado). Ao preparar manuscritos no LaTeX, incentivamos você a usar os arquivos de modelo *Plants* LaTeX. Agora você também pode usar o aplicativo on-line writeLaTeX para enviar artigos diretamente para *Plants*. O arquivo de modelo MDPI LaTeX deve ser selecionado na galeria de modelos writeLaTeX.
- *Arquivos suplementares*: podem ser de qualquer formato, mas é recomendável que você use formatos comuns e não proprietários sempre que possível (veja abaixo para mais detalhes).

Isenção de responsabilidade: O uso desses modelos destina-se exclusivamente a envio à revista para revisão por pares e estritamente limitado a essa finalidade e não pode ser usado para postar on-line em servidores de pré-impressão ou outros sites.

Envio de Formato Livre

Plants agora aceitam envio de formato livre:

- Não temos requisitos rigorosos de formatação, mas todos os manuscritos devem conter as seções necessárias: Informações do Autor, Resumo, Palavras-chave, Introdução, Materiais e Métodos, Resultados, Conclusões, Figuras e Tabelas com Legendas, Informações de Financiamento, Contribuições do Autor, Conflito de Interesses e outras Declarações Éticas. Verifique as *Instruções do Diário para Autores* para mais detalhes.

- Suas referências podem estar em qualquer estilo, desde que você use a formatação consistente por toda parte. É essencial incluir o(s) nome(s) do(s) autor(es), título(s) ou de livro, título de artigo ou capítulo (quando necessário), ano de publicação, volume e edição (quando apropriado) e paginação. Os números DOI (Digital Object Identifier) não são obrigatórios, mas altamente incentivados. O pacote de software de bibliografia *EndNote*, *Zotero*, *Mendeley*, *Reference Manager* é recomendado.

- Quando seu manuscrito atingir o estágio de revisão, você será solicitado a formatar o manuscrito de acordo com as diretrizes da revista.

Carta de Apresentação

Uma carta de apresentação deve ser incluída em cada envio de manuscrito. Deve ser conciso e explicar por que o conteúdo do artigo é significativo, colocando as descobertas no contexto do trabalho existente. Deve explicar por que o manuscrito se encaixa no escopo da revista.

Quaisquer envios anteriores do manuscrito para as revistas MDPI devem ser reconhecidas. Se este for o caso, é altamente recomendável que o ID do manuscrito anterior seja fornecido no sistema de envio, o que facilitará seu processo de envio atual. Os nomes dos revisores propostos e excluídos devem ser fornecidos no sistema de apresentação, não na carta de apresentação.

Todas as cartas de apresentação devem incluir as declarações:

- Confirmamos que nem o manuscrito nem qualquer parte de seu conteúdo estão atualmente em consideração ou publicados em outra revista.

- Todos os autores aprovaram o manuscrito e concordam com sua submissão ao (nome da revista).

Biografia do Autor

Os autores são incentivados a adicionar uma biografia (máximo de 150 palavras) ao envio e publicá-la no SciProfiles. Este deve ser um único parágrafo e deve conter os seguintes pontos:

1. Nomes completos dos autores seguidos por posições atuais;

2. Formação educacional, incluindo informações da instituição e ano de graduação (tipo e nível de diploma recebido);
3. Experiência de trabalho;
4. Interesses de pesquisa atuais e anteriores;
5. Associações de sociedades profissionais e prêmios recebidos.

Nota para Autores Financiados pelos Institutos Nacionais de Saúde (NIH)

Esta revista deposita automaticamente artigos na PubMed Central após a publicação de uma edição. Os autores não precisam enviar seus artigos separadamente através do Sistema de Envio de Manuscritos do NIH (NIHMS, <http://nihms.nih.gov/>).

Considerações Gerais

Os manuscritos de pesquisa devem incluir:

- Assunto da frente: Título, Lista de autores, Afiliações, Resumo, Palavras-chave
- Seções de manuscritos de pesquisa: Introdução, Resultados, Discussão, Materiais e Métodos, Conclusões (opcional).
- Assunto: Materiais Suplementares, Agradecimentos, Contribuições do Autor, Conflitos de Interesse, Referências.
- Os manuscritos de revisão devem incluir a matéria de frente, as seções de revisão de literatura e a matéria de fundo. O arquivo de modelo também pode ser usado para preparar a frente e o verso do seu manuscrito de revisão. Não é necessário seguir a estrutura restante. Revisões estruturadas e meta-análises devem usar a mesma estrutura que os artigos de pesquisa e garantir que estejam em conformidade com as diretrizes PRISMA.

