



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



INSTITUTO DE QUÍMICA
Programa de Pós-Graduação em Química

LIU HSUAN HAN

Propriedades térmicas, bioativas e antimicrobianas de frutos de *Cordia Dichotoma*

Campo Grande - MS

2023

Instituto de Química

Av. Filinto Müller, 1555 | Fone: 67 3345.7009 | Caixa Postal 549

CEP 79074-460 | Campo Grande | MS



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



LIU HSUAN HAN

Propriedades térmicas, bioativas e antimicrobianas de frutos de *Cordia Dichotoma*

*Tese apresentada ao Instituto de Química
da Universidade Federal de Mato Grosso
do Sul para obtenção do título de Doutor
em Química.*

Orientador: Prof. Dr. Lincoln Carlos Silva de Oliveira.

Campo Grande - MS

2023

Instituto de Química

Av. Filinto Müller, 1555 | Fone: 67 3345.7009 | Caixa Postal 549

CEP 79074-460 | Campo Grande | MS

AGRADECIMENTOS

À Deus.

Aos meus pais, que sempre possibilitaram para que eu ousasse com prudência e valores da vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Lincoln Carlos Silva de Oliveira por acolher, pelas orientações, apoio na realização desta pesquisa e incentivar como pesquisador.

À minha co-orientadora Profa. Dra. Mariana Ferreira Oliveira Prates, que acatou a pesquisa e com muita paciência e apoio me auxiliou em todo desenvolvimento da pesquisa.

À Profa. Dra. Luciana Miyagusku, que me orientou nas baterias de testes microbianas para que as análises possam ser executadas com excelência.

Aos meus amigos do grupo de pesquisa de Análise Térmica - LABAT: Joice Ferreira de Queiroz, Aline Herrero, Mário Rodrigues, Talina Meirely, Maria Simone Oliveira, Milton Basto Lira e Felipe Garcia pela parceria.

À UFMS e ao INQUI pela estrutura física e pela oportunidade.

RESUMO

O fruto de *Cordia dichotoma*, consumido há séculos na Ásia, foi introduzido no Brasil por imigrantes taiwaneses na década de 90. Diversos artigos científicos indicam que o fruto possui propriedades antimicrobianas, antioxidantes e resistência térmica, propriedades interessantes para a Área de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Este estudo objetivou avaliar as propriedades térmicas, bioativas e antimicrobianas de frutos de *Cordia dichotoma*, com o intuito de avaliar as potencialidades de uso do fruto na obtenção de extratos bioativos e antimicrobianos naturais para uso em embalagens para alimentos. Os frutos foram coletados em Campo Grande-MS e levados até a Unidade de Ciência de Alimentos da UFMS, onde foram higienizados e separados em casca e polpa. Ambas as partes foram liofilizadas, obtendo casca liofilizada (CL) e polpa liofilizada (PL). Primeiramente a CL e a PL foram caracterizadas quanto à composição centesimal (umidade, proteínas, carboidratos, lipídeos e cinzas), com os resultados expressos em g 100 g⁻¹. Posteriormente, CL e PL foram submetidas à avaliação das propriedades térmicas: comportamento termogravimétrico. Foram elaboradas curvas TG/DTG geradas pelo equipamento de Termogravimetria modelo TGA-Q-50, da TA Instruments. Para a avaliação das propriedades bioativas e antimicrobianas foram elaborados extratos utilizando os solventes água e soluções de etanol e acetona em água nas concentrações de 25, 50, 75 e 100%,v:v) a fim de avaliar qual delas otimizaria a extração de compostos fenólicos totais, sendo avaliada posteriormente sua atividade antimicrobiana. Os compostos fenólicos totais (FT) foram determinados quantitativamente nos extratos, por colorimetria, e os resultados foram expressos em mg equivalente ácido gálico g⁻¹. Posteriormente, os extratos etanólicos e aquosos foram avaliados quanto às propriedades antimicrobianas frente a microrganismos de interesse para a indústria de alimentos: *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* e *Listeria monocytogenes*. O método disco-difusão, proposto por Kirby-Bauer, foi empregado para determinar a eficácia dos testes antimicrobianos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Todas as análises foram realizadas em triplicata. Os resultados de teor de compostos fenólicos foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas por teste de Tukey (p≤0,05). No que tange a análise térmica, a curva TG/DTG revelou quatro eventos principais, com perda de água em 109,4°C, decomposição dos carboidratos, lipídios e proteínas em 370,06°C, a decomposição de carboidratos, lipídios e proteínas em 520,70°C e os restantes 9,066% da massa corresponde aos resíduos de óxidos. Os resultados indicam que o fruto tem resistência térmica até 120°C. Com relação às propriedades bioativas foi observado que os extratos aquoso e etanólico a 25% apresentaram maior extração (p≤0,05) de FT quando comparado aos demais solventes testados, sendo o teor de FT na PL significativamente maior (p≤0,05) que o verificado na CL. Os frutos também apresentaram teores de FT superiores a outros frutos da mesma família. Não foi observada atividade antimicrobiana nos extratos etanólicos e aquosos frente aos microrganismos pesquisados neste trabalho. Os resultados obtidos indicam resistência térmica e potencial antioxidante do fruto para aplicação em embalagens biodegradáveis ativas para alimentos.

Palavras-chave: análise térmica, compostos fenólicos, atividade antimicrobiana, embalagens ativas.

ABSTRACT

The fruit of *Cordia dichotoma*, consumed for centuries in Asia, was introduced to Brazil by Taiwanese immigrants in the 1990s. Various scientific articles indicate that the fruit has antimicrobial, antioxidant, and thermal resistance properties, which are interesting for the field of Food Science and Technology. This study aimed to evaluate the thermal, bioactive, and antimicrobial properties of *Cordia dichotoma* fruits, with the intention of assessing their potential use in obtaining natural bioactive and antimicrobial extracts for use in food packaging. The fruits were collected in Campo Grande-MS and taken to the Food Science Unit of UFMS, where they were cleaned and separated into peel and pulp. Both parts were lyophilized, obtaining lyophilized peel (LP) and lyophilized pulp (PP). Firstly, LP and PP were characterized in terms of their centesimal composition (moisture, proteins, carbohydrates, lipids, and ashes), with results expressed in g per 100 g⁻¹. Subsequently, LP and PP were subjected to the evaluation of thermal properties: thermogravimetric behavior. TG/DTG curves were generated using the TGA-Q-50 Thermogravimetry equipment from TA Instruments. For the evaluation of bioactive and antimicrobial properties, extracts were prepared using water and solutions of ethanol and acetone in water at concentrations of 25, 50, 75, and 100%, v:v) to assess which would optimize the extraction of total phenolic compounds, with their antimicrobial activity evaluated later. The total phenolic compounds (TP) were quantitatively determined in the extracts, by colorimetry, and the results were expressed in mg gallic acid equivalent g⁻¹. Subsequently, the ethanolic and aqueous extracts were evaluated for their antimicrobial properties against microorganisms of interest to the food industry: *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, and *Listeria monocytogenes*. The disk diffusion method, proposed by Kirby-Bauer, was employed to determine the efficacy of the antimicrobial tests. The experimental design was completely randomized. All analyses were performed in triplicate. The results of phenolic compound content were subjected to ANOVA and the means compared by Tukey's test ($p \leq 0.05$). Regarding thermal analysis, the TG/DTG curve revealed four main events, with water loss at 109.4°C, decomposition of carbohydrates, lipids, and proteins at 370.06°C, decomposition of carbohydrates, lipids, and proteins at 520.70°C, and the remaining 9.066% of the mass corresponding to oxide residues. The results indicate that the fruit has thermal resistance up to 120°C. Regarding bioactive properties, it was observed that the 25% aqueous and ethanolic extracts showed greater extraction ($p \leq 0.05$) of TP compared to the other solvents tested, with the TP content in PP significantly higher ($p \leq 0.05$) than that observed in LP. The fruits also showed higher TP levels than other fruits of the same family. No antimicrobial activity was observed in the ethanolic and aqueous extracts against the microorganisms researched in this work. The results obtained indicate thermal resistance and antioxidant potential of the fruit for application in active biodegradable food packaging.

Keywords: Thermal analysis, phenolic compounds, antimicrobial activity, active packaging.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	08
2. OBJETIVOS	11
2.1. GERAL	11
2.2. ESPECÍFICOS	11
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
3.1. CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DA <i>CORDIA DICHOTOMA</i>	12
3.2. EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS ATIVAS	14
3.3. ANÁLISE TÉRMICA DE MATERIAIS	16
3.3.1. EVOLUÇÃO E FUNDAMENTOS DA ANÁLISE TÉRMICA	17
3.3.2. UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE TÉRMICA EM ESTUDOS COM <i>CORDIA DICHOTOMA</i>	19
3.3.3. TERMOGRAVIMETRIA (TGA) E TERMOGRAVIMETRIA DERIVADA (DTG)	22
3.4. COMPOSTOS FENÓLICOS.....	23
3.4.1. DEFINIÇÃO, TIPOS E FUNÇÕES DOS COMPOSTOS FENÓLICOS	23
3.4.2. BENEFÍCIOS E PROPRIEDADES DOS COMPOSTOS FENÓLICOS.....	24
3.4.3. COMPOSTOS FENÓLICOS E A <i>CORDIA DICHOTOMA</i>	25
3.4.4. OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS.....	25
3.5. PROPRIEDADES ANTIMICROBIANAS.....	27
3.5.1. PROPRIEDADES ANTIMICROBIANA DOS EXTRATOS DA <i>CORDIA DICHOTOMA</i>	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.1. COLETA E LIOFILIZAÇÃO DO FRUTO.....	32
4.2. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL.....	34
4.3. ANÁLISE TÉRMICA.....	34
4.4. ANÁLISE DE FENÓLICOS TOTAIS.....	35
4.5. ANÁLISE DE ATIVIDADE ANTIMICROBIANA.....	37

4.6.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	41
5.	RESULTADO E DISCUSSÃO	42
5.1.	COMPOSIÇÃO CENTESIMAL.....	42
5.2.	ANÁLISE TÉRMICA.....	44
5.3.	ANÁLISE DE FENÓLICOS TOTAIS.....	46
5.4.	ANÁLISE MICROBIANA.....	48
6.	CONCLUSÃO	50
7.	REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

Este estudo baseia-se nas pesquisas do fruto da árvore denominada *Cordia dichotoma*, pertencente à família *Boraginaceae*. Os frutos desta espécie são amplamente utilizados no continente asiático, principalmente na alimentação, na fabricação de adesivos e para cuidados estéticos. Cientificamente denominada *Cordia dichotoma*, o fruto é popularmente conhecido na Índia como "clammy cherry", "indian cherry" e "lasoda" (TRIPATHI, 2023).

A espécie de árvore *C. dichotoma* possui uma ampla distribuição geográfica, sendo predominante em florestas tropicais e subtropicais de países como Vietnã, China, Austrália, Taiwan, Indonésia e outras nações do sudeste asiático. Esta pesquisa específica foi realizada no Brasil, na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, um local onde as árvores *C. dichotoma* foram introduzidas por imigrantes, demonstrando uma notável adaptabilidade ao ambiente local.

Tripathi (2023) citou diversas publicações em periódicos que demonstram que a *Cordia dichotoma* possui propriedades medicinais e terapêuticas, gastroprotetora, anti-úlceras, hipolipidêmica, antioxidante, hepatoprotetora, cicatrizante, analgésica, antipirética, anti-inflamatória, antidiabética, anti-degenerativa, antifúngica, antimicrobiana, antidepressiva, anti-helmíntica, anti cancerígena, afrodisíaca, entre outras.

Entre as propriedades identificadas nos frutos de *C. dichotoma*, destacam-se os antioxidantes e as antimicrobianas. Esta espécie ganha destaque por sua riqueza em antioxidantes, como flavonoides e ácidos fenólicos (IBRAHIM, et al., 2019; TRIPATHI, 2023). Sua capacidade de neutralizar radicais livres e quelar metais é valorizada na indústria alimentícia e na saúde humana, ressaltando a importância de antioxidantes naturais na dieta (USMANI, et al., 2021; MENDONÇA, 2018; TURECK, 2017).

No âmbito fitoquímico, destacam-se a presença de esteróis, terpenos, cumarinas, alcalóides, além de compostos de suma importância para a área alimentar, como flavonóides e ácidos fenólicos. Estes últimos são reconhecidos

por suas propriedades antioxidantes e antibacterianas robustas (WEI et al., 2023).

Diversos estudos têm relatado ação antimicrobiana de alguns compostos fenólicos. Os compostos di-hidroxifenólicos e a maioria dos compostos fenólicos o-metoxifenol exibiram atividades antimicrobianas significativas contra diversos patógenos fúngicos e bacterianos avaliados. Adicionalmente, certos compostos mono-hidroxifenólicos também manifestaram potencial antimicrobiano (YAERMAIMAITI, et al., 2021). Nariya et al. (2011) e Jamkhande et al. (2019), destacaram sua eficácia antimicrobiana, especialmente contra bactérias como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e fungos como *Candida albicans*. A pesquisa de Yaermaimaiti, Wu e Aisa (2021) também confirmou a atividade antimicrobiana dos frutos, enquanto Sharma e Mallubhotla (2022) exploraram as bactérias endofíticas da planta. Estes estudos sublinham o potencial terapêutico da *C. dichotoma*.

Neste contexto, as embalagens ativas surgem como uma alternativa promissora, já que vão além da função convencional de proteção física, interagindo ativamente com o alimento para prolongar sua vida útil. As propriedades antioxidantes combatem a oxidação, preservando a qualidade e o valor nutricional dos alimentos, enquanto as propriedades antimicrobianas inibem o crescimento de microorganismos prejudiciais. Assim, a integração desses compostos nas embalagens ativas representa um avanço significativo na conservação de alimentos, alinhando-se com as descobertas sobre a eficácia dos compostos fenólicos (AZEREDO; FARIA; AZEREDO, 2000).

