



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

MARIA EDUARDA LEMOS DE NOVAES SILVA

**EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MUCILAGEM OBTIDA DA PALMA  
FORRAGEIRA (*Opuntia ficus-indica*)**

RECIFE – PE  
2024

MARIA EDUARDA LEMOS DE NOVAES SILVA

**EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MUCILAGEM OBTIDA DA PALMA  
FORRAGEIRA (*Opuntia ficus-indica*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Farmácia do Centro de Ciência da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco, como pré-requisito à obtenção do título de Bacharel em Farmácia.

**Orientador:** Prof. Dr. Danilo Cesar Galindo Bedor.

**Coorientadora:** Me. Elizandra Maria da Silva.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Maria Eduarda Lemos de Novaes .

Extração e caracterização da mucilagem obtida da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) / Maria Eduarda Lemos de Novaes Silva. - Recife, 2024.  
43 : il., tab.

Orientador(a): Danilo César Galindo Bedor

Coorientador(a): Elizandra Maria da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências da Saúde, Farmácia - Bacharelado, 2024.

Inclui referências, anexos.

1. Caracterização físico-química. 2. Mucilagem. 3. *Opuntia ficus-indica*. 4. Palma forrageira. I. Bedor , Danilo César Galindo . (Orientação). II. Silva, Elizandra Maria da. (Coorientação). IV. Título.

610 CDD (22.ed.)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS**  
**CURSO DE BACHARELADO EM FARMÁCIA**



Aprovada em: 07/10/2024.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** **DANILO CESAR GALINDO BEDOR**  
Data: 07/10/2024 10:23:17-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Danilo César Galindo Bedor**  
**(Presidente e Orientador)**  
**Universidade Federal de Pernambuco**

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** **JULIANA KISHISHITA**  
Data: 07/10/2024 10:30:58-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Dra. Juliana Kishishita**  
**(Examinadora)**  
**Universidade Federal de Pernambuco**

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** **ASLEY THALIA MEDEIROS SOUZA**  
Data: 07/10/2024 10:36:00-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Ma. Asley Thalia Medeiros Souza**  
**(Examinadora)**  
**Universidade Federal de Pernambuco**

---

**Ma. Irla Carla de França Barbosa**  
**(Suplente)**  
**UNINASSAU**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pela saúde e oportunidade de concluir esse curso que foi tão sonhado por mim.

Aos meus pais, Carla e Paulo, que, com tanto amor e dedicação, se sacrificaram em meio às dificuldades e me permitiram chegar até aqui com tranquilidade.

A minha irmã, Paula, que sempre compartilhou comigo o desafio da vida, por ter sido minha companhia e suporte nos momentos difíceis, junto com a minha cachorrinha Fany.

A minha querida avó, Cristina, que sempre foi sinônimo de conforto e carinho, mesmo com as loucuras dos estudos, nunca deixou de me apoiar e sempre garantiu que eu tivesse as melhores oportunidades na vida.

Ao meu querido avô, Braulio, que hoje brilha como uma estrela no céu, por ter sido a minha primeira inspiração. Espero um dia ser, ao menos, metade do que o senhor foi em vida.

Aos meus queridos avôs maternos, Marilda e Jadeson, que me acompanham do céu, agradeço por mesmo de longe sempre terem apoiado os meus sonhos.

Aos meus outros familiares por todo apoio e compreensão durante essa etapa da minha vida.

Ao meu orientador, Danilo Bedor, por ter aberto as portas do NUDFAC quando eu ainda era apenas uma estudante do quinto período me permitindo amadurecer profissionalmente através de inúmeras oportunidades e conhecimentos até a conclusão do curso.

A minha coorientadora, Elizandra Maria, por todo apoio não apenas profissional, mas também emocional, durante a minha trajetória, sem a qual nada disso seria possível.

A equipe do NUDFAC, pelo acolhimento e cooperação durante minha trajetória acadêmica.

Aos parceiros NCQMC, NUDATEF e LABIOTEC, que proporcionaram toda ajuda necessária para realização deste trabalho. Muito grata pelo incentivo e parceria.

Aos meus amigos, que conheci dentro e fora da UFPE, por tornarem minha caminhada mais leve. Sem vocês nada disso seria possível.

Ao grupo BTS que através de suas músicas me incentivaram a nunca desistir dos meus sonhos.

Obrigada !!

“Você só vive uma vez. Então viva a sua vida, não qualquer outra. Arrisque-se e nunca se arrependa” (Intro: O!RUL8,2?, BTS)

## RESUMO

Popularmente conhecida como Palma Forrageira, os cactos do gênero *Opuntia spp.* encontram-se amplamente distribuídos pelo mundo, sendo localizados no Brasil, principalmente na faixa semiárida de Alagoas e no agreste de Pernambuco e Paraíba. Dentro desse gênero, o grande destaque está na *Opuntia ficus-indica* conhecida popularmente como “orelha-de-onça”, “redonda”, “gigante”, “graúda” ou “azedada”. A literatura destaca amplamente suas propriedades medicinais e nutricionais, com aplicações no manejo de diversas doenças. Suas ações são possíveis graças à sua diversidade composicional, que inclui fibras insolúveis, hidratos de carbono complexos, proteínas, minerais, compostos aromáticos, polifenóis, lipídios, vitaminas e carotenóides. Entre os principais fitocompostos, a mucilagem tem ganhado destaque por sua ampla aplicação comercial. Este polímero natural de alto peso molecular possui uma composição e proporção de componentes variáveis. Neste contexto, o presente trabalho visa à obtenção da mucilagem proveniente dos cladódios de *Opuntia ficus-indica* e à sua caracterização físico-química. A extração foi realizada por meio de duas técnicas distintas, e a caracterização foi conduzida com as amostras líquidas para análise de pH e, após a liofilização, em pó para DRX, FTIR e TG. Os resultados revelam pequenas variações entre as metodologias de extração testadas, mas sem comprometer as propriedades promissoras da mucilagem, como a presença de oxalato de cálcio, acidez moderada, baixa cristalinidade e a necessidade de altas temperaturas para desidratação. No entanto, os rendimentos insatisfatórios observados indicam a necessidade de estudos adicionais para o aprimoramento do processo.

**Palavras-chave:** Caracterização físico-química; Mucilagem; *Opuntia ficus-indica*; Palma forrageira.

## ABSTRACT

Popularly known as Fodder Palm, cacti of the genus *Opuntia spp.* are widely distributed throughout the world and are found in Brazil, mainly in the semi-arid region of Alagoas and in the agreste region of Pernambuco and Paraíba. Within this genus, *Opuntia ficus-indica*, popularly known as “orelha-de-onça”, “redonda”, “gigante”, “graúda” or “azedada”, stands out. The literature widely highlights its medicinal and nutritional properties, with applications in the management of various diseases. Its actions are possible thanks to its compositional diversity, which includes insoluble fibers, complex carbohydrates, proteins, minerals, aromatic compounds, polyphenols, lipids, vitamins and carotenoids. Among the main phytochemicals, mucilage has gained prominence due to its wide commercial application. This high molecular weight natural polymer has a variable composition and proportion of components. In this context, this study aims to obtain mucilage from *Opuntia ficus-indica* cladodes and to characterize it physicochemically. Extraction was carried out using two different techniques, and characterization was conducted using liquid samples for pH analysis and, after freeze-drying, powder samples for XRD, FTIR and TG. The results reveal small variations between the extraction methodologies tested, but without compromising the promising properties of the mucilage, such as the presence of calcium oxalate, moderate acidity, low crystallinity and the need for high temperatures for dehydration. However, the unsatisfactory yields observed indicate the need for further studies to improve the process.