Seções de Manuscrito de Pesquisa

Introdução: A introdução deve colocar brevemente o estudo em um contexto amplo e destacar por que é importante. Deve definir o propósito do trabalho e seu significado, incluindo hipóteses específicas que estão sendo testadas. O estado atual do campo de pesquisa deve ser revisado cuidadosamente e as principais publicações citadas. Por favor, destaque hipóteses controversas e divergentes quando necessário. Finalmente, mencione brevemente o objetivo principal do trabalho e destaque as principais conclusões. Mantenha a introdução compreensível para os cientistas que trabalham fora do tópico do artigo.

Resultados: Forneça uma descrição concisa e precisa dos resultados experimentais, sua interpretação, bem como as conclusões experimentais que podem ser tiradas.

Discussão: Os autores devem discutir os resultados e como eles podem ser interpretados na perspectiva de estudos anteriores e das hipóteses de trabalho. As descobertas e suas implicações devem ser discutidas no contexto mais amplo possível e as limitações do trabalho destacadas. As futuras direções de pesquisa também podem ser mencionadas. Esta seção pode ser combinada com Resultados.

Materiais e Métodos: Eles devem ser descritos com detalhes suficientes para permitir que outros se reproduzam e se baseiem nos resultados publicados. Novos métodos e protocolos devem ser descritos em detalhes, enquanto métodos bem estabelecidos podem ser brevemente descritos e citados adequadamente. Dê o nome e a versão de qualquer software usado e deixe claro se o código de computador usado está disponível. Inclua quaisquer códigos de pré-registro.

Conclusões: Esta seção não é obrigatória, mas pode ser adicionada ao manuscrito se a discussão for excepcionalmente longa ou complexa.

Patentes: Esta seção não é obrigatória, mas pode ser adicionada se houver patentes resultantes do trabalho relatado neste manuscrito.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio das pesquisas realizadas neste trabalho podemos considerar o Jatobá como uma fonte de moléculas valiosas. Neste contexto, a revisão de literatura teve o propósito de analisar os estudos que demonstram que as diversas partes da planta de *H. courbaril* possuem propriedades bioativas de interesse comercial. Observou-se que os estudos relacionados à casca da vagem do Jatobá, considerada como biorresíduo, ainda são muito escassos. Neste sentido, existem lacunas de informação sobre a composição fitoquímica e bioativa desta biomassa, as quais o trabalho experimental buscou preencher.

Na etapa experimental, um extrato aquoso (água deionizada; AE) e um extrato hidroetanólico (etanol: água deionizada, 70:30 v/v; EE) foram obtidos via maceração. Um total de dez compostos fenólicos foram provisoriamente identificados via LC-DAD-ESI/MSn: sete procianidinas, dois derivados de quercetina e um derivado de taxifolina, sendo os dímeros e trímeros de procianidinas os principais componentes de ambos os extratos. Níveis de compostos fenólicos totais de $2,42 \pm 0,06$ e 11 ± 1 mg/g foram verificados para AE e EE, respectivamente; no entanto, apenas sete compostos foram identificados em EE. O resíduo da vagem de Jatobá apresentou notável atividade antioxidante: o EE apresentou maior potencial antioxidante nos ensaios OxHLIA e DPPH ($IC_{50} = 25,4 \mu\text{g/mL}$ e $0,71 \mu\text{g/mL}$, respectivamente); entretanto, EA demonstrou maior potencial no sistema FRAP ($IC_{50}=2001,0 \mu\text{M TE/mg}$). Apenas o EA apresentou potencial antiproliferativo, sendo eficaz contra linhagens celulares de adenocarcinomas gástrico ($GI_{50} = 35 \pm 1 \mu\text{g/mL}$) e de mama ($GI_{50} = 89 \pm 4 \mu\text{g/mL}$). Da mesma forma, apenas AE apresentou algum potencial anti-inflamatório ($IC_{50} = 225 \pm 2 \mu\text{g/mL}$) em macrófagos de camundongos. Ambos os extratos tiveram efeitos bacteriostáticos contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, sendo o EE especialmente eficaz contra *Enterococcus faecalis* e *Listeria monocytogenes* (MICs = $2,5 \text{ mg/mL}$). Em conjunto, os resultados sugerem o potencial do resíduo da vagem do Jatobá como fonte de moléculas bioativas de interesse industrial.

Trabalhos futuros devem explorar outras metodologias limpas para a recuperação de compostos de interesse a partir das cascas do fruto de *H. courbaril*. Ainda, estudos *in vivo* e ensaios clínicos são mandatórios para determinar o potencial bioativo dos extratos e moléculas isoladas para aplicações nas áreas alimentícia, farmacológica e cosmética. Não menos importante, o estudo do potencial químico e bioativo do material residual obtido após

as extrações é necessário para vislumbrar e aumentar as potencialidades do mesmo, visando o aproveitamento total deste recurso natural.