Para utilização de matérias-primas na elaboração de embalagens torna-se importante o estudo de suas propriedades térmicas, a fim de compreender a resistência dos materiais frente às diferentes temperaturas e condições. Reddy et al. (2018, 2020, 2022, 2023) realizaram análise térmica de frutos de *Cordia dichotoma* em diversas aplicações e contextos, apresentando estabilidades térmicas que variaram entre 100°C e 415°C, dependendo dos compósitos utilizados.

A investigação das propriedades da *Cordia dichotoma* se alinha de maneira promissora com o desenvolvimento de embalagens ativas e

biodegradáveis, um campo em crescente expansão e relevância. As características térmicas da *C. dichotoma* são particularmente cruciais para este estudo, considerando que o processo de fabricação de embalagens, especialmente a extrusão, exige um conhecimento aprofundado do comportamento do material sob altas temperaturas. Além disso, as propriedades antioxidantes e antimicrobianas da *C. dichotoma* oferecem um potencial significativo para a incorporação em embalagens ativas, que buscam não apenas proteger, mas também prolongar a vida útil dos alimentos, ao inibir o crescimento de microrganismos e retardar a oxidação. Portanto, a pesquisa sobre a *C. dichotoma* pode fornecer informações valiosas para a inovação em embalagens, combinando sustentabilidade com funcionalidade avançada, atendendo às demandas contemporâneas por soluções de embalagem mais eficazes e ambientalmente responsáveis.

Este projeto transcende a exploração das propriedades inovadoras da polpa do fruto da *Cordia dichotoma*, alinhando-se com os objetivos globais de sustentabilidade. Em harmonia com o objetivo 11 da ONU, que visa a criação de cidades e assentamentos humanos mais inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, e com o objetivo 12, que enfatiza a necessidade de padrões de produção e consumo sustentáveis, o projeto foca na busca por alternativas às embalagens convencionais.

Considerando os relatos científicos sobre as propriedades bioativas e antimicrobianas dos frutos de *Cordia dichotoma* cultivados na Índia, e sabendo que as condições de solo e climáticas interferem na composição química dos frutos é importante avaliar as propriedades de interesse dos frutos de *C. dichotoma* cultivados no Brasil e, conseqüentemente, avaliar a potencialidade de uso do mesmo para futuros estudos de aplicação em embalagens biodegradáveis ativas. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades térmicas, bioativas e antimicrobianas de frutos de *Cordia dichotoma* coletados na cidade de Campo Grande-MS.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Avaliar propriedades térmicas, bioativas e antimicrobianas de frutos de *Cordia dichotoma*.

2.2 ESPECÍFICOS

- Estudar a composição centesimal da *Cordia dichotoma*;
- Avaliar o perfil de estabilidade térmica do fruto;
- Elaborar extratos aquoso, etanólicos e acetônicos e determinar qual apresenta maior potencial de extração de compostos fenólicos;
- Determinar a atividade antimicrobiana do(s) extrato(s) com maior potencial de extração de compostos fenólicos totais.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DA *CORDIA DICHOTOMA*

Uma análise detalhada das publicações científicas sobre a *Cordia dichotoma* mostra uma riqueza de informações sobre suas características distintas e propriedades. Em um estudo de Jayaramudu et al. (2011), a planta é descrita como uma espécie caducifólia de porte médio, com um tronco relativamente pequeno e uma casca de caule enrugada, exibindo uma tonalidade marrom acinzentada. Por outro lado, Jamkhande et al. (2013) destacam que a *Cordia dichotoma* possui flores bissexuais, variando de branco a rosado, e seus frutos comestíveis são drupas de cor amarela ou rosa-amarela, que escurecem ao amadurecer.

A *Cordia dichotoma*, pertencente à família Boraginaceae, é uma espécie adaptada a climas tropicais e faz parte de um gênero que abriga mais de 250 espécies. Esta planta é notável pela comestibilidade de quase todas as suas partes, incluindo folhas, frutos, cascas e sementes, que são reconhecidas por suas propriedades antidiabéticas, anti-inflamatórias, analgésicas, antibacterianas e antifúngicas. (TRIPATHI, 2023) O fruto da *Cordia dichotoma* é particularmente distinto por sua textura borrachuda, rica em polissacarídeos, com uma composição que inclui d-glicose (67,6%), l-arabinose (13,2%) e arabinoglucana (MATIAS et al., 2015). Além disso, a espécie exibe uma ampla distribuição geográfica, estando presente em várias regiões do mundo, o que demonstra sua adaptabilidade e importância ecológica (TRIPATHI, 2023).

Durante este estudo, conduzido em Campo Grande, no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, o autor observou características da espécie que estão em consonância com as descritas na literatura global. Na região observada, a árvore demonstra a capacidade de atingir alturas de até 10 metros. Suas folhas, variando de formatos ovalados, exibem uma gama de tonalidades vibrantes: desde um verde-claro nas folhas jovens até um verde mais intenso nas maduras. Essa variação cromática confere à árvore uma aparência dinâmica e robusta, refletindo sua vitalidade e adaptabilidade ao ambiente local.

Outro aspecto relevante, observado na pesquisa, foi a floração, com cores predominantemente brancas ou amareladas, pequenas e que se agrupam em inflorescências do tipo panícula. Em cada flor, via de regra, existem cinco pétalas com a mesma quantidade de estames. Possui aroma “adocicado” característico, com a principal finalidade de atração de agentes polinizadores, principalmente a abelha *Trigona spinipes*, conhecida popularmente no Brasil, como arapuã.

Durante as coletas e preparo das análises, o autor também observou que os frutos em estudo apresentam uma morfologia esférica, com uma única semente protegida, comumente referido como caroço. Este, por sua vez, é frequentemente envolvido por uma camada carnosa, a polpa, e revestido por uma casca de superfície lisa. A coloração desta casca transita entre tonalidades de amarelo e salmão, refletindo as diferentes fases de amadurecimento do fruto. Uma característica distintiva da polpa é sua propriedade adesiva que, ao ser exposta à luz, tende a escurecer e polimerizar-se em um curto espaço de tempo. Quando essa substância seca, adquire uma textura semelhante à borracha, revelando propriedades físico-químicas únicas que serão detalhadamente analisadas ao longo deste trabalho.

Por ser de um consumo popular em países asiáticos, imigrantes que vieram para o Brasil trouxeram essa muda com intuito de consumo. No contexto brasileiro, a *Cordia dichotoma* pode não ser amplamente reconhecida, dada a vasta biodiversidade tropical do país.

Dentro da perspectiva alimentícia, a *Cordia dichotoma* emerge como uma fonte promissora de ingredientes naturais para a formulação de alimentos funcionais, despertando grande interesse na indústria alimentar (JAMKHANDE et al., 2019).

Tripathi (2023) estudou as tendências atuais e as perspectivas futuras sobre o potencial terapêutico da *Cordia dichotoma*. Ele cita diversos trabalhos que enfatizam que suas folhas e frutos, são valorizados na alimentação e fazem parte da dieta das comunidades rurais, com os frutos maduros sendo consumidos crus e os não maduros sendo incorporados em pratos de legumes e conservas (RIPISARDA et al., 2025; ORWA et al., 2009; NEGI, 1977; GAURAV, 2010). Notavelmente, estudos indicam que o fruto contém cromo, um

elemento benéfico no tratamento da diabetes (JAMKHANDE et al., 2013; MOHAMED; ELKHAMISY, 2019). Além de sua importância alimentar, a semente da planta é rica em óleos e proteínas, tornando-a uma fonte valiosa de ração para gado (NEGI, 1977; GAURAV, 2010). Adicionalmente, extratos da planta demonstraram propriedades anticorrosivas em aço leve e sua capacidade de inibir a eclosão de larvas de nematóides (ORWA et al., 2009; MASOOD; HAQ; SAXENA, 1985). Em contextos culturais, particularmente nas Filipinas e em Mianmar, a planta é usada para produzir cordas, adesivos e até mesmo como substituto para embalagens de charutos (HUSSAIN; NAKOTI, 2013; JAYARAMUDU et al., 2011).

3.2 EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS ATIVAS

A crescente consciência ambiental tem impulsionado o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis e ativas, que se destacam por suas funcionalidades adicionais, como propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Estas embalagens atendem às demandas ecológicas e prolongam a vida útil dos produtos, contribuindo significativamente para a redução do desperdício. A literatura aponta um interesse crescente em fontes naturais e renováveis para a criação desses materiais, abrangendo uma variedade de matérias-primas e tecnologias inovadoras.

Respondendo a um consumidor mais informado, a indústria alimentícia adota embalagens ativas e biodegradáveis como estratégias para preservar alimentos e minimizar impactos ambientais. Diferentemente das embalagens convencionais, as ativas interagem com o alimento, melhorando sua preservação. Estudos de Jorge (2013) e Cunha et al. (2007) ilustram aplicações como filmes antimicrobianos e absorvedores de oxigênio, eficazes na manutenção das qualidades sensoriais e nutricionais dos alimentos.

Lucchese (2018) e Maniglia (2017) destacam o uso de resíduos agroindustriais na criação de embalagens biodegradáveis, apresentando uma solução dupla: redução de resíduos e produção sustentável. A pesquisa de Bittencourt (2020) enfatiza a importância dessas embalagens na extensão da vida útil dos alimentos e na conformidade com políticas de sustentabilidade,

representando um avanço significativo na tecnologia de embalagens e na promoção de práticas sustentáveis na indústria alimentícia.

Complementando essa visão, Souza (2010) explorou o uso de fécula de mandioca e agentes antimicrobianos naturais em embalagens biodegradáveis e ativas. Del Nobile et al. (2009) investigaram embalagens ativas desenvolvidas por extrusão de polímeros recicláveis e biodegradáveis. Dias, Müller e Larotonda (2010) focaram no uso de amido de arroz para produzir filmes biodegradáveis, oferecendo uma alternativa à fécula de mandioca.

Devlieghere, Vermeiren e Debevere (2004) abordaram novas tecnologias de preservação, incluindo embalagens ativas, enquanto Raquez et al. (2007) exploraram o desenvolvimento de nanocompósitos biodegradáveis à base de amido. Guilbert, Gontard e Gorris (1996) e Hansen et al. (1989) ofereceram perspectivas valiosas sobre a extensão da vida útil dos alimentos através de filmes e revestimentos biodegradáveis, além da aplicação de agentes antimicrobianos.

Os extratos da polpa do fruto da *Cordia dichotoma* surgem como materiais promissores, notáveis por suas propriedades adesivas e elasticidade semelhante à borracha, além da presença de compostos bioativos. Estas características únicas oferecem um potencial significativo para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis ativas. Assim, torna-se relevante aprofundar a investigação das propriedades da espécie, incluindo análises térmicas, de fenólicos totais e atividade antimicrobiana, para estabelecer sua viabilidade como material bioativo e biodegradável em aplicações de embalagens.

A ampliação de pesquisas envolvendo as propriedades de frutos de *C. dichotoma* cultivados no Brasil pode contribuir para o avanço científico na área de tecnologia de embalagens, promovendo soluções que não apenas preservem alimentos, mas também respeitem e promovam a responsabilidade ambiental e sustentabilidade global.

3.3 ANÁLISE TÉRMICA DE MATERIAIS

A análise térmica é uma ferramenta essencial no campo da ciência dos alimentos, especialmente quando se trata de garantir a qualidade e segurança dos produtos. Segundo o ICTA ("International Confederation for Thermal Analysis"), a análise térmica é definida como um conjunto de técnicas que medem propriedades físicas de substâncias em função da temperatura através de um programa de controle de temperatura. Esta técnica é particularmente relevante para alimentos, pois muitos deles passam por tratamentos térmicos durante o processamento, como cocção, pasteurização, esterilização, refrigeração e congelamento. Esses tratamentos podem alterar as propriedades físico-químicas e funcionais dos alimentos, refletindo diretamente na sua qualidade e aceitabilidade (HARWALKAR; MA, 1990).

Dando continuidade à relevância da análise térmica, é imperativo destacar a singularidade da *Cordia dichotoma* dentro deste contexto. Esta planta apresenta uma composição diversificada, englobando elementos como cinzas, umidade, proteínas e carboidratos. O que é particularmente intrigante é sua característica polimérica e borrachuda. Quando a polpa da *Cordia dichotoma* é submetida a altas temperaturas, observa-se um endurecimento, fenômeno que pode ser atribuído a transições térmicas específicas. Esta observação não apenas ressalta a estabilidade intrínseca deste material, mas também sugere seu potencial promissor em aplicações variadas, especialmente na indústria alimentícia. A capacidade de resistir a mudanças térmicas e manter sua integridade pode ser um indicativo de sua aplicabilidade em embalagens e outros produtos que requerem robustez térmica.

Além disso, a análise térmica pode elucidar a interação entre os componentes da *Cordia dichotoma* e, assim, pode orientar a indústria alimentícia sobre as melhores condições de processamento, armazenamento e até mesmo produção de embalagens, especialmente quando consideramos a incorporação de outros materiais ou substâncias bioativas. Por exemplo, se a análise térmica revelar que a *Cordia dichotoma* possui uma temperatura de degradação térmica específica, isso pode informar aos produtores a temperatura máxima que a amostra pode ser exposta sem comprometer sua qualidade. Este entendimento é crucial para o desenvolvimento de embalagens bioativas.

Em um cenário onde a sustentabilidade e a inovação são imperativas, a utilização da *Cordia dichotoma* em embalagens bioativas e biodegradáveis representa um avanço significativo. A análise térmica, neste contexto, não é apenas uma ferramenta de investigação, mas um pilar estratégico, orientando o desenvolvimento e otimização de embalagens que sejam sustentáveis.

Em suma, ao combinar os as compreensões mais aprofundadas, derivadas dessa técnica, com o conhecimento existente sobre a composição e propriedades da *Cordia dichotoma*, é possível maximizar o potencial deste recurso extremamente promissor e garantir que ele seja utilizado de maneira otimizada e segura. A análise térmica não é apenas uma ferramenta de investigação, mas também uma bússola que guia a aplicabilidade prática da *Cordia dichotoma* na indústria alimentícia e outras, e, assim, pode abrir portas para revolucionar o setor de embalagens, alinhando qualidade e inovação.