**Keywords:** Fodder palm; Mucilage; *Opuntia ficus-indica*; Physico-chemical characterization.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - <i>Opuntia ficus-indica</i> (A) e seus cladódios (B).....	14
<b>Figura 2</b> - Frutos (A) e flor (B) da <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	15
<b>Figura 3</b> - <i>Opuntia ficus-indica</i> no município de sertânia.....	20
<b>Figura 4</b> - Cladódios de <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	21
<b>Figura 5</b> - Cladódios de <i>Opuntia ficus-indica</i> cortados (A) e descascados(B).....	22
<b>Figura 6</b> - Cladódios de <i>Opuntia ficus-indica</i> imersos em água.....	22
<b>Figura 7</b> - Filtração dos Cladódios de <i>Opuntia ficus-indica</i> congelados.....	23
<b>Figura 8</b> - Mucilagem liofilizada.....	24
<b>Figura 9</b> - Mucilagem em pó.....	24
<b>Figura 10</b> - Cladódios de <i>Opuntia ficus-indica</i> filtradas em sacos de nylon.....	25
<b>Figura 11</b> - Diálise em membrana de acetato celulose.....	26
<b>Figura 12</b> - Mucilagem liofilizada (A) e em pó (B).....	26
<b>Figura 13</b> - Difratoograma de raios X da mucilagem obtida pela metodologia B.....	30
<b>Figura 14</b> - Difratoograma de raios X da mucilagem obtida pela metodologia A.....	31
<b>Figura 15</b> - Análise por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier da mucilagem obtida pela metodologia B e A.....	32
<b>Figura 16</b> - Análise Termogravimétrica da mucilagem obtida pela metodologia A.....	35
<b>Figura 17</b> - Análise Termogravimétrica da mucilagem obtida pela metodologia B.....	36

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Compostos presentes na Mucilagem da <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	18
<b>Tabela 2</b> - Medidas de pH na literatura .....	29
<b>Tabela 3</b> - Bandas de absorção obtidas no FTIR da <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	34

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
3.1 <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	14
3.1.1 Descrição botânica.....	14
3.1.2 Origem, Habitat e Distribuição Geográfica.....	15
3.1.3 Aplicações.....	16
3.1.4 Características físico-químicas.....	16
3.2 MUCILAGEM OBTIDA DA <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	17
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>20</b>
4.1 OBTENÇÃO DOS CLADÓDIOS.....	20
4.1.1 Identificação botânica.....	20
4.2 MUCILAGEM.....	21
4.3 CARACTERIZAÇÃO DA MUCILAGEM.....	27
4.3.1 pH.....	27
4.3.2 Análise por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....	27
4.3.3 Análise por difratometria de raios X (DRX).....	28
4.3.4 Análise Térmica-Termogravimetria (TG).....	28
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>29</b>
5.1 RENDIMENTO.....	29
5.2 PH.....	29
5.3 DRX.....	30
5.4 FTIR.....	32
5.5 TG.....	35
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>43</b>
ANEXO A - FICHA DE IDENTIFICAÇÃO BOTÂNICA.....	43

## 1. INTRODUÇÃO

O gênero *Opuntia spp.* pertencente à família das Cactáceas, popularmente conhecido como palma forrageira e normalmente encontra-se distribuída em regiões do Mediterrâneo, África do Sul, América Central, América do sul e Caribe (Sáenz *et al.*, 2013). No Brasil esse gênero apresenta predominância no Nordeste, com preferência na faixa semiárida de Alagoas e no agreste de Pernambuco e Paraíba (Lira; Santos; Dias, 2017).

As cactáceas são conhecidas mundialmente pela sua vasta atuação na alimentação humana, como fonte de energia, na produção de forragem e nutrição animal, indústria de cosméticos, fabricação de adesivos, corante, fibras e antitranspirantes (Chiacchio; Mesquita; Rodrigues, 2006; Santos *et al.*, 2012). No Brasil, está fortemente ligada ao agronegócio, que é um setor econômico importante e rentável para a economia (Silva; Ribeiro, 2022), além de participação nos setores alimentício, de biocombustíveis e farmacêutico (Silva; Sampaio, 2015; Ramadan; Morsel, 2003; Lucena *et al.*, 2012).

Entre as espécies pertencentes a esse gênero, uma das que mais se destaca é a *Opuntia ficus-indica* (Alves *et al.*, 2008 Lira *et al.*, 2017), conhecida popularmente como “orelha-de-onça”, “redonda”, “gigante”, “graúda ou “azedada” (Silva; Sampaio, 2015). Apresenta composição química abrangente e variável com a presença de fibras insolúveis, hidratos de carbono complexos, proteínas, minerais, compostos aromáticos, entre outros (Cunha *et al.*, 2003; Malainine *et al.*, 2003; Stintzing; Carle, 2005). São amplamente relatados na literatura em decorrência da sua ação gastroprotetora, antioxidante, anti-inflamatória, emoliente, neuro protetora e hipocolesterolêmica (Silva; Sampaio, 2015).

A partir do gênero *Opuntia spp.* são extraídos biopolímeros conhecidos como mucilagem que apresentam uma larga aplicação em todo mundo (Saenz *et al.*, 2013). Quando obtidos dos cladódios, casca e das polpas dos frutos da *Opuntia ficus-indica* são considerados hidrocolóide com uma grande capacidade de absorção de água formado por um complexo de heteropolissacarídeos compostos por resíduos de açúcar de alto peso molecular (Sáenz; Sepúlveda; Matshurito, 2004; Souza *et al.*, 2019). Sendo relatados em diferentes ambientes de aplicação como em revestimento, filme comestível, absorvente para água (Salehi *et al.*, 2019), encapsulamento de biomoléculas e pigmentos dos vegetais (Procacci *et al.*, 2021).

Diante da ampla aplicação e composição relatadas em diversos estudos sobre a mucilagem da *Opuntia ficus-indica*, há um incentivo para buscar uma compreensão mais aprofundada de suas características físico-químicas, bem como a investigar diferentes métodos extrativos que possam ser utilizados para essa finalidade. Em virtude disso, o

presente trabalho teve como objetivo obter a mucilagem advinda dos cladódios de *Opuntia ficus-indica* por meio da extração e realizar sua caracterização físico-química através da aplicação de técnicas como pH, FTIR, DRX e TG.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Obter a mucilagem advinda dos cladódios de *Opuntia ficus-indica* por meio da extração e realizar sua caracterização físico-química.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extração a partir da adaptação do método de Oliveira (2018);
- Extração a partir da adaptação do método de Otálora, Wilches-Torres e Castano (2021);
- Caracterização físico-química da mucilagem através da utilização do pH;
- Caracterização físico-química da mucilagem através da Difractometria de Raios X (DRX);
- Caracterização físico-química da mucilagem através da Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR);
- Caracterização físico-química da mucilagem através da Análise Térmica (TG).

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

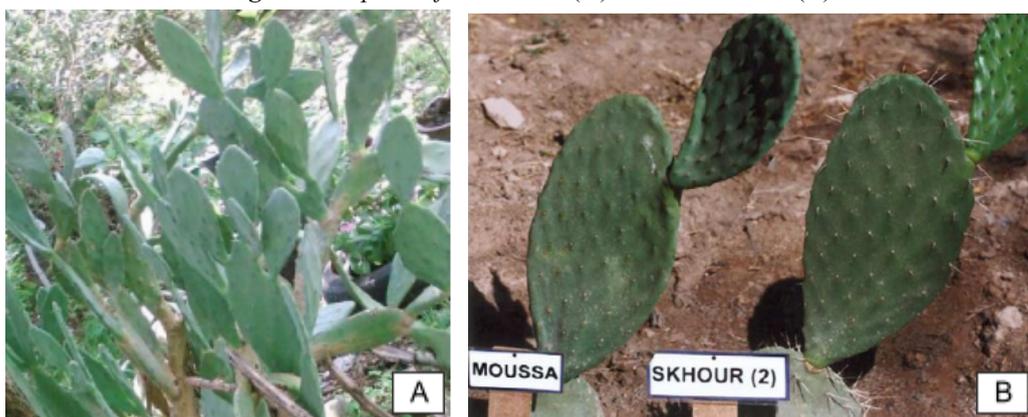
#### 3.1 *Opuntia ficus-indica*

##### 3.1.1 Descrição botânica

A *Opuntia ficus-indica* (Figura 1A) pertence ao reino Plantae fazendo parte da família Cactácea sendo uma planta arbustiva, ramificada e suculenta com porte variável (Gonzalez *et al.*, 1990). Considerada uma planta perene, formada por raiz e caules carnudos que a depender da época do ano vai apresentar flores e frutos (Oniszczuk *et al.*, 2020). Apresenta ainda um sistema radicular superficial, com distribuição horizontal que são fundamentais para sobrevivência da planta em períodos prolongados de seca (Sudzuki, 1999).

Em sua porção aérea a *Opuntia ficus-indica* é composta por estruturas parecidas com folhas carnudas, mas que são caules suculentos e articulados, conhecidos popularmente como talos descritos botanicamente como cladódios (Figura 1B), representam a porção mais consumida da *Opuntia*. Usualmente apresentam formato ovalado ou de raquete alongada, com comprimento variando entre 60-70 cm e com espessura de 2-3 cm podendo ser formada ou não por espinhos (Garcia *et al.*, 2004; Sáenz *et al.*, 2006).

**Figura 1** - *Opuntia ficus-indica* (A) e seus cladódios (B)



Fonte: Salehi *et al.*, 2019.

Fonte: Martins, 2011.