3.3.1 EVOLUÇÃO E FUNDAMENTOS DA ANÁLISE TÉRMICA

A análise térmica, ao longo dos anos, tem se consolidado como uma ferramenta essencial no campo da pesquisa científica. Seu desenvolvimento e aplicação têm raízes profundas na história da ciência, com contribuições significativas de diversos pesquisadores ao redor do mundo. Wendlandt (1986) e Brown (1988) são dois nomes notáveis que apresentaram informações cruciais sobre o histórico e o desenvolvimento das técnicas termoanalíticas, consolidando sua importância no cenário global.

A Conferência Internacional de Análise Térmica de 1965, realizada na Escócia, foi um marco no desenvolvimento da análise térmica. Esta conferência, organizada por um comitê que incluía nomes como Mackenzie e Redfern, reuniu especialistas de mais de 30 países, solidificando a importância global da análise térmica (MACKENZIE, 1993).

A ICTCA (Conferência Internacional de Análise Térmica e Calorimetria) também desempenhou um papel vital na promoção e no avanço da análise térmica. Esta conferência proporcionou uma plataforma para pesquisadores de todo o mundo compartilharem seus achados, colaborarem e impulsionarem a fronteira do conhecimento.

No Brasil, a trajetória da análise térmica também é rica e significativa. Giolito (1990), com sua visão pioneira, sempre enfatizou a importância de materiais didáticos em português para auxiliar no aprendizado da química analítica em cursos de graduação e pós-graduação. Esta visão ressalta a necessidade de adaptar e contextualizar o conhecimento para o público brasileiro, garantindo uma formação sólida e relevante.

Outro nome de destaque no cenário brasileiro é Massao Ionashiro. Sua contribuição para o campo da análise térmica no Brasil é inestimável. Ele não apenas realizou pesquisas significativas, mas também desempenhou um papel crucial na disseminação do conhecimento e na formação de novos pesquisadores.

O entendimento de Massao Ionashiro sobre a análise térmica é profundamente enraizado na história da técnica no Brasil. Em seu depoimento, Ionashiro (2012) destaca que a introdução da análise térmica no país foi influenciada pelo professor Ernesto Giesbrecht da USP São Paulo. Através de conexões internacionais e a influência de figuras proeminentes como o Prof. Wendlandt, a análise térmica encontrou seu caminho para o Brasil. Foi o Prof. Ivo Giolito, inspirado e equipado com recursos valiosos, que realmente começou a explorar e disseminar a técnica no país. Este legado de pesquisa e educação em análise térmica estabeleceu um fundamento sólido para estudos futuros na área.

Em conclusão, a análise térmica tem uma grande diversidade de aplicações, desenvolvimentos e contribuições de inúmeros pesquisadores. Seja no cenário global ou no contexto brasileiro, a trajetória da análise térmica demonstra o compromisso dos pesquisadores com a busca incessante pelo conhecimento.

3.3.2 UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE TÉRMICA EM ESTUDOS COM *CORDIA DICHOTOMA*

A análise térmica tem se consolidado como uma ferramenta essencial em pesquisas científicas globalmente, fornecendo dados valiosos que permitem avaliar como os materiais respondem a variações de temperatura. A aplicação

desta técnica tem se diversificado, demonstrando adaptabilidade e relevância no panorama científico mundial. Especificamente, neste contexto, destacam-se publicações focadas na utilização da análise térmica no estudo de extratos de *Cordia dichotoma*, ressaltando a importância da técnica e suas contribuições para a expansão do conhecimento neste segmento específico.

Em um estudo conduzido por Reddy et al. (2018), a análise térmica foi empregada para avaliar as características da *Cordia dichotoma* quando incorporada em materiais compostos. Estes materiais, conhecidos como compósitos, são formados pela união de dois ou mais componentes distintos, buscando-se obter um material com propriedades superiores às dos componentes isolados. No contexto desse estudo, a *Cordia dichotoma* foi detalhadamente examinada para entender seu comportamento térmico e sua sinergia com outros materiais. Os resultados obtidos forneceram informações valiosas sobre como a *Cordia dichotoma* pode contribuir para aprimorar a resistência térmica dos materiais compostos.

Prosseguindo, no estudo conduzido por Reddy et al. (2020), foi dada ênfase à investigação das propriedades de compósitos reforçados com fibras naturais, com foco particular na *Cordia dichotoma*, após tratamentos com soluções alcalinas. Através da utilização de um analisador termogravimétrico (TGA), a equipe avaliou a resistência ao calor dos compósitos de fibra, tanto tratados quanto não tratados. Os resultados termográficos mostraram que a temperatura inicial para a degradação de ambos os compósitos estava próxima de 80°C, associada à perda de umidade e substâncias voláteis presentes na fibra. Com o aumento da temperatura, observou-se uma redução progressiva na resistência térmica. Adicionalmente, o estudo indicou que fibras submetidas ao tratamento alcalino podem ser integradas em polímeros cuja temperatura de processamento não exceda 290°C.

Em uma investigação subsequente, Reddy et al. (2020) voltaram sua atenção para a investigação da estabilidade térmica de um compósito híbrido formulado com fibra de *Cordia dichotoma* e preenchimento de granito. Utilizando a técnica de análise termogravimétrica (TGA), a equipe examinou a estabilidade térmica do compósito, aquecendo-o em um intervalo de temperatura de 26 a

850°C sob atmosfera de nitrogênio. Os dados obtidos pela TGA mostraram que a degradação térmica inicial ocorreu por volta dos 100°C, com uma perda de peso de 6%, associada à evaporação da umidade retida na fibra. Conforme a temperatura avançava, observou-se uma redução na estabilidade térmica do compósito.

Posteriormente, em outra pesquisa de Reddy et al. (2022), a *cordia dichotoma* foi investigada por seu potencial como material de reforço em matrizes epóxi, que são polímeros termofixos amplamente utilizados devido à sua excelente adesão, resistência química e propriedades mecânicas. Por meio da Análise Termogravimétrica (TGA), a equipe avaliou a estabilidade térmica desses materiais combinados. Os dados revelaram que a primeira degradação térmica significativa se manifesta em torno de 120°C, evidenciando a resistência do compósito a variações de temperatura. Esse entendimento, derivado da análise térmica, ressalta o valor da *Cordia dichotoma* em aplicações que necessitam de robustez e estabilidade térmica.

Em estudo recente, Reddy et al. (2023) exploraram a criação de um composto híbrido biodegradável, combinando fibras de Carbono e *Cordia dichotoma*. Utilizando análise térmica, a equipe identificou eventos exotérmicos e endotérmicos, bem como variações na capacidade calorífica, revelando que o compósito era termicamente estável até 415°C. Esta análise térmica detalhada não apenas forneceu informações valiosas sobre a estabilidade e comportamento dos materiais, mas também reforçou a relevância da técnica na pesquisa científica, especialmente ao elucidar propriedades térmicas com precisão e rigor.

No trabalho conduzido por Jayaramudu et al. (2011), a análise térmica desempenhou um papel fundamental na investigação das propriedades dos tecidos derivados de *Cordia dichotoma*. Utilizando a técnica de Análise Termogravimétrica (TGA), foi possível avaliar a estabilidade térmica dos tecidos, revelando que estes são termicamente estáveis até temperaturas entre 350-400°C. O estudo também destacou que o tratamento alcalino dos tecidos resultou em uma melhoria notável em sua estabilidade térmica, atribuída à remoção de componentes como hemicelulose amorfa e lignina. Essas

descobertas, proporcionadas pela análise térmica, reforçam o potencial dos tecidos de *Cordia dichotoma* em aplicações que demandam resistência térmica, oferecendo uma perspectiva valiosa sobre suas características e possíveis utilizações.

No estudo conduzido por Pawar et al. (2018), foi dada ênfase à extração e caracterização de polissacarídeos provenientes dos frutos de *Cordia dichotoma* G. Forst. Utilizando a técnica de precipitação ácida, o polissacarídeo foi isolado e, em seguida, avaliado quanto a suas características físico-químicas, incluindo solubilidade, pH e capacidade de inchaço. Uma observação notável, por meio da calorimetria diferencial de varredura (DSC), foi a identificação de um pico endotérmico em cerca de 119,5°C, associado à perda de água, seja ela livre ou ligada, no polissacarídeo. Adicionalmente, análises reológicas apontaram que este polissacarídeo exibe propriedades de fluxo favoráveis, o que o qualifica como um candidato promissor para integração em formulações farmacêuticas. A pesquisa concluiu ressaltando a aptidão do polissacarídeo de *Cordia dichotoma* como um excipiente potencial em preparações medicamentosas, reforçando a relevância dos polissacarídeos naturais no domínio farmacêutico.

Com base nas informações extraídas do documento, o estudo conduzido por Loganathan (2023) empregou a análise termogravimétrica (TGA) para avaliar a estabilidade térmica de compósitos à base de resina PLA com preenchimento de fibra natural de *Cordia dichotoma*. Vale ressaltar que o PLA, conhecido como Ácido Polilático, é um polímero biodegradável derivado de fontes naturais, como o amido de plantas, principalmente milho e cana-de-açúcar. A análise foi realizada em uma faixa de temperatura de 0 a 650°C, com um incremento mínimo de 25°C/min. Os resultados da TGA indicaram que a presença do preenchimento de fibra natural melhorou a estabilidade térmica do compósito em comparação com a resina PLA pura. Especificamente, foi observado que o compósito com preenchimento apresentava maior resistência ao calor do que a matriz de PLA pura. Além disso, a análise revelou que a estabilidade térmica da matriz de PLA não foi significativamente afetada pela presença do preenchimento de *Cordia dichotoma*. Em resumo, a análise térmica foi essencial para determinar a estabilidade e resistência térmica dos compósitos, fornecendo

informações sobre a influência do preenchimento de fibra natural nas propriedades térmicas do material.

Diante dos avanços e descobertas apresentados nos estudos citados, destaca-se a importância da análise térmica como instrumento de pesquisa no âmbito dos materiais compostos, em particular os que contêm *Cordia dichotoma*. Com base nisso, foi adotada uma metodologia para avaliar as propriedades térmicas de amostras liofilizadas da casca e da polpa de *Cordia dichotoma* originárias do solo brasileiro, mais precisamente da cidade de Campo Grande, situada no estado de Mato Grosso do Sul. Através da análise termogravimétrica, busca-se discernir particularidades dessas amostras, oferecendo uma visão detalhada de suas propriedades e potenciais aplicações. Tal abordagem visa não só expandir o conhecimento acerca da *Cordia dichotoma*, mas também definir referências para pesquisas subsequentes no campo.

3.3.3 TERMOGRAVIMETRIA (TGA) E TERMOGRAVIMETRIA DERIVADA (DTG)

Segundo Ionashiro e Giolito (2004), a Termogravimetria (TGA) é uma técnica termoanalítica que monitora a variação de massa de uma substância em relação à temperatura, enquanto a mesma é submetida a um controle de temperatura específico. Esta técnica é fundamental para acompanhar a perda ou ganho de massa da amostra ao longo do tempo ou em função da temperatura. Por outro lado, a Termogravimetria Derivada (DTG) é uma representação matemática da TGA, onde a derivada da variação de massa em relação ao tempo (dm/dt) é registrada em função da temperatura ou do tempo. Em termos simples, a DTG é a primeira derivada da TGA.

Sobre o equipamento de termogravimetria, Ionashiro, Caires e Gomes (2014) indicam que ele é composto essencialmente por uma termobalança, que permite a pesagem contínua de uma amostra à medida que ela é aquecida ou resfriada. Embora a configuração do equipamento possa variar entre os fabricantes, os princípios fundamentais permanecem consistentes. Os componentes principais de uma termobalança incluem uma balança, forno,

suporte de amostra, sensor de temperatura, programador de temperatura do forno, sistema registrador e controle da atmosfera do forno.

Figura 01 - Equipamento TGA Q50 da TA Instruments.



Fonte: Arquivo pessoal.

3.4 COMPOSTOS FENÓLICOS

Os compostos fenólicos, variando de simples moléculas a complexos polímeros, são essenciais em diversos processos biológicos e apresentam ampla aplicabilidade prática. Este segmento aborda a definição, os tipos e as funções dos compostos fenólicos, destacando sua importância biológica e propriedades benéficas. A análise inclui a investigação dos antioxidantes fenólicos da *Cordia dichotoma*, uma fonte promissora desses compostos. Além disso, discute-se a otimização do processo de extração, um aspecto crucial para maximizar a eficácia e aplicabilidade desses compostos, especialmente na indústria alimentícia e na promoção da saúde humana.

3.4.1 DEFINIÇÃO, TIPOS E FUNÇÕES DOS COMPOSTOS FENÓLICOS

Os metabólitos secundários das plantas, especialmente os compostos fenólicos, têm sua origem nas vias metabólicas do ácido chiquímico e da pentose fosfato. Esses compostos englobam uma ampla variedade, desde moléculas fenólicas simples até complexas estruturas polimerizadas, caracterizadas pela presença de anéis de benzeno com substitutos hidroxila. Ao desempenhar

funções essenciais em processos como polinização e defesa contra herbívoros, essas substâncias têm um papel crucial no desenvolvimento e na resistência das plantas (LIN et al., 2016; PEREIRA, 2014).

Dentre as várias classes de fenólicos, os ácidos fenólicos, flavonoides e antocianinas se destacam, sendo encontrados em alimentos como sementes e frutas. Sintetizados a partir de precursores como fosfoenol piruvato e acetil-CoA, formam um grupo heterogêneo com aproximadamente 10 mil compostos (VARGAS, 2022; KUMAR, 2019).

3.4.2 BENEFÍCIOS E PROPRIEDADES DOS COMPOSTOS FENÓLICOS

Notáveis por suas propriedades antioxidantes, esses compostos desempenham uma contribuição significativa para a saúde humana, proporcionando efeitos anti-inflamatórios, anticancerígenos e antimicrobianos. Sua interação com espécies reativas de oxigênio e nitrogênio desempenha um papel crucial na prevenção de patologias, como câncer e doenças cardiovasculares. (ABOUL-ENEIN; BERCZYNSKI; KRUK, 2013; ARCHIVIO et al., 2010).

Amplamente ingeridos na alimentação humana, esses compostos totalizam aproximadamente 1g por dia, especialmente em dietas abundantes em alimentos de origem vegetal. Além de sua função antioxidante, esses compostos desempenham um papel benéfico no metabolismo humano e contribuem para a prevenção de doenças crônicas. (KONDRASHOV, 2009; PACHECO & SGARBIERI, 1999).

Para além de suas funções biológicas, esses compostos exercem influência nas propriedades sensoriais dos alimentos, afetando características como cor, aroma e sabor, desempenhando um papel crucial na definição de atributos como adstringência e amargor. Como exemplo, as antocianinas desempenham um papel essencial na criação das tonalidades azuis, roxas e vermelhas em vegetais, ao passo que moléculas de peso molecular reduzido

contribuem para a formação de aromas distintivos. (TOMAS-BARBERAN; ESPIN, 2001; PARR; BOLWELL, 2000).

3.4.3 COMPOSTOS FENÓLICOS E A *CORDIA DICHOTOMA*

A *Cordia dichotoma* emerge como uma fonte rica em antioxidantes, especialmente seus flavonoides e ácidos fenólicos. O extrato de sua polpa demonstrou possuir propriedades antioxidantes superiores ao ácido ascórbico, eficazes na neutralização de radicais livres e na quelatação de metais (IBRAHIM, et al., 2019; TRIPATHI, 2023). Tal eficácia antioxidante é de grande relevância para a indústria alimentícia e para a promoção da saúde humana, enfatizando a importância de fontes naturais de antioxidantes na dieta (USMANI, et al., 2021; BIANCHI, ANTUNES, 1999; TURECK, 2017).

3.4.4 OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS

Os materiais vegetais passam por um processo de extração de compostos orgânicos para análises e desenvolvimento de produtos, sendo antecedidos por procedimentos preparatórios que incluem secagem e/ou liofilização, moagem, trituração e homogeneização do tamanho de partícula. (DAI; MUMPER, 2010). Considerada uma fase fundamental no processo de recuperação de compostos provenientes de materiais de origem natural, a extração pode ser realizada por meio de diversas metodologias. Em comparação com os métodos tradicionais de extração, como a maceração, as abordagens contemporâneas eficazes demonstram uma redução no tempo do processo, além de demandarem quantidades inferiores de solventes. (WANG et al., 2010; VIEIRA et al., 2017).

A forma e o tipo de solvente utilizado na extração, podem também levar a diferentes valores de quantificação no teor de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante. De acordo com Allothman; Bhat; Karim (2009) Existem diversas abordagens estabelecidas para a extração de compostos fenólicos, e, de maneira geral, esses protocolos variam quanto aos solventes e às condições aplicadas. Entretanto, a composição química do composto, a abordagem utilizada e o método de caracterização são variáveis adicionais que desempenham um papel significativo nos resultados obtidos. Cada variedade de

fruto apresenta propriedades químicas únicas, justificando a importância de uma pesquisa específica para a elaboração de uma metodologia de extração que maximize a obtenção dos compostos de interesse a partir desse material (ZANELA et al., 2018).

Os fitoquímicos são geralmente extraídos por meio de solventes orgânicos e formulações aquosas. No entanto, permanecem incertezas sobre o solvente mais adequado para a extração de polifenóis. A acetona, por exemplo, revelou eficácia na extração de polifenóis de flores de lichia, superando em desempenho o metanol, a água e o etanol (LIU et al., 2009). Entretanto, uma pesquisa adicional indicou que a água é o solvente mais eficaz para a extração de polifenóis da casca verde da noz (FERNÁNDEZ-AGULLÓ et al., 2013). Uma pesquisa revelou que solventes aquosos e orgânicos demonstram eficiências de extração superiores quando comparados com solventes orgânicos puros (METROUH-AMIR et al., 2015).

O método convencional de extração sólido-líquido de substâncias é realizado, de maneira geral, utilizando solventes orgânicos, como o álcool metílico, álcool etílico (VIEIRA et al., 2017). Extrações utilizando solventes são comumente empregados devido à sua eficiência, facilidade de uso e ampla aplicabilidade. O álcool metílico apresenta maior eficiência na extração de polifenóis de menor peso molecular (DAI; MUMPER, 2010). O etanol é amplamente empregado por pesquisadores devido à sua notável miscibilidade em água e em vários solventes orgânicos, como propanona, éter etílico, glicerol e tolueno. Além disso, sua habilidade para dissolver tanto substâncias polares quanto apolares, juntamente com sua baixa toxicidade, contribui para sua proeminência como um solvente de escolha. (KERTON; MARRIOTT, 2013). A utilização comum de solventes alcoólicos na extração de compostos fenólicos de fontes naturais destaca-se pela alta eficiência na obtenção do extrato final. (GIRONI; PIEMONTE, 2011).

A revisão da literatura indica que não há um solvente geralmente reconhecido como o mais eficaz para a extração de polifenóis. Contudo, existe uma tendência comum de considerar que solventes de maior polaridade geralmente apresentam melhor desempenho na extração de polifenóis, devido à sua maior solubilidade para esses compostos. Isso é atribuído a vários fatores,

incluindo o nível de conjugação e a presença de múltiplos grupos hidroxila, que influenciam a eficácia da extração de polifenóis. Com o objetivo de minimizar erros experimentais, reduzir variações aleatórias, otimizar custos operacionais e melhorar o desempenho e rendimento dos processos, são empregados planejamentos experimentais, Fidelis (2019). Nesse contexto, a viabilidade de expandir o processo para diversas aplicações comerciais requer a identificação de condições operacionais ideais (ŞAHIN et al., 2017).

Os alimentos com compostos fenólicos são uma tendência de saudabilidade, conceito ligado às principais tendências para a área de alimentos até 2030. De acordo com o Fórum Mundial Econômico, espera-se que até 2030 prevaleça um capitalismo focado em desenvolvimento social e impactos ambientais, equilibrando os interesses de todos os stakeholders. Aliado a essas perspectivas o aprimoramento do perfil nutricional dos alimentos representa uma relevante plataforma de inovação tecnológica, consonante com as estratégias de diversas indústrias visando a manutenção de padrões nutricionais mínimos em seus produtos. Por isso, grandes empresas da área incluem as metas de melhoramento do valor nutricional dos alimentos (ITAL, 2020).

3.5 PROPRIEDADES ANTIMICROBIANAS

A crescente resistência de microrganismos a medicamentos convencionais tem intensificado a busca por alternativas terapêuticas eficazes, tornando a análise antimicrobiana uma ferramenta indispensável na pesquisa científica contemporânea. Neste contexto e com o intuito de proporcionar uma visão mais abrangente e atualizada sobre as propriedades antimicrobianas da *Cordia dichotoma*, foram selecionados e analisados diversos artigos publicados em periódicos renomados.

3.5.1 PROPRIEDADES ANTIMICROBIANA DOS EXTRATOS DA *CORDIA DICHOTOMA*

No estudo conduzido por Nariya et al. (2011), foi investigada a atividade antimicrobiana de extratos metanólicos e butanólicos da casca de *Cordia*

dichotoma. Para avaliar a atividade antibacteriana, foram utilizadas quatro cepas bacterianas patogênicas, incluindo duas bactérias Gram-positivas (*St. pyogenes* e *Staphylococcus aureus*) e duas Gram-negativas (*Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*). Além disso, a atividade antifúngica dos extratos foi avaliada contra três fungos patogênicos comuns (*Aspergillus niger*, *A.clavatus* e *Candida albicans*). Os resultados revelaram que os extratos apresentaram uma notável inibição da zona de crescimento bacteriano e fúngico, sendo comparáveis aos medicamentos padrão utilizados no estudo. A atividade dos extratos aumentou linearmente com o aumento da concentração do extrato. Estes achados sugerem que a casca de *Cordia dichotoma* possui potencial antimicrobiano significativo, abrindo caminho para futuras investigações na descoberta de novos compostos bioativos naturais.

Jamkhande et al. (2019) realizaram uma análise abrangente sobre as propriedades antimicrobianas de diferentes amostras derivadas da planta. Utilizando técnicas como o ensaio de difusão em ágar e o método de difusão em disco, foi possível avaliar a atividade antibacteriana e antifúngica das amostras. Em particular, a atividade antibacteriana foi avaliada contra diversas cepas bacterianas, incluindo *P. aureogenosa*, *P. vulgaris*, *B. subtilis*, entre outras. Os resultados indicaram que as amostras exibiram um amplo espectro de atividade antibacteriana contra as cepas testadas, com zonas de inibição variando em tamanho, demonstrando sua eficácia. Além disso, a atividade antifúngica foi avaliada contra oito cepas patogênicas de fungos, e os resultados mostraram que as amostras possuíam um efeito inibitório notável contra cepas como *A. fumigates* e *V. myditis*. A determinação da Concentração Inibitória Mínima (MIC) também foi realizada, fornecendo ideias sobre a concentração efetiva das amostras contra os microrganismos testados. Em suma, o estudo destacou o potencial das amostras como agentes antimicrobianos eficazes, abrindo caminho para futuras investigações e aplicações terapêuticas.

Conforme apresentado por Patel et al. (2019), a análise antimicrobiana desempenhou um papel crucial na avaliação das propriedades de certos compostos. Através desta técnica, foi possível identificar a eficácia antimicrobiana de substâncias específicas, proporcionando colaborações

valiosos sobre seu potencial terapêutico. Os resultados obtidos evidenciaram a capacidade de certos compostos em inibir o crescimento de microrganismos patogênicos, destacando-se como candidatos promissores para futuras aplicações farmacêuticas. Esta abordagem não apenas ampliou o entendimento sobre as propriedades antimicrobianas dos compostos em estudo, mas também reforçou a importância da análise antimicrobiana como ferramenta essencial na pesquisa científica moderna.

No trabalho de Yaermaimaiti, Wu e Aisa (2021), destaca-se a investigação sobre os frutos de *Cordia dichotoma* e seu potencial medicinal. A fração de acetato de etila do extrato dos frutos demonstrou notável atividade antimicrobiana contra *Candida albicans*, *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. Através de técnicas cromatográficas, foram isolados 45 compostos, dos quais 40 eram fenólicos. Estes compostos exibiram significativa atividade antioxidante e alguns apresentaram atividade antiviral moderada contra o vírus da influenza A/Hanfang/359/95(H3N2). Os resultados sugerem que os frutos de *C. dichotoma* podem ser uma fonte promissora de compostos fenólicos bioativos, com potencial aplicação como conservantes na indústria alimentícia devido às suas robustas atividades antioxidante e antimicrobiana.

Em um estudo recente de Sharma e Mallubhotla (2022), foi evidenciado o papel significativo da análise antimicrobiana na avaliação das atividades de bactérias endofíticas isoladas de *Cordia dichotoma*, uma planta medicinal nativa da região de Jammu, na Índia. Utilizando métodos de esterilização de superfície padronizados, trinta e três bactérias endofíticas fenotípicamente distintas foram isoladas das partes de raiz, caule e folha da planta. Estas bactérias, pertencentes predominantemente aos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Paenibacillus*, produziram uma variedade de enzimas e demonstraram atividade antimicrobiana contra *Bacillus subtilis* e *Klebsiella pneumoniae*. O perfil metabólico por GC-MS do extrato bruto derivado do endofítico *B. thuringiensis* revelou a presença de compostos como dibutil ftalato e eicosano, conhecidos por suas atividades antibacterianas. Estes achados sublinham o potencial da espécie em abrigar bactérias endofíticas produtoras de metabólitos bioativos de relevância terapêutica.

Conforme documentado por Raghuvanshi et al. (2022), tem-se observado um crescente interesse nas propriedades antimicrobianas de plantas medicinais, dada a urgência em combater patógenos resistentes. Especificamente, os extratos metanólicos e butanólicos da casca de *C. dichotoma* revelaram notável eficácia contra diversas cepas bacterianas e fúngicas. Estes extratos exibiram uma inibição significativa da zona de crescimento bacteriano e fúngico. Adicionalmente, os resultados indicaram que os extratos de *C. dichotoma* possuem uma eficácia antimicrobiana moderada contra os patógenos testados. Entre os fitoconstituintes responsáveis por esta ação, ácido cafeico, hentricontanol e lupeol destacaram-se na atividade antibacteriana, enquanto lupeol mostraram-se proeminentes na atividade antifúngica. Estes achados reforçam o potencial terapêutico da espécie e sua relevância na pesquisa antimicrobiana contemporânea.

Tuli, Mittal e Tiwari (2023) destacam a importância da planta na medicina popular indiana e os diversos compostos fitoquímicos presentes em suas diferentes partes. Em relação à análise antimicrobiana, fornecem detalhes específicos sobre os resultados obtidos por meio desta técnica, indicando que a presença de alcaloides de pirrolizidina, cumarinas, flavonoides, saponinas, terpenos e esteróis em suas frutas e folhas sugerem um potencial terapêutico significativo, podendo apresentar atividades biológicas, incluindo ação antimicrobiana. Portanto, apesar do foco principal do documento ser a caracterização fitoquímica e as propriedades tradicionais da planta, a presença desses compostos indicam um potencial antimicrobiano que pode ser explorado em estudos futuros.

A análise antimicrobiana tem se mostrado uma ferramenta essencial na validação científica das propriedades terapêuticas tradicionalmente atribuídas a diversas plantas medicinais. A capacidade de quantificar e qualificar a eficácia de compostos vegetais contra patógenos específicos não apenas reforça seu valor medicinal, mas também abre caminho para a descoberta de novos agentes terapêuticos em um cenário global de crescente resistência antimicrobiana. Através dos estudos apresentados, fica evidente a riqueza e o potencial das plantas como fonte de compostos bioativos. Com essa compreensão, é crucial

avançar na discussão e detalhar a metodologia adotada para conduzir tais investigações, garantindo rigor e precisão nas análises realizadas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 COLETA E LIOFILIZAÇÃO DO FRUTO

Os frutos de *Cordia dichotoma* foram coletados (Figura 1) em área ou zona rural de Campo Grande, MS, localizada nas coordenadas geográficas de latitude -20.4002223 e longitude -54.6168561. Após a coleta (de cerca de 6 kg), os mesmos foram cuidadosamente acondicionados em caixas de papelão e transportados em condições ambiente até os laboratórios da Unidade de Ciência de Alimentos (Unical) da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Alimentos e Nutrição (Facfan) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), em Campo Grande - MS.