Seu fruto é popularmente conhecido como “figo-da-índia” (Figura 2A) são doces, suculentos, com formato ovóide, globosa, cilíndrica e umbilicada na porção externa superior. Apresentam cor variando entre amarela, laranja, roxa ou vermelha com a presença de grande volume de polpa e com uma casca de espessura em geral fina, mas que pode variar. Seu

comprimento está entre 4,8-10 cm, e sua largura de 4-8 cm (Alves *et al.*, 2008; Saenz *et al.*, 2006). Enquanto, suas flores (Figura 2B) são grandes, com 7-8 cm de diâmetro, com coloração amarelada ou alaranjada e se localizam quase sempre na parede apical da margem dos cladódios (Scheinvar, 2001).

**Figura 2** – Frutos (A) e flor (B) da *Opuntia ficus-indica*



Fonte: Alves *et al.*, 2008.

Fonte: Martins, 2011.

### 3.1.2 Origem, Habitat e Distribuição Geográfica

A *Opuntia ficus-indica* tem origem no México e encontra-se amplamente distribuída em continentes como América Central, América do Sul, Austrália, África do Sul e em países do mediterrâneo (Sáenz *et al.*, 2006). Sendo considerada uma planta de clima tropical ou subtropical marcada por crescimento selvagem em regiões áridas e semiáridas (Ennouri *et al.*, 2006) em decorrência aos seus diversos mecanismos de adaptação e grande capacidade de produção de biomassa (Galati *et al.*, 2001) podendo assim se desenvolver em condições de solos pobres nutricionalmente, temperatura altas e secas (Barbera *et al.*, 1999).

No Brasil, predomina-se duas principais espécies do gênero *Opuntia spp.* a *Nopalea cochenillifera* e a *Opuntia ficus-indica* conhecida como “redonda”, “orelha-de-onça”, “gigante”, “graúda” ou “azedada” (Silva; Sampaio, 2015), que se encontra amplamente distribuídas nas regiões do Nordeste em especial nos estados de Alagoas, Paraíba e Pernambuco (Lira; Santos; Dias, 2017).

### 3.1.3 Aplicações

A milhares de anos a *Opuntia spp.* é descrita dentro da medicina tradicional como uma boa fonte de nutriente relacionado à nutrição e saúde humana (Stintzing; Carle, 2005). Na qual, existem relatos de sua utilização desde o período pré-hispânico pela população do México (Chiacchio; Mesquita; Rodrigues, 2006; Santos *et al.*, 2022).

Os produtos obtidos dos cladódios são marcados pela ação cicatrizante, antiulcerosa e anti-inflamatória, sendo relatado na minimização de doenças como diabetes mellitus, hiperlipidemia e quadros de obesidade (García *et al.*, 2007; Galati *et al.*, 2001). Não só isso, mas a partir de seus frutos que além do tratamento de diabetes apresentam ações no tratamento da arteriosclerose, gastrite e hiperglicemia (Wang *et al.*, 2023).

Suas aplicações não se limitam apenas a saúde, sendo descrita sua utilização nas Américas para produção de pirâmides pelos povos pré-colombianos (Souza, 2019), na produção de corantes em decorrência da preferência parasitária da fêmea Cochinilha (*Dactylopius coccus*) rica em corante vermelho de alta qualidade utilizadas na indústria de alimento, na produção e no rendimento energético (Rodríguez-Leyva *et al.*, 2024). Além da utilização em países como África, na proteção de processos de erosão em solos de regiões áridas (Malainine *et al.*, 2003).

No Brasil, sua utilização ainda não é muito bem explorada, sendo marcada principalmente para o agronegócio através da produção de forragem para alimentação principalmente de ruminantes nos estados de Alagoas, Paraíba e Pernambuco (Lira; Santos; Dias, 2017).

### 3.1.4 Características físico-químicas

As características físico-químicas do gênero *Opuntia spp.* são influenciadas por uma variedade de fatores, incluindo o grau de maturação, condições edafoclimáticas (tipo de solo, clima e condições de crescimento), tratamento e condições pós-colheita. Fazendo com que os valores obtidos em diferentes análises não sejam absolutos (Stintzing; Carle, 2005).

Na espécie *Opuntia ficus-indica*, os cladódios são considerados um dos elementos mais importantes da planta em decorrência da sua ampla utilização e por isso sua composição química e física vem sendo cada vez mais pesquisada (Méndez *et al.*, 2015; Maiuolo *et al.*, 2024). Em uma coletânea de estudos realizado por Malainine *et al.* (2003), foram relatados em 100 g de matéria seca a presença de 19,6g de cinzas; 7,2 g de lipídios e ceras; 3,6 g de

lignina; 21,6g de celulose e 48g de outros polissacarídeos. Estudos paralelos, no entanto, relatam a presença de 64-71g de carboidratos; 18g de fibras; 19-23,5g de cinzas; 1-4g de lipídios e 4-10g de proteínas. Em peso fresco, esses valores foram ajustados para 3-7g de carboidratos, 1-2g de minerais, 0,5-1g de proteína; 0,2g de lipídeos e 1g de fibras (Stintzing; Carle, 2005). Além da alta concentração de carboidratos da *Opuntia ficus-indica* também se destacam o teor de água que variam entre 80 a 95% (Murillo-Amador *et al.*, 2002).

A composição mineral da *Opuntia ficus-indica* também foram relatadas em estudos recentes composta majoritariamente em ordem decrescente por potássio, cálcio, magnésio, manganês, zinco e cobre (Stintzing; Carle, 2005). Essas características composicionais permitem a cactácea manter-se estável por longos períodos, com pouca ou nenhuma degradação dos seus componentes quando exposta a ambientes altamente alcalinos (Martinez-Molina *et al.*, 2015).

Em uma análise mais detalhada, a composição da *Opuntia ficus-indica* é formada principalmente por fibras insolúveis, hidratos de carbono complexos (mucilagem, celulose, pectina), proteínas, minerais, compostos aromáticos (betacianinas e betaxantinas), polifenóis (quercetina, caempferol, taxifolina e proantocianidinas) lipídios (esteróis e ácidos graxos), vitaminas (C e E) e carotenóides (Stintzing; Carle., 2005).

### 3.2 MUCILAGEM OBTIDA DA *Opuntia ficus-indica*

A mucilagem advinda da *Opuntia ficus-indica* é um polímero natural produzido nas células mucilaginosas dos parênquimas presente no interior dos tecidos em diferentes estruturas, como nos frutos (cascas e polpa) e cladódios. Sua liberação natural está relacionada à proteção dos tecidos, ajudando a reduzir danos causados por variações de temperatura (Procacci *et al.*, 2021; Sáenz; Sepúlveda; Matshurito, 2004; Bouaouine *et al.*, 2018). A produção de mucilagem, característica marcante da família cactácea, desempenha papel fundamental na retenção e liberação de água, sendo essencial para fisiologia das plantas, especialmente porque as espécies de *Opuntia* crescem normalmente sob condições de estresse hídrico (Sáenz; Sepúlveda; Matsuhira, 2004). Além disso, a mucilagem possui a capacidade de precipitar íons, bactérias, partículas de soluções aquosas, além de interagir com cátions, metais e substâncias biológicas (Trachtenberg; Mayer, 1981).

Diversas aplicações da mucilagem são relatadas na literatura. Utilizadas como revestimento e filme comestível para expandir a vida útil de produtos agrícolas, no encapsulamento de biomoléculas funcionais e pigmentos vegetais, como hidrocolóide natural

em aplicações industriais multifuncionais, agente de floculação para remover contaminação bacteriana e com purificador de água e adesivo para cal (Procacci *et al.*, 2021; Sáenz; Sepúlveda; Matsuhira., 2004).

Caracterizada por ser um heteropolissacarídeos de alto peso molecular, com valores entre  $2,3 \times 10^4$  e  $3 \times 10^6$  g.mol<sup>-1</sup> formado por seis diferentes tipos de açúcar como arabinose; galactose; ramnose; xilose; ácido galacturônico e ácido urônico, além de proteínas e biomoléculas (Procacci *et al.*, 2021). Segundo estudos feitos por Trachtenberg, Mayer (1981) e Nobel *et al.* (1992), a mucilagem da *Opuntia ficus-indica* é composta por 24,6 – 42% de arabinose, 21- 40,1% de galactose, 8-12,7% de ácido galacturônico, 7- 13,1% de ramnose e 22- 22,2% de xilose. Contudo, essa composição e a proporção dos componentes são variáveis em decorrência de diferentes fatores que influenciam, como os métodos de extração, variações genéticas das plantas, composição do solo, clima, irrigação e época de colheita (Fox *et al.*, 2018).