Figura 02 - Frutos de *Cordia dichotoma* após coleta.



Fonte: Arquivo pessoal

Ao chegarem ao laboratório, as hastes florais foram prontamente removidas. Os frutos passaram por lavagem em água corrente e, em seguida, sanitização em solução com 200 ppm de cloro ativo durante 10 minutos. Após esse processo, foram enxaguados e secaram naturalmente

Figura 03 - Casca (1); Polpa+semente (2); Mucilagem (3); Frutos inteiros (4).



Fonte: Arquivo pessoal

Visando a conservação das características originais do fruto, para possíveis análises que envolvam o fruto *in natura*, uma parte da amostra de 200 gramas foi separada. Esta foi acondicionada em embalagens multicamadas nylon/polipropileno, de 15 x 25 cm. Após serem seladas à vácuo com o equipamento Jetvac, as amostras foram novamente armazenadas no freezer para futuras análises.

Figura 04 - Frutos de *C. dichotoma* após coleta.



Fonte: Arquivo pessoal

Uma parte dos frutos foram despoldados manualmente utilizando faca de aço inoxidável e imediatamente submetidos à liofilização utilizando o liofilizador Alpha 1-2 LD plus, da marca Christ. Para este processo, 200g de cada parte do fruto foram dispostas em frascos de vidro e envolvidas em papel alumínio. Ao final foram obtidas polpa liofilizada (PL) e casca liofilizada (CL).

CL e PL foram trituradas com o auxílio de um moinho de facas da marca Tecnal, modelo Willye TE-648. As amostras foram acondicionadas em

embalagens multicamadas de nylon/polipropileno, submetidas a vacuo (Jetvac) e conservadas no congelador, assegurando sua integridade até as análises subsequentes.

4.2 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

A composição nutricional da polpa e casca liofilizada dos frutos de *C. dichotoma* foi determinada conforme metodologia proposta pelo (ZENEBON et al., 2008). Foram determinados, nas amostras liofilizadas (casca e polpa), o teor de água, proteínas, lipídeos, carboidratos e cinzas, com resultados expressos em g 100 g⁻¹.

A umidade foi determinada por gravimetria, utilizando estufa MARCA / MODELO a 105°C. Proteínas foram analisadas pelo método micro-kjeldahl, e lipídeos pelo extrato seco. Cinzas foram determinadas por incineração em mufla MARCA / MODELO.

As análises foram realizadas em triplicata, no Laboratório de Físico-química de Alimentos da Unical, Facfan, UFMS.

4.3 ANÁLISE TÉRMICA

As amostras da casca liofilizada (CL) dos frutos passaram por um processo de trituração para garantir uma área de contato otimizada e minimizar possíveis interferências durante a análise. O equipamento moedor da Tecnal Micro Moinho Tipo Willye TE-648 foi utilizado para este propósito.

A análise térmica foi conduzida utilizando o equipamento TGA Q50 da TA Instruments. A escolha do cadinho de platina, em detrimento do cadinho de cerâmica, foi feita devido à sua facilidade de limpeza e para evitar potenciais interferências no gráfico, especialmente ao lidar com matéria orgânica. Cerca de 4 mg de cada amostra foi pesada em balança semi-analítica da marca Shimadzu (AUW220D).

As análises foram realizadas em atmosferas de N₂ e ar atmosférico, com rampas de aquecimento estabelecidas em 5°C, 10°C, 15°C e 20°C. A rampa de

5°C foi realizada em triplicata, visando garantir a precisão e reprodutibilidade dos resultados.

4.4 ANÁLISE DE FENÓLICOS TOTAIS

No processo de determinação dos compostos fenólicos foram empregados três tipos de extratos: etanólicos, acetônicos e aquoso. Para isso, utilizou-se tanto a polpa liofilizada (PL) quanto a casca liofilizada (CL) dos frutos. A metodologia adotada para a extração seguiu as diretrizes estabelecidas pela Farmacopéia Brasileira (2010).

As amostras foram preparadas e analisadas no Laboratório de Pesquisa 03 (LP3), localizado no Instituto de Química da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Para garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados, todos os procedimentos foram realizados em triplicata, assegurando a consistência dos dados obtidos

A preparação das soluções necessárias para o experimento iniciou com a elaboração da curva padrão de ácido gálico (Tabela 1). A curva de calibração com ácido gálico foi preparada para quantificação de compostos fenólicos conforme descrito (MILIAUSKAS *et al.* 2004).

Tabela 01 - Dados para a elaboração da curva padrão.

Tubos Iniciais	Concentração (mg/mL)	Ac. Gálico 0,5 g/L (mL)	Etanol (mL)	Ácido Gálico (mL)	Folin Ciocalteau (mL)	Carbonato de Sódio (mL)
1	0,025	0,15	+2,85	0,5	2,5	2
2	0,075	0,45	+2,55	0,5	2,5	2
3	0,09	0,54	+2,46	0,5	2,5	2
4	0,105	0,63	+2,37	0,5	2,5	2
Branco			0,5	-	2,5	2
AMOSTRA				AMOSTRA	Folin Ciocalteau (mL)	Carbonato de sódio (mL)
	-	-	-	0,5	2,5	2

Fonte: MILIAUSKAS *et al.* (2004).

Foram preparadas as seguintes soluções: solução etanólica de Ácido Gálico 0,5 g/L; solução aquosa de Folin-Ciocalteu a 10% e solução aquosa de Carbonato de Sódio 7,5%.

A partir da Solução-mãe de Ácido Gálico, foram feitas diluições em tubos de ensaio com as seguintes concentrações: 0,025; 0,075; 0,09; 0,105 (g L⁻¹) em volume final de 3 ml. Os tubos foram numerados em ordem crescente de concentração. Retirou-se de cada tubo uma alíquota de 0,5 ml, e adicionou-se 2ml de solução aquosa de carbonato de sódio 7,5% e 2,5 ml de reagente aquoso de Folin-Ciocalteu a 10%. Em seguida, os tubos foram agitados e incubados por 5 minutos, em banho-maria a 50°C. Os tubos foram resfriados e foi realizada leitura em espectrofotômetro a 760 nm, conforme (ROESLER *et al.* 2007). Todos os pontos foram analisados em triplicata.

Foram elaborados extratos de PL e CL utilizando os solventes:

- solução de etanol em água destilada a 25%, 50%, 75% e 100%;
- solução de acetona em água destilada a 25%, 50%, 75% e 100%;
- água destilada.

Cerca de 0,3 g de PL e de CL foram dispostos em tubo tipo Falcon, sendo adicionado 10 mL de cada solvente elaborado. Os tubos foram mantidos em banho-maria (USC1400, Unique) a 45±1°C por 60 minutos, agitando eventualmente em agitador de tubos (Vortex Mixer, Vixar).

As análises de determinação de compostos fenólicos totais foram realizadas sob proteção da luz. Os extratos foram centrifugados a 4000 rpm por 5 minutos em centrífuga (4K15, Sigma). Nos sobrenadantes foram realizadas análises de fenólicos totais (SINGLETON; ROSSI, 1965). Foi adicionada água destilada nas amostras de cada extrato até um volume final de 2 ml. Em seguida, foram misturadas com 0,3 ml de uma solução saturada de carbonato de sódio (Na₂CO₃) e 0,1 ml do reagente Folin-Ciocalteu 1 mol L⁻¹ fenol. A mistura foi colocada durante 1h à temperatura ambiente e no escuro, já que compostos fenólicos degradam rapidamente na presença de luz e oxigênio. A absorbância foi medida em 760 nm em espectrofotômetro UV-VIS (IL-226-NM-BI, kasuaki)

conforme (ROESLER et al., 2007). Os resultados foram expressos como equivalentes de ácido gálico (EAG) por mg de amostra.

A quantificação de fenóis totais de cada amostra foi realizada utilizando a curva de calibração de ácido gálico preparada anteriormente. A concentração de ácido gálico em mg mL⁻¹ foi determinada, e o teor de fenóis foi expresso como mg de equivalente de ácido gálico (EAG) g⁻¹ de amostra.

Esta quantificação foi obtida aplicando a equação da reta obtida na curva padrão.

4.5 ANÁLISE DE ATIVIDADE ANTIMICROBIANA

Dado o objetivo final deste trabalho, que é o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis antimicrobianas para conservação de alimentos, e considerando as informações dos trabalhos anteriormente analisados, realizou-se um estudo do potencial antimicrobiano das embalagens frente a microrganismos de interesse para a indústria de alimentos. Para esta análise, foram selecionados cinco tipos de bacilos: *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, *Escherichia coli* e *Listeria monocytogenes*

Para garantir a precisão dos testes antimicrobianos nos extratos de *Cordia dichotoma*, foi essencial o preparo cuidadoso do material e a higienização rigorosa. Todos os materiais utilizados, incluindo placas de Petri, swabs, pipetas e tubos de ensaio, passaram por um processo de esterilização em autoclave FANEM modelo 415, sendo submetidos a uma temperatura de 150°C por 15 minutos. Os meios de cultura específicos preparados para os testes incluíram ágar Mueller-Hinton, ágar TSA (Tryptic Soy Agar) e caldo TSB (Tryptic Soy Broth). Além disso, foram realizados procedimentos experimentais adicionais, como a coloração Gram e a utilização da escala de McFarland, para assegurar a precisão e a eficácia dos testes.

Para a preparação das placas do meio de cultura de Ágar Mueller-Hinton, foi utilizado o pó de ágar Mueller-Hinton Kasvi K25-1058. Inicialmente, 15,2g do ágar foram adicionados a 400ml de água destilada. A mistura foi então dissolvida até alcançar uma homogeneização completa, processo facilitado pelo uso de um

microondas Eletrolux. Após a homogeneização, a solução foi autoclavada a uma temperatura de 120°C por um período de 15 minutos, garantindo a esterilização adequada para os procedimentos experimentais subsequentes.

Depois de esfriar até uma temperatura de aproximadamente 45-50°C, a solução foi despejada nas placas de Petri esterilizadas. Após o resfriamento e a formação de um aspecto gelatinoso pelo ágar, as placas foram armazenadas na geladeira. As placas, quando armazenadas corretamente, têm validade de 90 dias para serem utilizadas nos cultivos dos bacilos e experimentos.

No preparo das placas de ágar TSA, a metodologia adotada envolveu o uso de 12g de Soya casein digest medium (tryptone soya broth) da TM-MEDIA e 6g de ágar em pó puríssimo, ambos misturados em 400ml de água destilada. O processo de homogeneização e esterilização seguiu os mesmos passos aplicados anteriormente para o ágar Mueller-Hinton, garantindo a consistência e a eficácia do procedimento.

Para o preparo do caldo TSB (Tryptic Soy Broth), utilizou-se uma composição de 20g do Soya casein digest medium (tryptone soya broth) da TM-MÉDIA, 5g de NaCl e 1 litro de água destilada. Esses ingredientes foram homogeneizados em um recipiente de 1L até completa dissolução. Em seguida, 9 ml da solução preparada foram transferidos para tubos de ensaio, que foram autoclavados a 120°C por 15 minutos com a tampa semi-fechada. Após o resfriamento, os tubos foram completamente fechados e armazenados na geladeira para uso posterior.

Para a identificação de diferentes bacilos presentes na colônia, foi empregado o teste de coloração Gram, uma técnica desenvolvida pelo médico dinamarquês Hans Christian Gram em 1884. Este método é usado para classificar bactérias como Gram-positivas ou Gram-negativas. Este método envolve a fixação de uma amostra bacteriana em uma lâmina e a aplicação de um corante que penetra nas paredes celulares das bactérias. Dependendo da composição química das paredes, o corante é retido ou lavado com um solvente. A classificação Gram é crucial para identificar bactérias, influenciando a escolha de tratamentos e a resistência aos antibióticos. Embora seja uma técnica rápida e simples, a coloração de Gram não é infalível e geralmente é complementada

com outros testes para uma identificação mais precisa. Sua simplicidade e acessibilidade a tornam uma ferramenta valiosa em laboratórios ao redor do mundo. (MARTINS, 2019).

Para este procedimento, foram utilizados: uma bacia de vidro, suporte para lâminas, lápis delineador de olhos para marcação e os seguintes passos foram seguidos:

1 - Esterilização das lâminas de vidro e marcação dos locais para as amostras.

2 - Aplicação da solução cristal violeta sobre a lâmina, espera de 60 segundos e lavagem com água corrente.

3 - Cobertura da lâmina com solução de lugol por 30 segundos, seguida de lavagem com água.

4 - Lavagem com álcool 96% até a remoção completa da coloração roxa e, em seguida, lavagem com água.

5 - Aplicação de fucsina sobre a lâmina, espera de 30 segundos e lavagem com água.

6 - Secagem das lâminas com cuidado, usando papel, sem esfregar.

7 - Adição de uma gota de óleo de imersão sobre a lâmina e observação sob objetiva de imersão (100x).

Para ajustar a concentração de bactérias em uma cultura, foi utilizada a escala de McFarland, uma ferramenta padrão baseada em um padrão de turbidez. Esta escala é comparada com soluções padrão de McFarland e é comumente empregada em laboratórios clínicos para calibrar a concentração bacteriana em amostras destinadas a testes de sensibilidade aos antibióticos.

As soluções padrão de McFarland consistem em suspensões de esferovite (uma variação do sulfato ferroso) em diferentes concentrações, resultando em distintos níveis de turbidez. A escala varia de 0 a 10, sendo que 0 representa a menor concentração e 10 a maior. A solução padrão de McFarland 0,5 é utilizada para ajustar a concentração bacteriana a 1×10^8 UFC/mL, enquanto a McFarland 1,5 é usada para 1×10^7 UFC/mL. Esta escala é frequentemente empregada em laboratórios clínicos para padronizar a concentração de bactérias em amostras como urina, sangue e outros tecidos,

especialmente em testes de sensibilidade a antibióticos (COLLE, 1989; COWAN, 1999; MACFADDIN, 2000).