Diversos estudos apontam que a mucilagem pode ser dividida em duas frações distintas de polímeros hidratos de carbono. Uma fração é capaz de gelificar na presença de íons de cálcio, sendo composta principalmente por pectina, cuja cadeia central linear é formada pelo ácido galacturônico. Enquanto que a outra fração, não gelificante, é resultado da polimerização de açúcares neutros (Cárdenas; Goycoolea; Rinaudo, 2008).

Dada a complexidade e variação composicional da mucilagem, diversos outros estudos buscam identificar seus componentes. Entre as técnicas utilizadas está a Difração de Raios x (DRX), utilizada com objetivo de identificar compostos cristalinos presentes na amostra. Segundo uma coletânea de informações obtidas por Souza (2019), os compostos cristalinos que compõem a mucilagem da *Opuntia ficus-indica* estão descritos na tabela 1.

**Tabela 1** - Compostos presentes na Mucilagem da *Opuntia ficus -indica*

Composto	Fórmula Química	Referência
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	(Contreras-Padilla <i>et al.</i> , 2015) (Contreras-Padilla <i>et al.</i> , 2016)
Hidreto de Cálcio	CaH <sub>2</sub>	(Contreras-Padilla <i>et al.</i> , 2016)
Oxalato de cálcio monohidratado (Whewellita)	CaCaO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	(Contreras-Padilla <i>et al.</i> , 2015) (Rodríguez-García <i>et al.</i> , 2007) (Contreras-Padilla <i>et al.</i> , 2011) (Torres-Acosta; Martínez, 2005) (Martinez-Molina <i>et al.</i> , 2015)

Fairchildite	$K_2CA(CO_3)_2$	(Contreras-Padilla <i>et al.</i> , 2015) (Contreras-Padilla <i>et al.</i> , 2016)
Peroxydiphosphate	$K_2P_2O_8$	(Contreras-Padilla <i>et al.</i> , 2015)
Periclase	MgO	(Contreras-Padilla <i>et al.</i> , 2015)
Dolomita	$CaMg(CO_3)_2$	(Contreras-Padilla <i>et al.</i> , 2015)
Cloreto de magnésio	MgCl <sub>2</sub>	(Rodríguez-Garcia <i>et al.</i> , 2007)
Cloreto potássio	KCL	(Rodríguez-Garcia <i>et al.</i> , 2007)
Aluminato monocálcio	$CaAl_2O_4$	(Rodríguez-Garcia <i>et al.</i> , 2007)

Fonte : Souza (2019).

O processo de extração e purificação da obtenção da mucilagem ocorre de maneira variada a depender da finalidade pretendida, sendo relatados em algumas metodologias a utilização de processos físico-mecânico como a trituração e micro-ondas, além da aplicação da temperatura, agitação, aquecimento, centrifugação e secagem. Sendo frequentemente realizadas na presença de água e álcool etílico (Procacci *et al.*, 2021; Silva; Ribeiro, 2022; Otálora; Wilches-Torres; Castano, 2021).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 OBTENÇÃO DOS CLADÓDIOS

Os cladódios de palma (*Opuntia ficus-indica*) foram coletadas no mês de abril por um morador local no município de Sertânia (Figura 3) nas proximidades da Fazenda Cachoeira, Lat: -8.07439; Long: -37.2646; Alt 546 m pelo período da manhã com critérios de seleção baseados na uniformidade da cor (verde), tamanho e sem danos físicos.

**Figura 3** – *Opuntia ficus-indica* no município de sertânia



Fonte: Autor próprio, 2024.

#### 4.1.1 Identificação botânica

Os cladódios coletados foram encaminhados ao herbário do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA) para identificação botânica (Anexo A), sendo registrados sob o número de tombamento 95332, garantindo a correta identificação das amostras como *Opuntia ficus-indica*.

## 4.2 MUCILAGEM

Para o processo de extração, foram realizadas duas linhas experimentais baseadas em adaptações de metodologias pré-existentes: a metodologia A, adaptada de Oliveira (2018), e a metodologia B, adaptada de Otálora, Wilches-Torres e Castano (2021).

Apesar das diferenças entre as metodologias, algumas etapas iniciais foram realizadas em comum, começando pela seleção dos cladódios (Figura 4), que tiveram seus espinhos removidos com auxílio de uma pinça. Em seguida, os cladódios foram lavados em água corrente e com hipoclorito de sódio a 1% para garantir que houvesse a correta remoção das impurezas (Villasenor, 2008; Contreras-Padilla *et al.*, 2015, 2016).

**Figura 4** – Cladódios de *Opuntia ficus-indica*



Fonte: Autor próprio, 2024.

Os cladódios, devidamente higienizados, foram inicialmente cortados, removendo aproximadamente 3 centímetros das extremidades inferior e superior para evitar contaminações. Em seguida, o restante da estrutura foi cortada em pedaços de 2 centímetros quadrados (Figura 5A), padronizando o tamanho das amostras. Posteriormente, os fragmentos foram pesados, totalizando 6.713 gramas na metodologia A e 3.346 gramas na metodologia B. Após a pesagem, foi realizada a remoção da maior parte da estrutura verde, epiderme, deixando apenas a porção interna/verde clara conhecida como medula (Figura 5B).

**Figura 5** – Cladódios de *Opuntia ficus-indica* cortados (A) e descascados (B)



Fonte: Autor próprio, 2024.

Na metodologia A, após a remoção da epiderme os cladódios foram novamente pesados resultando em 1.511 gramas que posteriormente foram separados em 3 recipientes, com aproximadamente 500 gramas cada. As amostras então foram imersas em água destilada na proporção 1:1 (v/v) (palma/água) por 2 horas (Figura 6) para facilitar a extração da mucilagem.

**Figura 6** - Cladódios de *Opuntia ficus-indica* imersos em água.



Fonte: Autor próprio, 2024.

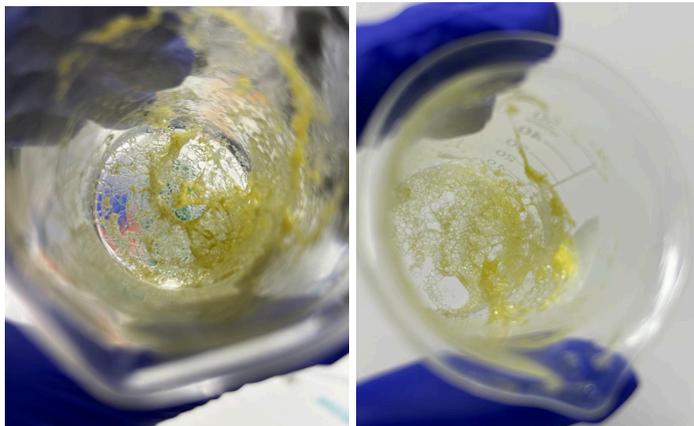
As amostras contendo palma e água foram congeladas por tempo superior a 24 horas permitindo que houvesse uma maior facilidade nas futuras dosagens dos elementos presentes na mucilagem. Posterior ao congelamento as amostras foram retiradas do congelador deixando descongelar à temperatura ambiente, sobre um escurridor para que houvesse a separação das porções seca e líquida (Figura 7) e assim isolando apenas a mucilagem no béquer.

**Figura 7**– Filtração dos Cladódios de *Opuntia ficus-indica* congelados



Fonte: Autor próprio, 2024.

Após serem filtradas as amostras foram pesadas com aproximadamente 634 gramas cada e separadas em béqueres de vidro com aproximadamente 80 gramas para serem liofilizadas. Essa etapa necessitou que as amostras fossem congeladas por aproximadamente 3 dias para então poderem ser liofilizadas (Figura 8). O processo de liofilização aconteceu em parceria com o laboratório Núcleo de Desenvolvimento Analítico e Tecnológico de Fitoterápicos (NUDATEF), utilizando um liofilizador modelo K120, da marca LIOBRAS®, durante 48 horas, nas condições de temperatura a  $-90^{\circ}\text{C}$  e pressão abaixo ou igual a  $200\ \mu\text{Hg}$ .

**Figura 8 - Mucilagem liofilizada**

Fonte: Autor próprio, 2024.

Com as amostras liofilizadas ocorreu a trituração das mesmas utilizando gral e pistilo para transformar o produto da liofilização em pó (Figura 9), o qual foi armazenado em um dessecador até o momento da sua utilização.

**Figura 9 - Mucilagem em pó**

Fonte : Autor próprio, 2024.

Para a segunda extração, utilizando a metodologia B, após a remoção da epiderme os cladódios foram novamente pesados resultando em 1.272 gramas. Os fragmentos foram então divididos e armazenados em água destilada na proporção 1 medula: 2 água (v/v) em temperatura ambiente por 24 horas. Após esse período as amostras foram exprimidas e filtradas manualmente, utilizando sacos de filtro de nylon com malha de 160 mesh (Figura 10).

**Figura 10** - Cladódios de *Opuntia ficus-indica* filtrados em sacos de nylon

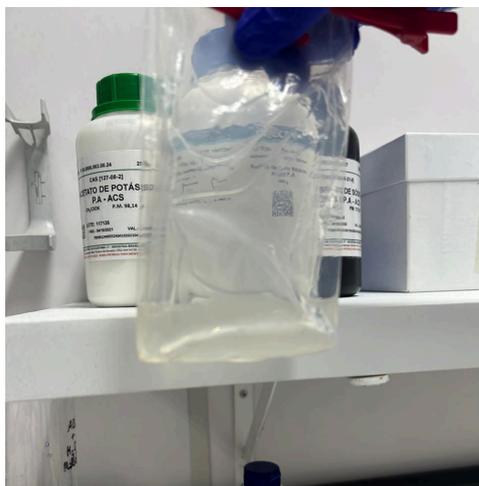


Fonte: Autor próprio, 2024.

O líquido obtido foi separado em falcon de 50ml e centrifugado em parceria com o Laboratório de biotecnologia (LABIOTEC) da UFPE, utilizando 3.500 rpm durante 10 minutos. Após essa etapa, as amostras tiveram a remoção do sobrenadante deixando apenas o precipitado, ao qual foi adicionado na proporção de 1:4 de etanol gelado deixando repousar na geladeira por 24 horas. Em seguida as amostras foram levadas novamente para centrifugação, utilizando 4.000 rcf por 5 minutos em temperatura de 4°C com remoção posterior do sobrenadante.

A amostra produzida foi ressuspensa em água destilada em uma proporção de 2 vezes o volume por 24 horas. O próximo passo após a ressuspensão foi a realização da diálise com objetivo de remoção do etanol para que a amostra pudesse ser liofilizada. Para isso, as amostras foram colocadas em membranas de acetato celulose (Figura 11) em água destilada com troca da mesma a cada 6 horas durante um período de 24 horas.

**Figura 11-** Diálise em membrana de acetato celulose

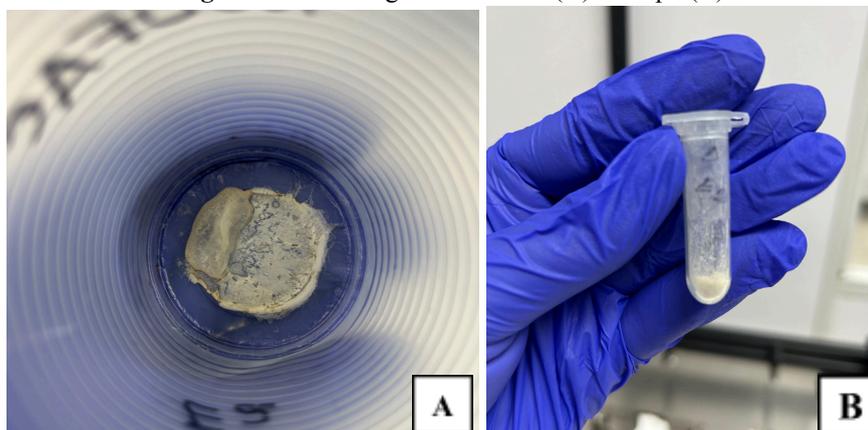


Fonte : Autor próprio, 2024.

Posterior a etapa da diálise as amostras foram congeladas por 3 dias para que pudessem ser liofilizadas (Figura 12A). O processo de liofilização foi realizado em parceria com o Núcleo de Desenvolvimento Analítico e Tecnológico de Fitoterápicos (NUDATEF), utilizando um liofilizador modelo K120, da marca LIOBRAS®, seguindo as mesmas condições aplicadas durante a metodologia adaptada de Oliveira (2018). O processo teve duração de 48 horas, nas condições de temperatura a  $-90^{\circ}\text{C}$  e pressão abaixo ou igual a  $200\ \mu\text{Hg}$ .

Com as amostras liofilizadas, utilizou-se gral e pistilo para transformar o produto em pó (Figura 12B) utilizado para caracterização.

**Figura 12 -** Mucilagem liofilizada (A) e em pó (B)



Fonte: Autor próprio, 2024.

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DA MUCILAGEM

Nesta etapa foram realizados os ensaios de caracterização químicos e físicos da mucilagem. Para isso, o material foi utilizado tanto em sua forma líquida como também em pó, variando de acordo com a necessidade de cada ensaio. Os ensaios realizados com a matéria em pó foram espectroscopia de infravermelho (FTIR), difratometria de raio x (DRX), termogravimetria (TG). Enquanto que, os ensaios realizados em líquido foi apenas pH.

#### 4.3.1 pH

A determinação do pH foi realizada utilizando um pHmetro da marca Gehaka, modelo PG2000, com compensador de temperatura. A análise foi conduzida com a amostra em seu estado bruto, sem a realização de triplicatas. O equipamento foi previamente calibrado com soluções tampão de pH neutro e ácido.

#### 4.3.2 Análise por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) é uma técnica utilizada para identificar componentes químicos através dos tipos de ligações presentes, permitindo a partir dela realizar análises qualitativas e quantitativas. Essa técnica representa uma espectroscópica de absorção que envolve a transição molecular de estados vibracionais ou rotacionais de baixa energia (4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ ) (Tozetto; Demiate; Nagata, 2007).

A partir do número e do tipo de transição que a molécula sofre informações como número e o tipo de ligações presentes podem ser visualizadas permitindo assim a identificação de grupos funcionais além de possibilitar a determinação da concentração em decorrência da intensidade de absorção das bandas no espectro (Tozetto, 2007; Souza; Poppi, 2012).

Os ensaios foram realizados no laboratório Núcleo de Controle de Qualidade de Medicamentos e Correlatos (NCQMC) da UFPE, sem a realização de triplicatas. O equipamento utilizado foi Espectro Shimadzu IRXross, módulo ATR, 45 scans, resolução  $4\text{cm}^{-1}$ , faixa de 4000-600  $\text{cm}^{-1}$ . Sendo suprimida a banda de  $\text{CO}_2$  e os gráficos foram normalizados.

### 4.3.3 Análise por difratometria de raios X (DRX)

A difratometria de raios X é uma técnica analítica que envolve a interação entre o feixe de raios-X incidente e os elétrons dos átomos componentes de um material. Em seu estado sólido os materiais podem apresentar diferentes arranjos estruturais sendo denominados como estruturas cristalinas, capazes de apresentar um padrão difratométrico característicos, permitindo sua identificação através das posições angulares e intensidade relativas dos picos (Souza, 2019).

Os ensaios de difratometria de raios X foram realizados no laboratório Núcleo de Controle de Qualidade de Medicamentos e Correlatos (NCQMC) da UFPE, sem a realização de triplicatas. O equipamento utilizado foi o difratômetro de raio X com goniômetro vertical, modelo XRD-61000 da marca Shimadzu. Os parâmetros operacionais foram ajustados para uma faixa de  $2\theta = 2$  a  $80^\circ$ , com um incremento (Step) de  $0,02^\circ \text{ min}^{-1}$  e uma velocidade (graus/min) de  $2,0^\circ \text{ min}^{-1}$

### 4.3.4 Análise Térmica-Termogravimetria (TG)

A termogravimétrica trata-se de uma técnica termoanalítica capaz de determinar a variação de uma determinada propriedade física de uma amostra em função do tempo ou da temperatura (Scalizer *et al.*, 2020). A termogravimetria (TG) monitora a variação da “massa” de uma amostra em função da temperatura ou do tempo com a temperatura constante (Cavalheiro *et al.*, 1995) permitindo através dessa análise determinar a estabilidade térmica e acompanhar o andamento das reações de oxidação, combustão, decomposição, desidratação, entre outras (Matos; Mercuri; Matos, 2009).

Essa análise ocorreu no laboratório Núcleo de Controle de Qualidade de Medicamentos e Correlatos (NCQMC) da UFPE, sem a realização de triplicatas. O equipamento utilizado foi o DTG-60H (Shimadzu); atmosfera inerte de  $\text{N}_2$ ; fluxo de 50 mL/min; taxa de aquecimento de  $20^\circ\text{C}/\text{min}$  intervalo de temperatura  $20^\circ\text{C}$  a  $800^\circ\text{C}$ .