Para o procedimento em questão, foram preparados sete tubos com solução salina. Um dos tubos foi destinado à coleta de colônias, enquanto os demais foram usados para diluições, variando de 1×10^7 UFC/mL a 1×10^2 UFC/mL.

Segue o procedimento:

1. Foi utilizada a alça para coletar as colônias adequadas e introduzi-las no tubo preparado para 1×10^8 UFC/mL.
2. Ao atingir a turbidez de 0,5, com a solução bem homogeneizada, foi iniciado a série de diluições. Para isso, foram coletados 1ml da solução do tubo anterior e transferido para o próximo tubo, repetindo o processo até alcançar a diluição de 1×10^2 UFC/mL.
3. Após as diluições, foram utilizados os tubos de 1×10^3 UFC/mL e 1×10^2 UFC/mL para semear em placas TSA com o auxílio de um swab.
4. Incube as placas no BOD a 36°C por 24 horas.
5. Ao final do período de incubação, foi realizada a contagem das colônias formadas.

No processo de preparo dos discos impregnados com o extrato aquoso de CL e PL para análise microbiana, a metodologia de disco-difusão foi adotada. Esta técnica envolveu o uso de discos estéreis brancos de 6mm de diâmetro, fornecidos pela LABORCLIN. Os discos foram cuidadosamente impregnados com os extratos e utilizados para avaliar a atividade antimicrobiana dos mesmos.

Foram também utilizados: placas de Petri, água ultrapura esterilizada, pinças, tubos de ensaio de 10ml com tampa de rosca, papel alumínio, filme plástico para alimentos e pipeta de microlitros. Todo o procedimento foi realizado em uma capela que foi previamente esterilizada.

Segue o procedimento:

1. Utilizar a pipeta para coletar 1uL do extrato aquoso de CL e de PL.
2. Aplicar, com cuidado, o extrato nas placas de Petri previamente identificadas com as siglas CL e PL. Preparar um total de 60 placas.
3. Colocar as placas em uma estufa para secagem.

4. Após a secagem, armazenar os discos em tubos de ensaio com tampa de rosca.
5. Proteger os tubos envolvendo-os primeiro com papel alumínio e, em seguida, com o filme plástico para alimentos.
6. Guardar os tubos na geladeira para conservação.

Os antibióticos utilizados foram: *ácido pipemídico, amoxicilina, ampicilina, azitromicina, bacitracina, claritromicina, eritromicina, fluconazol, linezolida, nistatina, novobiocina, optoquina, sulfazotrim, teicoplanina e trimetoprima.*

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

No estudo dos compostos fenólicos, adotou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, com as análises sendo realizadas em triplicata. Os resultados dos compostos fenólicos totais foram analisados por ANOVA, com as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) usando o Software Origin 5.0. Para a análise estatística da atividade antimicrobiana, utilizou-se também o teste de Diferença Significativa Honestamente de Tukey (teste HSD de Tukey), seguindo um delineamento experimental inteiramente casualizado e realizando as análises em triplicata.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

Em contato com imigrantes de diversos locais do Brasil, o autor observou que a adaptação desta planta no território nacional foi excelente nos estados de Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, sendo que aqui, a janela temporal para a colheita dos frutos desta árvore se estende desde o final de novembro até o início de março. Durante seu ciclo de frutificação, é possível observar uma produtividade que varia entre 300 a 500 kg por árvore.

5.1 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados da composição centesimal dos frutos de *C. dichotoma in natura* e liofilizado (casca e polpa).

Tabela 2 - Composição centesimal dos frutos de *Cordia dichotoma* (casca e polpa) *in natura* e liofilizado.

Parâmetro (g 100 g⁻¹)	Casca <i>in</i> <i>natura</i>	Polpa <i>in</i> <i>natura</i>	Casca liofilizada	Polpa liofilizada
Umidade	60,55±0,20b	76,16±0,21a	5,46±0,28d	11,63±0,67c
Proteínas	4,53±0,22c	2,48±0,20d	13,76±0,29b	14,54±0,08a
Lipídeos	16,36±0,71c	1,42±0,12d	30,85±0,66a	24,97±0,27b
Cinzas	2,98±0,02c	2,60±0,001d	8,61±0,27b	11,46±0,26a
Carboidratos	6,68±0,84c	1,71±0,23d	13,37±0,68b	26,72±0,72a

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes entre colunas, e letras minúsculas diferentes entre linhas, indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados obtidos indicam que a casca dos frutos possui teores mais elevados de proteínas, lipídeos e carboidratos quando comparada à polpa ($p < 0,05$). Este achado é significativo, destacando a casca como uma fonte rica desses nutrientes. Além disso, o processo de liofilização mostrou-se eficiente na redução do teor de água dos frutos ($p < 0,05$), o que é crucial para a preservação de compostos com atividade antioxidante e antimicrobiana. Essa técnica de

secagem ajuda a manter as propriedades nutricionais e funcionais dos frutos, ampliando suas possibilidades de uso.

Em relação ao conteúdo de lipídeos, o fruto analisado apresenta um teor superior ao encontrado na polpa de frutos como araçá (0,49 g 100 g⁻¹) e cagaita (0,44 g 100 g⁻¹), mas inferior ao de chichá (21,15 g 100 g⁻¹), mangaba (2,37 g 100 g⁻¹) e murici (2,19 g 100 g⁻¹). Quanto às proteínas, o teor encontrado é similar ao da polpa de macaúba (2,76 g 100 g⁻¹) e de araticum (1,22 g 100 g⁻¹) (SILVA *et al.*, 2008).

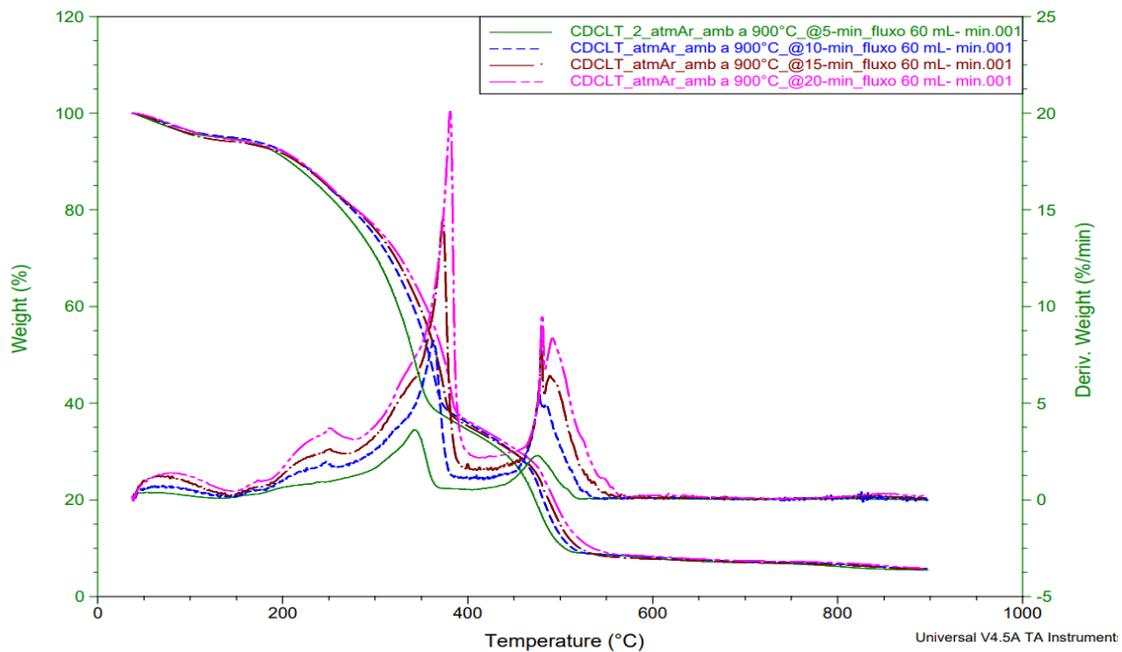
No estudo em foco, a *C. dichotoma* foi comparada com outras frutas, destacando-se por suas características únicas. A análise centesimal da Gabiroba (*Camponesia adamantium*), realizada por Alves *et al.* (2013), serviu como um ponto de comparação. A Gabiroba apresentou na sua casca um alto teor de umidade (63,70 g 100 g⁻¹), mas baixos teores de proteínas (3,17 g 100 g⁻¹), lipídeos (5,33 g 100 g⁻¹), carboidratos (3,00 g 100 g⁻¹) e cinzas (0,74 g 100 g⁻¹), contrastando com os valores encontrados na *C. dichotoma*. Sua polpa também mostrou maior teor de umidade (80,87 g 100 g⁻¹) e carboidratos (10,00 g 100 g⁻¹), mas menores valores de proteínas (1,06 g 100 g⁻¹), lipídios (0,55 g 100 g⁻¹) e cinzas (0,43 g 100 g⁻¹).

Da mesma maneira que a *C. dichotoma* se destacou em comparação com a Gabiroba (*Camponesia adamantium*), analisada por Alves *et al.* (2013), ela também mostrou características distintas quando comparada com a Mangaba (*Hancornia speciosa*), cuja composição centesimal foi estudada por Bramont *et al.* (2018). Enquanto a casca da Mangaba apresentou um teor de carboidratos mais elevado (42,60 g 100 g⁻¹) e menores quantidades de umidade (52,6 g 100 g⁻¹), proteínas (0,78 g 100 g⁻¹), lipídeos (3,59 g 100 g⁻¹) e cinzas (0,50 g 100 g⁻¹). A polpa da Mangaba, por outro lado, teve maior teor de lipídeos (2,57 g 100 g⁻¹) e carboidratos (20,04 g 100 g⁻¹), com valores mais baixos de proteínas (0,79 g 100 g⁻¹) e cinzas (0,50 g 100 g⁻¹), mas um teor de umidade (76,10 g 100 g⁻¹) similar ao da *C. dichotoma*. Essa comparação reforça a singularidade da *C. dichotoma*, destacando suas propriedades nutricionais únicas frente às outras frutas estudadas.

5.2 ANÁLISE TÉRMICA

Para melhor área de contato da amostra e eliminar as possíveis interferências no decorrer da análise, trituramos o material liofilizado com o equipamento moedor da Tecnal Micro Moinho Tipo Willye TE-648. Na Figura 5 estão apresentadas as curvas termogravimétricas da casca liofilizada (CL) de frutos de *C. dichotoma* em Ar atmosférico.

Figura 5: Curva termogravimétrica do fruto *C. dichotoma* - CL



Fonte: Arquivo pessoal

Observa-se que há uma sobreposição das corridas CL em atmosfera de ar, e também a perda da umidade das amostras na primeira curva. Apesar de serem liofilizadas, houve impregnação das moléculas de água devido à umidade do ar no momento das análises. Na sequência observamos a perda da celulose ou hemicelulose na segunda curva e na terceira a lignina.

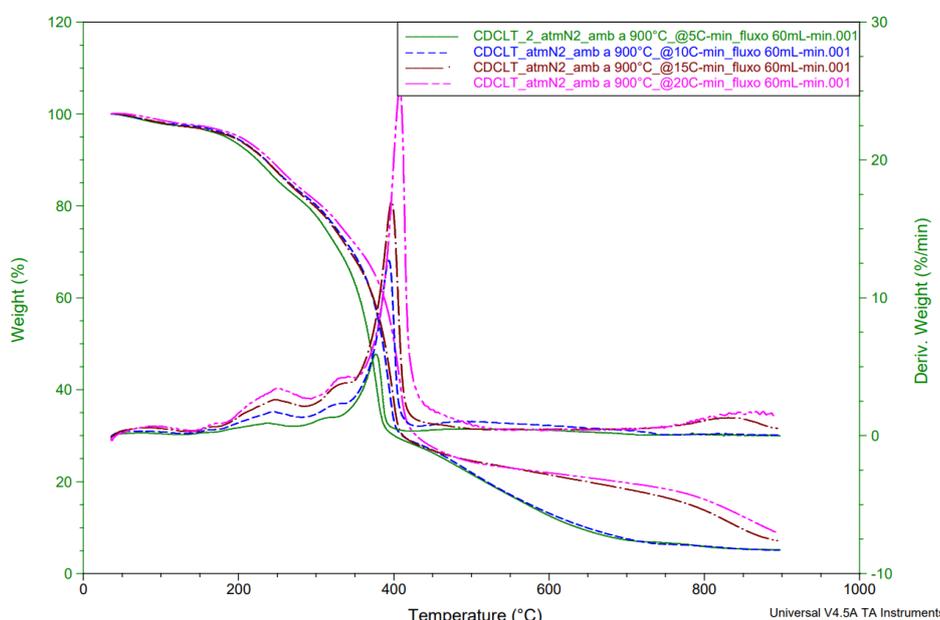
A análise da curva TG/DTG revelou quatro eventos principais. A leitura foi focada na DTG. O primeiro evento, identificado em torno de 109,4 °C com 95,52% da massa, corresponde à perda de água. O segundo evento, um pico observado entre 270,19 °C e 78,11% da massa até 370,06 °C e 38,19% da massa, está relacionado à decomposição de carboidratos, lipídeos e proteínas. O terceiro evento ocorre entre 472,2 °C e 19,80% da massa até 520,70 °C e 9,066% da massa, também associado à decomposição de carboidratos, lipídeos

e proteínas. O último evento corresponde aos resíduos de óxidos remanescentes.

Cada cor na curva TG/DTG acima representa o mesmo material CL em diferentes razões de aquecimento. Notamos que o deslocamento dos valores para as temperaturas mais altas e com isso podemos verificar a precisão da técnica pois todos estão nas mesmas regiões de perdas. A atmosfera em ar sintético por ser altamente oxidante, promove reações de liberação de energia pela formação do gás carbônico, portanto é um evento exotérmico.