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 RENDIMENTO

Na metodologia A, as amostras de palma foram pesadas antes da liofilização, totalizando 240 gramas, o que resultou posteriormente em 1,343 gramas de pó. Enquanto que, na metodologia B, as amostras apresentaram 16 gramas antes da liofilização, resultando em 0,09 gramas ao final do processo.

Apesar das diferenças nos valores obtidos pelas duas metodologias, o rendimento, que representa a relação entre a quantidade de material obtida e a quantidade de material utilizada, multiplicado por 100% (Souza *et al.*, 2018), foi de aproximadamente 0,56% com base nas pesagens antes e depois da liofilização. Esse resultado é considerado baixo e pode estar associado às adaptações realizadas durante o processo de extração, já que na metodologia original de Olivera (2018) o rendimento final da mucilagem da *Opuntia ficus-indica* foi de aproximadamente 40%.

### 5.2 PH

As amostras produzidas foram avaliadas quanto ao seu pH utilizando pHmetro eletrônico. Os resultados obtidos demonstram que a mucilagem possui uma acidez moderada, com valores variando entre 4,5 e 4,6 nas duas metodologias testadas. Esses valores são consistentes com resultados relatados na literatura para a mucilagem da *Opuntia ficus-indica* que estão presentes na tabela 2, adaptada de Souza (2019).

**Tabela 2** - Medidas de pH na literatura

Medida de pH	Referência
4,5	(Rodríguez-Navarro <i>et al.</i> , 2017)
4,64 ± 0,1	(Méendez <i>et al.</i> , 2015)
4,4 a 4,5	(Astello-García <i>et al.</i> , 2015)
4,4-4,52	(Souza <i>et al.</i> , 2019)

Fonte : Souza *et al.*, 2019.

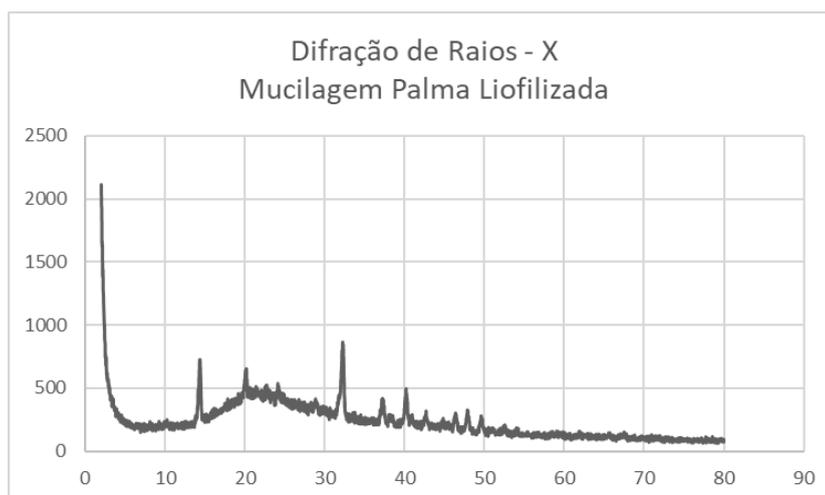
A acidez moderada da mucilagem exerce diferentes influências sobre a amostra, sendo a mais significativa o aumento de sua viscosidade. Esse aumento, por sua vez, garante à mucilagem uma ampla gama de aplicações no mercado (Sáenz; Sepúlveda; Matshurito, 2004).

### 5.3 DRX

A difratometria de raios X foi realizada para identificar estruturas cristalinas presentes na mucilagem da *Opuntia ficus-indica*. Em geral, picos mais intensos e estreitos indicam maior cristalinidade, enquanto picos mais largos e de baixa intensidade sugerem a presença de estruturas amorfas (Ribeiro, 2003). As amostras utilizadas nesta análise estavam em formato de pó após o processo de liofilização.

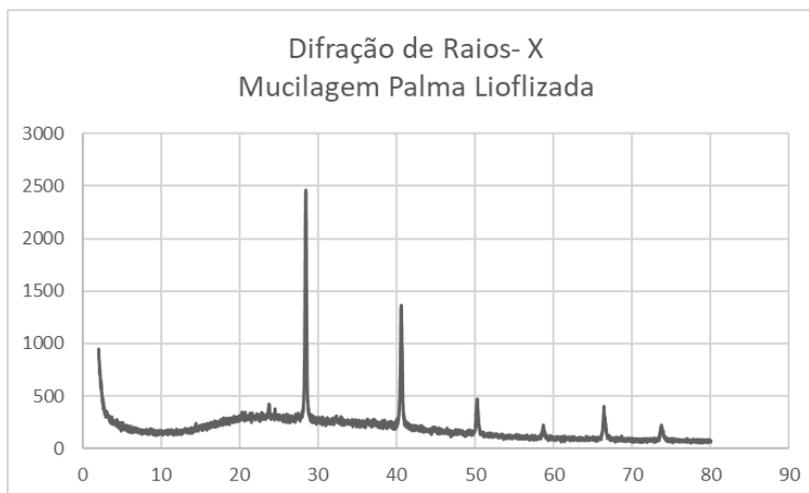
Os difratogramas (Figuras 13 e 14) indicam pequenas alterações nas características da amostra a partir do tipo de extração realizada. No método B, os picos apresentam menor intensidade, sugerindo que a amostra analisada apresenta baixo grau de cristalinidade e se comporta de maneira amorfa, o que está de concordância com os estudos de Contreras-Padilla *et al.*, (2015) e Malainine *et al.*, (2003). Por outro lado, o difratograma obtido pelo método A apresenta picos semelhantes aos do método B, mas com uma maior intensidade, além de serem mais estreitos e pontiagudos, indicando a presença maior de estruturas cristalinas.

**Figura 13** – Difratograma de raios X da mucilagem obtida pela metodologia B



Fonte : Autor próprio, 2024.

**Figura 14** – Difratoograma de raios X da mucilagem obtida pela metodologia A



Fonte : Autor próprio, 2024.

Na literatura, o composto cristalino de maior frequência encontrado na mucilagem da *Opuntia ficus-indica* é o oxalato de cálcio, *whewellite*. Esse composto é produzido e acumulado em muitas plantas, desempenhando papéis no equilíbrio iônico, regulação osmótica, proteção contra herbívoros, desintoxicação de metais e reflexão da energia solar (Nakata, 2003; Franceschi; Nakata, 2005; Franceschi; Horner, 1980). A *whewellite* aparece nos difratogramas com picos de localização e intensidade variáveis, dependendo do processo de extração sendo encontrados nos intervalos angulares de 10°-20°, 20°-30° e 30-40° conforme observado por Contreras-Padilla *et al.* (2015) e Santos *et al.* (2022).

Nos difratogramas obtidos, foi possível analisar que para metodologia B, os picos resultantes foram mais evidentes entre os ângulos de 10°- 20° e 30-40°, sugerindo a presença do composto cristalino. Já na metodologia A, o pico mais pronunciado aparece entre as faixas de 20° e 30°, o que também pode indicar a presença da *whewellite*.

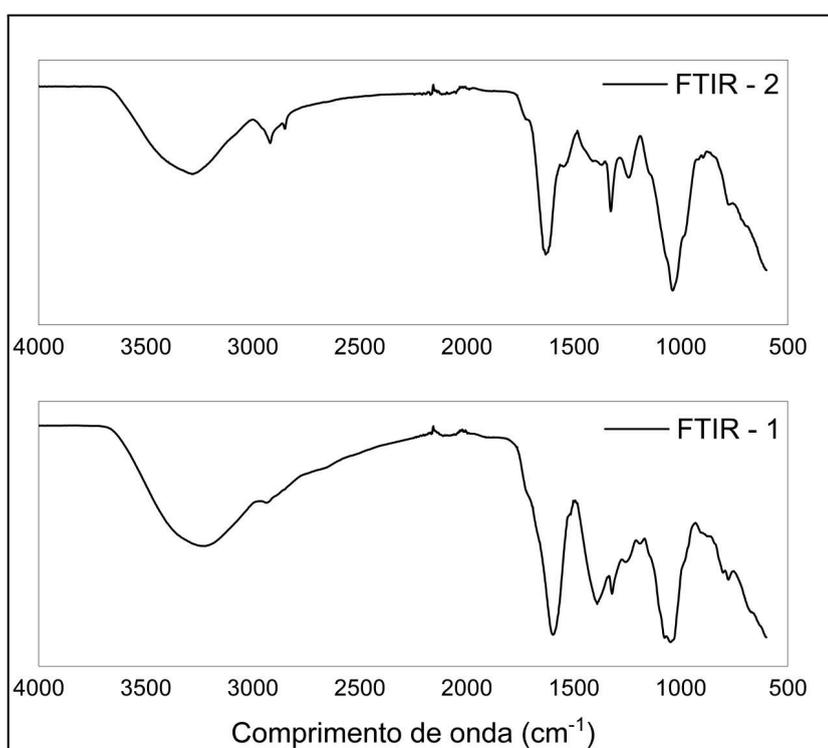
Essa diferença nos resultados pode ser atribuída ao tipo de metodologia utilizada. Na abordagem da metodologia B, a adição de etanol auxilia na clarificação, precipitação e separação dos compostos (Branco, 2011; Piletti, 2011; Colonetti, 2012) facilitando assim a visualização e aparecimento de picos em diferentes ângulos. Em contraste, a não utilização de etanol na metodologia A pode influenciar a ausência de picos isolados e o surgimento de picos de maior intensidade devido à mistura dos compostos, como observado na Figura 14.

## 5.4 FTIR

Os grupos funcionais característicos presentes na mucilagem da *Opuntia ficus-indica* são identificados através da análise por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Os espectros gerados por essa técnica apresentam duas regiões principais: a região inicial relacionada aos grupamentos funcionais e a região intermediária relacionada à determinação da estrutura molecular (Silverstein; Bassler; Morrill, 2000). Além disso, as bandas de absorção presentes nos espectros tem sua profundidade relacionada a intensidade de absorção da radiação pela amostra, indicando a quantidade aproximada de cada grupo funcional (Ricachenevsky *et al.*, 2020).

A Figura 15 apresenta os espectros obtidos da mucilagem após seu processo de liofilização. Na metodologia A (FTIR-1), as bandas apresentam maior intensidade de absorção, indicando uma maior concentração de grupos funcionais em comparação com a metodologia B (FTIR-2), cujas bandas estão em faixas semelhantes, mas com uma intensidade menor.

**Figura 15**– Análise por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier da mucilagem obtida pela metodologia de B e A



Fonte : Autor próprio, 2024.

As bandas mais largas, observadas em ambas as metodologias, na faixa de 3500-3000  $\text{cm}^{-1}$ , indicam a presença de grupos OH, associados ao alongamento de ácidos carboxílicos e polissacarídeos, conforme estudos realizados por Rodriguez-Navarro *et al.* (2017). Entre 3000-2500  $\text{cm}^{-1}$ , observam-se bandas com absorção leve e sem picos acentuados, sendo mais proeminente na amostra extraída com etanol (FTIR-2). Esse comportamento está relacionado à capacidade do mesmo em facilitar o processo de precipitação e separação dos compostos (Branco, 2011; Piletti, 2011; Colonetti, 2012), o que interfere diretamente na quantidade e na disponibilidade desses na amostra. Segundo Rodriguez-Navarro *et al.* (2017) e Souza (2019), essas bandas estão relacionadas ao alongamento C-H nos grupos CH<sub>2</sub> e CH<sub>3</sub> de ácidos carboxílicos e ésteres presentes em polissacarídeos. A suavidade dessas bandas pode ser explicada pela sobreposição dos picos do grupo hidroxila e amida, que geralmente ocorrem em amostras que contêm polissacarídeos e proteínas (Chandra; Eklund; Villarreal 1998).

A faixa entre 2000-1600  $\text{cm}^{-1}$  apresenta em ambas as metodologias, um pequeno ombro próximo a 1700  $\text{cm}^{-1}$ , correspondente ao estiramento C=O. Este estiramento pode ser atribuído aos grupos de ácidos galacturônicos esterificados de pectina (Souza, 2019), assim como à presença de grupos de ácidos carboxílicos livres de ácido galacturônico (Hazarika *et al.*, 2017). Já na faixa de 1600-1200  $\text{cm}^{-1}$ , observam-se bandas que correspondem ao estiramento assimétrico e simétrico do carboxilato (COO<sup>-</sup>) (Rodriguez-Navarro *et al.*, 2017; Souza, 2019).

Em ambos os gráficos são notáveis a presença de estiramentos entre as faixas de 1200-1000  $\text{cm}^{-1}$ , além de bandas mais sutis entre 1000-500  $\text{cm}^{-1}$ , ambas dentro da zona de impressão digital. Segundo Rodriguez-Navarro *et al.* (2017), na primeira faixa, as bandas estão atribuídas ao estiramento de C-O de éster, com contribuições de vibrações de estiramento C-O-H e C-C-H que estão relacionadas à presença de compostos como ramnose, arabinose, ácido urônico e xilose. Já na segunda faixa, observa-se a presença de um ombro característico de estruturas como galactose.

As bandas produzidas demonstram que os principais componentes da mucilagem são carboidratos (xilose, arabinose, galactose, ramnose, galacturônico), cujas concentrações não são fixas. Além disso, o oxalato de cálcio que é um dos principais componentes da mucilagem são relatados segundo Pinheiro, Yoshida e Cruz Souza (2010) com bandas entre 1668-1612  $\text{cm}^{-1}$ , 3550-3200  $\text{cm}^{-1}$  e 781  $\text{cm}^{-1}$ . Nos espectros obtidos em ambas as metodologias, observam-se bandas dentro ou próximas a essa faixa, de maneira sutil ou evidente, sugerindo a presença desse composto na amostra.

Os valores obtidos em ambas as metodologias estão em concordância com trabalhos presentes na literatura que identificaram a presença de bandas nas mesmas faixas para mucilagem da *Opuntia ficus-indica*, conforme listados na tabela 3, adaptada de Souza (2019).

**Tabela 3** - Bandas de absorção obtidas no FTIR da *Opuntia ficus-indica*

<b>Comprimento de onda</b>	<b>Atribuições vibracionais</b>	<b>Referência</b>
3440; 3426; 3270	Estiramento OH de ácidos carboxílicos e polissacarídeos; Hidroxila e amida ; Estiramento OH	Rodriguez-Navarro <i>et al.</i> , 2017; Chandra;Eklund; Villarreal, 1998; León-Martínez <i>et al.</i> , 2014
2920;2880;2849	Vibrações de estiramento assimétricas e simétricas C-H sp <sup>3</sup>	Rodriguez-Navarro <i>et al.</i> , 2017; Chandra;Eklund; Villarreal, 1998; León-Martínez <i>et al.</i> , 2014
1727;1740	Estiramento C=O de éster do ácido galacturônico esterificado; Grupos ácidos carboxílicos (COOH)	Hazarika <i>et al.</i> , 2017; Rodriguez-Navarro <i>et al.</i> , 2017
1620	Estiramento C=O de grupo amida	Chandra;Eklund; Villarreal, 1998
1593; 1393	Estiramento assimétrico e simétrico do ânion carboxilato (COO <sup>-</sup> )	Rodriguez-Navarro <i>et al.</i> , 2017; Chandra;Eklund; Villarreal, 1998; León-Martínez <i>et al.</i> , 2014
1316; 1032	Estiramento C-O de éster com contribuições de estiramento C-O-H e C-C-H	León-Martínez <i>et al.</i> , 2014
~1179	Deformação característico de xilose	Rodriguez-Navarro <i>et al.</i> , 2017
~1118;1104	Deformação característico de ácido urônico	Rodriguez-Navarro <i>et al.</i> , 2017
~1051	Deformação angular referente a ramnose e arabinose	Rodriguez-Navarro <i>et al.</i> , 2017
~940; 782	Deformação angular de galactose	Rodriguez-Navarro <i>et al.</i> , 2017

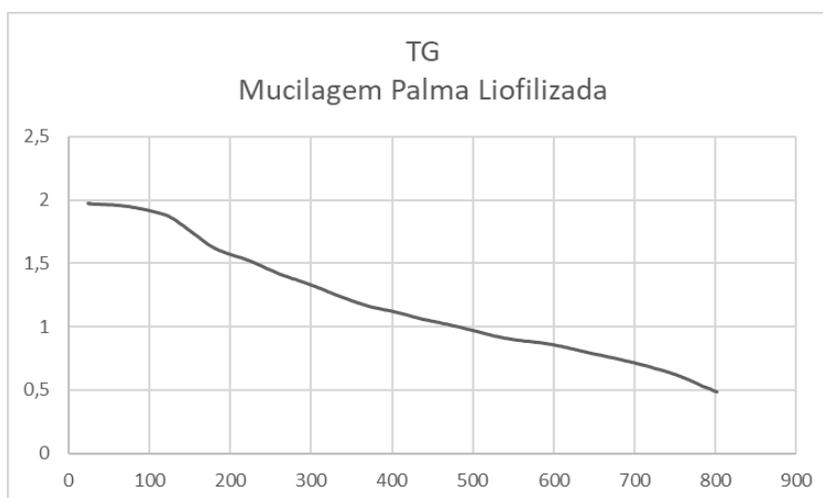
Fonte : Souza *et al.*, 2019.