Na Figura 5 apresenta-se os resultados da análise térmica da casca liofilizada do fruto de *C. dichotoma* em atmosfera de N₂ e Ar atmosférico.

Figura 6: Curva termogravimétrica da CL do fruto *C. dichotoma*



Fonte: Arquivo pessoal

Na análise da curva TG/DTG sob atmosfera de nitrogênio, identificou-se a quebra das ligações químicas. Devido à natureza inerte da atmosfera, a decomposição das frações em partes menores exige a absorção de energia. Diferentemente do que acontece na atmosfera de ar sintético (oxidante), onde os resíduos são óxidos, nesta atmosfera inerte, os resíduos são formados em óxidos, carvão e carbonatos. Os eventos observados na atmosfera de N₂ são endotérmicos, ou seja, envolvem a absorção de calor. No total, quatro eventos principais foram detectados na curva derivada desta análise.

A análise da curva de N₂ TG/DTG revelou quatro eventos principais. A leitura foi focada na DTG. O primeiro evento, identificado em torno de 122,36 °C com 97,42% da massa, corresponde à perda de água. O segundo evento, um pico observado entre 273,60 °C e 81,87% da massa até 406,89 °C e 52,88% da massa, está relacionado à decomposição de carboidratos, lipídeos e proteínas. O terceiro pico foi observado a 720,68 °C e 8,315% da massa, associado também à decomposição de carboidratos, lipídeos e proteínas.. O último evento corresponde aos resíduos remanescentes.

De acordo com Reddy et al. (2022) e outros estudos realizados por eles, identificou-se um comportamento térmico similar nos eventos analisados. A perda de umidade ocorre a 120°C, e os materiais mostram estabilidade térmica entre 350 e 400°C. Além disso, em atmosferas de N₂, observou-se um pico endotérmico em torno de 122°C e 97.42%, um fenômeno também relatado por Pawar et al. (2018) próximo a 119,5°C.

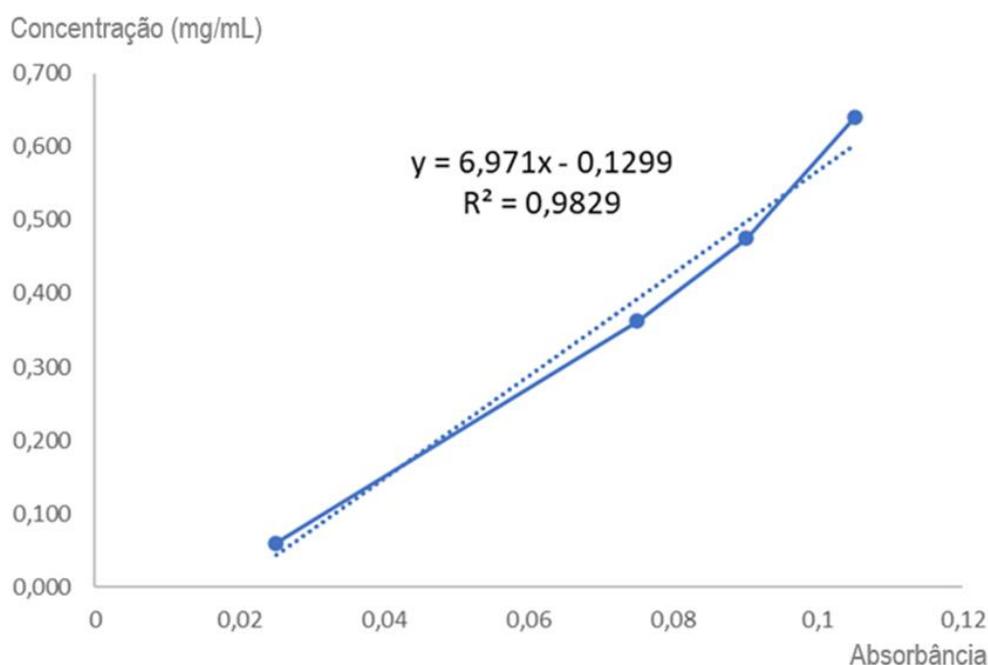
Os resultados mostraram que o fruto da *C. dichotoma* tem estabilidade térmica até de 120°C, indicando um grande potencial para a produção de embalagens biodegradáveis ativas com excelente resistência térmica, em comparação para produção de embalagens ativas

5.3 ANÁLISE DE FENÓLICOS TOTAIS

De acordo com Angelo e Jorge (2006), os flavonoides, ácidos fenólicos, taninos e tocoferóis são reconhecidos como os antioxidantes fenólicos mais comuns de origem natural. Apesar da importância desses compostos, ainda não foi desenvolvido um método totalmente eficaz para extrair todos ou uma categoria específica de compostos fenólicos presentes nos alimentos. A solubilidade desses compostos é influenciada pela polaridade do solvente utilizado, pelo grau de polimerização dos fenólicos e pelas suas interações com outros componentes dos alimentos. Os solventes mais empregados na extração desses compostos incluem metanol, etanol, acetona, água, acetato de etila, propanol, dimetilformaldeído e suas misturas (ANGELO; JORGE, 2006).

Na Figura 7 está apresentada a curva de calibração do ácido gálico, e a equação da reta utilizada para calcular o teor de fenólicos totais nos extratos elaborados a partir dos frutos de *Cordia dichotoma*.

Figura 7: Curva padrão do ácido gálico.



Fonte: Arquivo pessoal

Apresenta-se a seguir o estudo da otimização da concentração de fenólicos totais obtidos nos extratos etanólico, aquoso e acetônico, em quatro concentrações diferentes, nas porções casca e polpa liofilizadas dos frutos de *C. dichotoma*.

Os resultados da Tabela 03 em comparação que os teores de compostos fenólicos totais extraídos na casca são estatisticamente superiores aos da polpa ($p \leq 0,05$), quando utilizados os solventes água, acetona e a solução de etanol a 25%.

Referente à água destilada e a solução etanólica a 25%, os resultados das análises de dados indicaram que estes dois solventes foram os mais eficientes ($p \leq 0,05$) para extração de compostos fenólicos. Nas demais amostras, quanto maior o teor de água nas soluções utilizadas para elaboração dos extratos, maior o teor de fenóis totais extraído.

Assim, com base nos resultados obtidos pelas análises de dados, os indicativos são que os compostos fenólicos presentes nas amostras de *Cordia dichotoma* analisadas são polares, demonstrando maior afinidade pela água.

Tabela 03 - Resultado dos Fenólicos Totais

Extrato / parte do fruto		Casca	Polpa	
Acetônico	Aquoso	-	260,07±10,60Aa	193,17±5,89Ba
		25%	232,79±19,76Ab	157,57±0,44Bb
		50%	159,87±20,02Ac	151,71±6,96Ab
		75%	112,76±5,94Ad	109,59±4,59Ac
		100%	57,65±1,57Ae	56,68±1,68Ae
Etanólico		25%	260,72±7,053Aa	194,24±14,39Ba
		50%	165,68±15,08Ac	74,41±17,27Bd
		75%	58,46±5,87Ae	50,99±2,68Be
		100%	43,31±2,88Af	34,78±0,57Bf

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes entre colunas, e letras minúsculas diferentes entre linhas, indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

De acordo com a tabela 2, neste trabalho o extrato aquoso apresentou aproximadamente $260 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ para CL e $193 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ para PL. Já no extrato etanólico os resultados aproximados são de $43 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ para CL e $35 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ para PL. Em estudo similar realizado por Singh, Yadav e Kinger (2023) utilizando a planta *Cordia dichotoma* o extrato aquoso apresentou $86 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ e o extrato etanólico $6 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. Neste sentido a *C. dichotoma* deste estudo apresentou maiores valores de FT para o extrato aquoso e etanólicos.

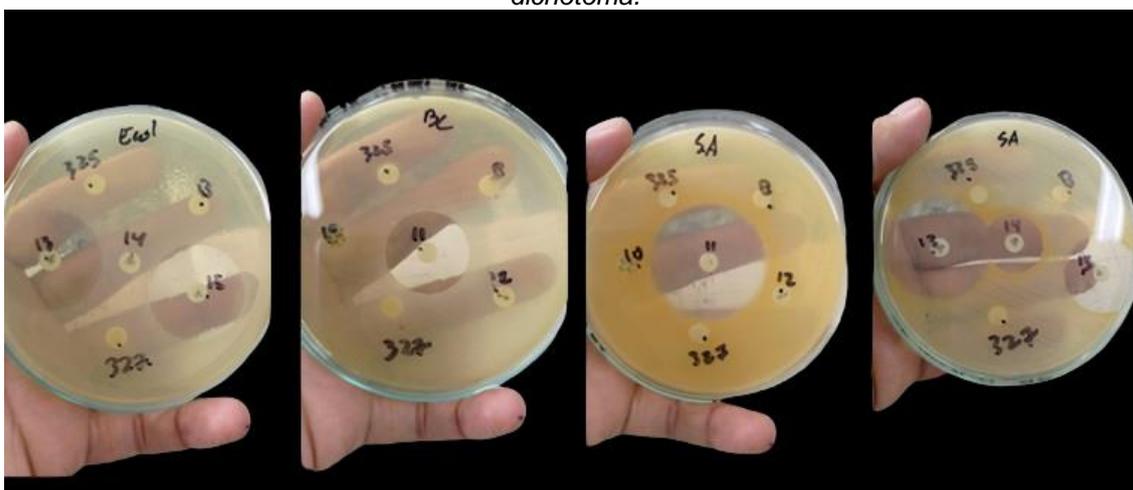
Os resultados de FT encontrados neste estudo utilizando o extrato etanólico foram muito próximos aos relatados por Ferreira (2015) para polpa liofilizada de frutos de laranjinha-de-pacu, com $250 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$.

5.4 ANÁLISE MICROBIANA

Nos primeiros testes foram notados que ocorreu contaminação no material, isto é, em menos de 48 horas apresentou crescimento dos fungos. Foi necessário a realização da esterilização do material liofilizado, via UV a 15 min na capela e via autoclave a 10 min com temperatura de 100°C . No entanto, apenas o material autoclavado não apresentou contaminação.

Dos testes iniciais realizados com os 15 antibióticos, os extratos aquosos e alcoólicos não mostraram atividade antimicrobiana às cepas utilizadas. Com isso, recorremos a outros meios de extração em meio etanólico como tintura, infusão e decocção. No entanto, os mesmos também não apresentaram atividade.

Figura 08 - Análise microbiano. Teste de disco-difusão com antibióticos e discos de *C. dichotoma*.



Fonte: Arquivo pessoal

Foi identificada a necessidade de reduzir o número de discos na placa e alterar a ordem dos antibióticos para evitar a sobreposição dos efeitos de inibição. Nos testes realizados, não foram observadas atividades microbianas, diferentemente dos resultados encontrados na literatura.

Raghuvanshi et al. (2022) e Nariya et al. (2011) notaram atividades antimicrobianas em extratos metabólicos e butanólicos da casca de *Cordia dichotoma* contra bactérias Gram-positivas (*St. pyogenes* e *Staphylococcus aureus*) e Gram-negativas (*Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*).

Jamkhande et al. (2019) e Patel et al. (2019) avaliaram a atividade antibacteriana contra várias cepas, incluindo *P. aureogenosa*, *P. vulgaris*, *B. subtilis*, entre outras, observando um amplo espectro de atividade antibacteriana com zonas de inibição de tamanhos variados.

Yaermaimaiti, Wu e Aisa (2021) descobriram que a fração de acetato de etila do extrato dos frutos de *Cordia dichotoma* mostrou notável atividade antimicrobiana contra *Candida albicans*, *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*.

6. CONCLUSÃO

A análise térmica realizada no fruto de *Cordia dichotoma* indicou que há resistência térmica do material até a temperatura de 120°C, demonstrando potencial de uso do fruto na elaboração de embalagens biodegradáveis (já que a temperatura de secagem dos filmes é inferior à temperatura relatada).

Neste estudo, foi evidenciado que a água e a solução de etanol em água a 25% foram os solventes mais eficientes para extrair compostos fenólicos na casca e na polpa do fruto pesquisado. Este resultado é interessante pois as embalagens biodegradáveis elaboradas com estes solventes poderiam ser comestíveis, reduzindo o descarte de materiais no meio ambiente e facilitando seu uso. Os resultados indicam teores de compostos fenólicos nos extratos elaborados com frutos de *Cordia dichotoma* consideravelmente superiores a outros frutos da mesma família. Estes dados confirmam o potencial de uso da espécie na elaboração de embalagens biodegradáveis ativas, com propriedades antioxidantes, que possam incrementar a conservação de alimentos, reduzindo perdas e contribuindo para a conservação do meio ambiente por meio da geração de resíduos.

Embora os extratos elaborados não tenham demonstrado atividade antimicrobiana frente aos microrganismos pesquisados, a literatura sugere a existência de tais propriedades, indicando a necessidade de estudos adicionais testando outros solventes ou outras metodologias de extração.

Esta pesquisa demonstra o potencial de uso da espécie estudada no campo da tecnologia de embalagens para alimentos. A combinação de análises térmicas com o estudo das propriedades bioativas e potencial antimicrobiano do fruto abre novos caminhos na ciência de alimentos e embalagens, ressaltando a importância de abordagens inovadoras e sustentáveis no desenvolvimento de novos produtos e tecnologias.

7. REFERÊNCIAS

- ABOUL-ENEIN, H. Y.; BERCZYNSKI, P.; KRUK, I. Phenolic compounds: the role of redox regulation in neurodegenerative disease and cancer. **Mini-Reviews in Medicinal Chemistry, Beijing**, v. 13, n. 3, p. 385-398, 2013.
- ALOTHMAN, M.; BHAT, R.; KARIM, A. A. Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents. **Food chemistry**, v. 115, n. 3, p. 785–788, 2009.
- ANGELO, P. M.; JORGE, N. **Compostos fenólicos em alimentos – uma breve revisão**. *Rev Inst Adolfo Lutz*, 2007.
- ARCHIVIO, M. d' et al. Bioavailability of the polyphenols: status and controversies. **International Journal of Molecular Sciences, Basel**, v. 11, n. 4, p. 1321-1342, 2010.
- AZEREDO, H. M. C.; FARIA, J. A. F.; AZEREDO, A.M. C. Embalagens ativas para alimentos. **Food Science and Technology**, v. 20, p. 337-341, 2000.
- BIANCHI, M. DE L. P.; ANTUNES, L. M. G. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. **Revista de Nutrição, [S. l.]**, v. 12, n. 2, p. 123-130, 1999.
- BITTENCOURT, V. R.; Grassi L. I.; Schú, A. I.; Dalla Nora F. M. **Embalagens ativas como novas abordagens sustentáveis e ambientalmente corretas: uma revisão da literatura**. *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos* 2, 217-32, 2020.
- BRASIL. **Farmacopeia Brasileira**. Brasília: Anvisa - Agência Nacional de Vigilância Sanitária, v. 1, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/farmacopeia/farmacopeia-brasileira/arquivos/8000json-file-1>.
- COLLEE, J. G.; FRASER, A. G. **Practical Medical Microbiology**. 14th Ed. Churchill Livingstone, 1989.
- COWAN, M. M. **Cowan and Steel's Manual for the Identification of Medical Bacteria**. 3rd Ed. Cambridge University Press, 1999.
- CUNHA, L. R. D.; SOARES, N. F. F.; ASSIS, F. C. C.; MELO, N. R.; PEREIRA, A. F.; SILVA, C. B. Desenvolvimento e avaliação de embalagem ativa com incorporação de lactase. **Ciênc.Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 23-26, ago. 2007.
- DAI, J.; MUMPER, R. J. Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. **Molecules**, Basel, v. 15, n. 10, p. 7313-7352, 2010.
- DEL NOBILE, M. A.; CONTE, A.; BUONOCORE, G. G.; INCORONATO, A. L.; MASSARO, A.; PANZA, O. Active packaging by extrusion processing of recyclable and biodegradable polymers. *Journal of Food Engineering*, v. 93, p. 1- 6, 2009.
- DEVLIEGHERE, F.; VERMEIREN, L.; DEBEVERE, J. New preservation technologies: Possibilities and limitations. *International Dairy Journal*, v. 114, p. 273-285, 2004.
- DIAS, A. B.; MÜLLER, C. M. O.; LAROTONDA, F. D. S.; LAURINDO, J. B. Biodegradable films based on rice starch and rice flour. *Journal of Cereal Science*, v. 51, p. 213-219, 2010.
- FERNÁNDEZ-AGULLÓ, A. et al. Influence of solvent on the antioxidant and antimicrobial properties of walnut (*Juglans regia* L.) green husk extracts. **Industrial crops and products**, v. 42, p. 126–132, 2013.
- FERRERA, T. S. et al. Substâncias fenólicas, flavonoides e capacidade antioxidante em ervaíras sob diferentes coberturas do solo e sombreamentos. **Revista brasileira de plantas medicinais**, v. 18, n. 2 suppl 1, p. 588–596, 2016.

- FIDELIS, M. **Otimização da extração de compostos fenólicos, atividade antioxidante, antimicrobiana e antiproliferativa de sementes de Myrciaria dúbia (H.B.K.) McVaugh e Myrciaria cauliflora (Mart.) O. Berg.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.
- FILHO, J. M. M.; NAGAI, L. Y.; NASCIMENTO, L. C. S.; NETO, A. A. C.; PENNA, A. L. B. Determinação do solvente ótimo para extração dos compostos fenólicos do fruto de buriti. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 8, n. 3, p. 22-28, 2017.
- GIRONI, F; PIEMONTE, V. Temperature and solvent effects on polyphenol extraction process from chestnut tree wood. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 89, n. 7, p. 857-862, 2011.
- GTI-ITAL. Itai - **Instituto de Tecnologia de Alimentos**. Disponível em: <<https://ital.agricultura.sp.gov.br/>>. Acesso em: 25 nov. 2023.
- GUILBERT, S.; GONTARD, N.; GOSSIS, L. G. M. Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. **LWT – Food Science and Technology**, v. 29, p. 10-17, 1996.
- HANSEN, R. E.; RIPPL, C. G.; MIDKIFF, D. G.; NEUWIRTH, J. G. Antimicrobial absorbent food pad. US n. 4865855, 12 setembro 1989.
- IBRAHIM, A. Y.; EL-NEWARY, S. A.; IBRAHIM, G. E. Antioxidant, cytotoxicity and anti-tumor activity of *Cordia dichotoma* fruits accompanied with its volatile and sugar composition. **Annals of agricultural science**, v. 64, n. 1, p. 29–37, 2019.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físicos-químicos para análise de Alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, p. 148-157, 2008
- IONASHIRO, M.; GIOLITO, I. Nomenclatura, padrões e apresentação dos resultados em análise térmica. **Cerâmica**, n. 8, 1980.
- IONASHIRO, M; GIOLITO, I. **Fundamentos da Termogravimetria, Análise Térmica Diferencial, Calorimetria Exploratória Diferencial**. São Paulo: Giz editorial, 2004
- JAMKHANDE, P. G. *et. al.* Plant profile, phytochemistry and pharmacology of *Cordia dichotoma* (Indian cherry): A review. **Asian Pacific journal of tropical biomedicine**, Singapore, v. 3, n. 12, p. 1009-1012, 2013.
- JAYARAMUDU, J. *et. al.* Structure and properties of new natural cellulose fabrics from *Cordia dichotoma*. **Carbohydrate Polymers**, [S. l.], v. 86, n. 4, p. 1623-1629, 2011.
- JORGE, N. **Embalagens para Alimentos**. 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013. 198p.
- KERTON, F. M.; MARRIOTT, R. Alternative Solvents for Green Chemistry. **Royal Society of chemistry**, ed. 2, p. 153-155, 2013.
- KONDRASHOV, A. *et al.* The key role of grape variety for antioxidant capacity of red wines. **European e-journal of clinical nutrition and metabolism**, v. 4, n. 1, p. 41–46, 2009.
- KUMAR, N.; GOEL, N. Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. **Biotechnology reports**, Amsterdam, v. 24, 2019.
- LIN, D. *et al.* An overview of plant phenolic compounds and their importance in human nutrition and management of type 2 diabetes. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 21, n. 10, p. 1374, 2016.
- LIU, S. *et al.* Antioxidant properties of various solvent extracts from lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) flowers. **Food chemistry**, v. 114, n. 2, p. 577–581, 2009.

- LUCHESE, C. L. **Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir de amido contendo subprodutos provenientes do processamento de alimentos**. 2018. 226 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.
- MACFADDIN, J. F. **Biochemical Tests for Identification of Medical Bacteria**. 3rd Ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2000.
- MANIGLIA, B. C. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais para preparação de filmes biodegradáveis**. 2017. 323 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2017
- MARTINS, T. L. R. **Microbiologia para o controle de qualidade em alimentos**. 2ª Ed. São Paulo: Atheneu, 2019. COLLE, 1989;
- MATIAS, F. F. A. *et al.* The genus *Cordia*: botanists, ethno, chemical and pharmacological aspects. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 25, p. 542-552, 2015.
- METROUH-AMIR, H.; DUARTE, C. M. M.; MAIZA, F. Solvent effect on total phenolic contents, antioxidant, and antibacterial activities of *Matricaria pubescens*. **Industrial crops and products**, v. 67, p. 249–256, 2015.
- NARIYA, P. B. *et al.* Antimicrobial and antifungal activities of *Cordia dichotoma* (Forster F.) bark extracts. **Ayu (an International Quarterly Journal Of Research In Ayurveda)**, Jamnagar, v. 32, n. 4, p. 585-589, 2011.
- PACHECO, M.; SGARBIERI, V. Revisão: Alimentos funcionais fisiológicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 7-19, 1999.
- PANZELLA, L. *et al.* Bioactive phenolic compounds from agri-food wastes: An update on green and sustainable extraction methodologies. **Frontiers in nutrition**, v. 7, 2020.
- PARR, A. J.; BOLWELL, G. P. Phenols in the plant and in man: the potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 80, p. 985- 1012, 2000.
- PAWAR, H. A.; GAVASANE, J. G; CHOUDHARY, P. D. Extraction of polysaccharide from fruits of *Cordia dichotoma* G. Forst using acid precipitation method and its physicochemical characterization. **International Journal of biological macromolecules**, Guildford, v. 115, p. 871-875, 2018.
- PEREIRA, A. C. *et al.* Avaliação de diferentes solventes na extração de compostos fenólicos totais em extratos farináceos do fruto de *Hymenaea stigonocarpa* L. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 10 n. 2, p. 158-169, 2019.
- PEREIRA, R. C.; ANGELIS-PEREIRA, M. C. **Compostos fenólicos na saúde humana: Do alimento ao organismo**. Lavras: Editora UFLA, p. 90, 2014.
- RAGHUVANSHI, D. *et al.* Phytochemistry, and pharmacological efficacy of *Cordia dichotoma* G. Forst. (Lashuda): A therapeutic medicinal plant of Himachal Pradesh. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, New York, v. 153, pag. 113400, 2022.
- RAQUEZ, J. M.; NABAR, Y.; NARAYAN, R.; DUBOIS, P. New developments in biodegradable starch-based nanocomposites. **International Polymer Processing**, v. 5, p. 463-470, 2007.
- REDDY, B. M. *et al.* A study on mechanical, structural, morphological, and thermal properties of raw and alkali treated *Cordia dichotoma*-polyester composite. **Polymer Composites**, [S. l.], v. 42, n. 1, p. 309-319, 2021.
- REDDY, B. M. *et al.* Development and characterisation of *Cordia Dichotoma* Fibre / Granite filler reinforced polymer blended (Epoxy/Polyester) hybrid composites. **Advances in Materials and Processing Technologies**, [S. l.], v. 8, p. 461-477, 2022.

- REDDY, B. M. *et al.* Mechanical, thermal and morphological properties of raw *Cordia dichotoma* fiber reinforced epoxy composites. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, [S. l.], v. 5, p. 100264, 2022.
- REDDY, B. M. *et al.* Study on the Effect of Granite Powder Fillers in Surface-treated *Cordia Dichotoma* Fiber-Reinforced Epoxy Composite. **Journal of Natural Fibers**, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 1-16, 2020.
- REDDY, K. H. *et al.* Effects of Carbon Fiber Hybridization on Mechanical, Structural, and Thermal Properties of *Cordia dichotoma* fiber-reinforced epoxy composite. **Journal of Natural Fibers**, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 2216950, 2023.
- ŞAHİN, S.; SAMLI, R.; TAN, A. S. B.; BARBA, F. J.; CHEMAT, F.; CRAVOTTO, G.; LORENZO, J. M. Solvent-Free Microwave-Assisted Extraction of Polyphenols from Olive Tree Leaves: Antioxidant and Antimicrobial Properties. **Molecules**, v. 22, n. 7, p. 1056, 2017.
- SHARMA, M.; MALLUBHOTLA, S. Diversity, Antimicrobial Activity, and Antibiotic Susceptibility Pattern of Endophytic Bacteria Sourced From *Cordia dichotoma* L. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 13, p. 879386, 2022.
- SOUZA, A. C.; DITCHFIELD, C.; TADINI, C. C. **Biodegradable films based on biopolymers for food industries**. In M. L. Passos, & C. P. Ribeiro (Eds), Innovation 132 in Food Engineering: New techniques and products, Boca Raton, FL: CRC Press, 2010, p. 511-537.
- TOMAS-BARBERAN, F. A.; ESPIN, J. C. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture, London**, v. 81, n. 9, p. 853-876, 2001.
- TRIPATHI, R.K.P. Current Trends and Future Prospects on the Therapeutic Potential of *Cordia dichotoma* G. Forst.-A Valuable Folk Medicine. **Current topics in medicinal chemistry**, Hilversum, v. 23, n. 17, p. 1579-1605, 2023.
- TURECK, C. *et al.* Evaluation of the Brazilian population's intake of antioxidant nutrients and their relation with the nutritional status. **Brazilian Journal of Epidemiology**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 30-42, 2017.
- USMANI, S. *et al.* Potencial antioxidante do extrato bruto, frações ricas em flavonóides e um novo composto das sementes de *Cordia dichotoma*. **Indian Journal of Natural Products and Resources**, v. 12, p. 437-444, 2021.
- VARGAS, G. C.; ANDRADE, E. H. B. Estudo Da Atividade Antioxidante Dos Compostos Fenólicos Na Medicina Preventiva: Revisão De Literatura. **Visão acadêmica**, v. 23, n. 1, 2022.
- VIEIRA, V.; PRIETO, M. A.; BARROS, L.; COUTINHO, J. A. P.; FERREIRA, O.; FERREIRA, I. C. F. R. Optimization and comparison of maceration and microwave extraction systems for the production of phenolic compounds from *Juglans regia* L. for the valorization of walnut leaves. **Industrial Crops and Products**, v. 107, p. 341-352, 2017.
- WANG, P.; ZHANG, Q.; WANG, Y.; WANG, T.; LI, X.; DING, L.; JIANG, G. Evaluation of Soxhlet extraction, accelerated solvent extraction and microwave-assisted extraction for the determination of polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in soil and fish samples. **Analytica Chimica Acta**, v. 663, n. 1, p. 43- 48, 2010.
- WEI, F. *et al.* Chemical Constituents of the Fruits of *Cordia dichotoma*. **Chemistry of Natural Compounds**, [S. l.], v. 59, n. 3, p. 559-561, 2023.
- YAERMAIMAITI, S.; WU, T.; AISA, H. A. Bioassay-guided isolation of antioxidant, antimicrobial, and antiviral constituents of *Cordia dichotoma* fruits. **Industrial Crops & Products**, [S. l.], v. 172, n. 3, p. 113977, 2021.

ZANELA, J. et al. Extração de compostos fenólicos e atividade antioxidante em subprodutos da industrialização da polpa de araçá Ya-Cy (*Psidium cattleianum* Sabine). **Brazilian Journal of Food Research**, v. 4, p. 14–26, 2018.