## 5.5 TG

O processo de degradação térmica e a estabilidade da mucilagem são avaliadas através da análises termogravimétricas a partir de sua perda de massa em função do aumento da temperatura. Os resultados estão presentes nas Figuras 16 e 17 após as amostras terem sido liofilizadas.

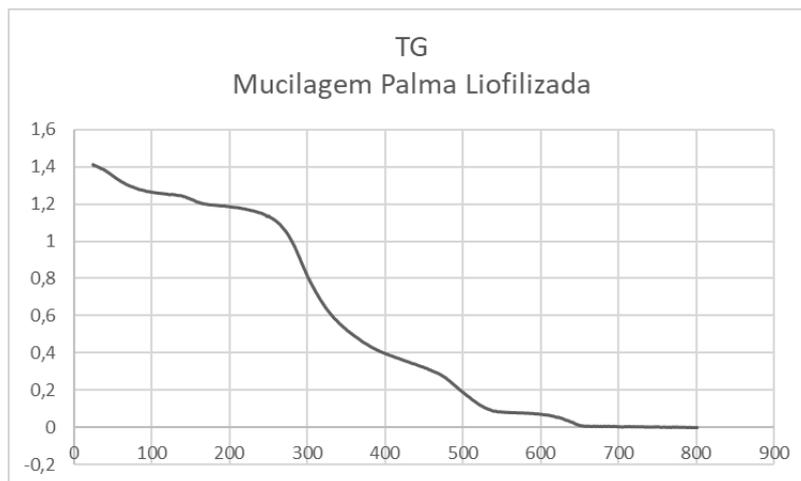
Para metodologia A é notável uma redução contínua da massa que tem como valor inicial de aproximadamente 2 mg e que com o aumento da temperatura ocorreram perdas graduais até haver uma estabilização da massa entre 800 e 900°C, apresentando como massa residual aproximadamente 0,5 mg. Enquanto que, para metodologia B, a amostra inicial apresenta valor de massa de aproximadamente 1,4 mg e ao contrário da metodologia anterior, exhibe trechos de degradação mais intensos e com pouca linearidade antes de sua estabilização final a partir 700°C, com massa residual próxima de 0 mg. Essas características podem ser atribuídas à utilização de etanol durante a extração na metodologia B, uma vez que sua capacidade de remover compostos pode causar diferentes alterações na estrutura, tornando o processo de degradação mais abrupto (Colonetti., 2021; Piletti, 2011).

**Figura 16** – Análise Termogravimétrica da mucilagem obtida pela metodologia A



Fonte : Autor próprio, 2024.

**Figura 17** – Análise Termogravimétrica da mucilagem obtida pela metodologia B



Fonte : Autor próprio, 2024.

A degradação inicial de ambas amostras ocorre entre as temperaturas de 0 e 150°C, estando relacionado ao início do desprendimento de água contida no biopolímero (Sun *et al.*, 2011). O segundo evento de perda ocorre entre as faixas de 150 e 350°C, associado à despolimerização e pirólise do biopolímero, além da desidratação causada pela presença de água que não foi eliminada no estágio anterior. Isso ocorre devido à característica da cactácea de atuar como um reservatório natural de água em regiões de seca, o que dificulta sua eliminação, necessitando, assim, de temperaturas mais elevadas (Souza, 2019; Silva, 2021).

Entre as faixas de temperatura de 240 e 400 °C ocorre a degradação dos compostos não fibrosos e da hemicelulose (Santos *et al.*, 2022), sendo marcada na faixa de 200 a 270 °C a degradação de pectina que é um dos componentes não fibrosos da mucilagem (Souza, 2019). Na metodologia B, é possível notar que a degradação nessa faixa ocorreu de maneira mais abrupta e isso pode ser explicado pela utilização de etanol que gera a remoção mais eficiente dos componentes não fibrosos e com isso os valores de massa podem apresentar uma redução mais rápida (Santos *et al.*, 2022).

Na faixa de 400°C - 650°C ocorrem as perdas de massa relacionadas à degradação da celulose e da lignina. Posterior a essas faixas as amostras que se mantêm são termicamente estáveis, podendo ser resíduos inorgânicos como cinzas, formadas pela *Whewellite* ou compostos minerais derivados da degradação térmica, como clacita, silvita, dolomita. (Santos *et al.*, 2022) e que precisam de temperaturas superiores à fornecidas pelas análises termogravimétricas para serem degradadas.

## 6. CONCLUSÃO

Mediante as adaptações realizadas nas duas metodologias aplicadas neste trabalho, foram obtidos resultados significativos acerca das características físico-químicas da mucilagem advinda da *Opuntia ficus-indica*. As modificações nos métodos de extração resultaram em pequenas variações nos resultados de FTIR, DRX e TG, tanto entre os métodos testados quanto em comparação com estudos da literatura. Além disso, por se tratar de uma planta, suas características podem não ser consistentes devido à uma diversidade de fatores que podem alterar os resultados, como o grau de maturação, condições edafoclimáticas, tratamento e condições pós colheita. Contudo, essas variações não comprometeram as principais características da mucilagem já que os valores se mantiveram próximos aos descritos na literatura.

O rendimento, entretanto, apresentou resultados insatisfatórios, sugerindo a necessidade de otimizar as etapas envolvidas na extração e, principalmente, no processo de liofilização, que possivelmente foi o principal responsável pela diminuição brusca do rendimento. Essas otimizações são fundamentais para garantir melhores resultados

Futuros ensaios são necessários para refinar e aprimorar todas as etapas, visando à utilização eficaz da mucilagem em novos trabalhos.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, M.A. et al. **Fruto de palma [Opuntia ficus-indica (L) Miller, Cactaceae]: Morfologia, composição química, fisiologia, índices de colheita e fisiologia pós-colheita.** Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, v. 9, n. 1, p. 16-25, 2008.
- ASTELLO-GARCÍA, M.G. et al. **Chemical composition and phenolic compounds profile of cladodes from Opuntia spp. cultivars with different domestication gradient.** Journal of Food Composition and Analysis, v. 43, p. 119–130, 2015.
- BARBERA, G. et al. **Agroecología, cultivo y usos del nopal.** Estudio FAO Producción y Protección Vegetal, pp. 132, 225 1999.
- BOUAOUINE, O. et al. **Identification of functional groups of Opuntia ficus-indica involved in coagulation process after its active part extraction.** Environmental Science and Pollution Research, v. 25, n. 11, p. 11111– 11119, 2018.
- BRANCO, N.B.C. et al. **Mucilagem do cladódio de Cereus hildmaniannus K. Schum: caracterização física, química e reológica.** 2011.
- CÁRDENAS, A.; GOYCOOLEA, F.M.; RINAUDO, M.. **On the gelling behaviour of “nopal” (Opuntia ficus indica) low methoxyl pectin.** Carbohydrate Polymers, v. 73, n. 2, p. 212–222, 2008.
- CAVALHEIRO.E.T.G. et al. **A influência de fatores experimentais nos resultados de análises termogravimétricas.** Química nova, fev. 1995
- CHANDRA, S.; EKLUND, L.; VILLARREAL, R.R. **Use of Cactus in Mortars and Concrete.** Cement and Concrete Research, v. 28, n. 1, p. 41–51, jan. 1998.
- CHIACCHIO, F. P. B.; MESQUITA, A. S.; SANTOS, J. R. dos. **Palma forrageira: uma oportunidade econômica ainda desperdiçada para o semiárido baiano.** Bahia Agrícola, v. 7, n. 3, p. 39-49, 2006.
- COLONETTI, V. C.. **Caracterização da mucilagem do fruto e cladódio de Cereus hildmaniannus K. Schum.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.
- CONTRERAS-PADILLA, M. et al. **Characterization of crystalline structures in Opuntia ficus-indica.** Journal of Biological Physics, v. 41, n. 1, p. 99–112, 2015
- CONTRERAS-PADILLA, M. et al. **Physicochemical and rheological characterization of Opuntia ficus mucilage at three different maturity stages of cladode.** European Polymer Journal, v. 78, p. 226–234, maio 2016.
- DA SILVA, A.P.G. et al. **Características físicas, químicas e bromatológicas de palma gigante (Opuntia ficus-indica) e miúda (Nopalea cochenillifera) oriundas do estado da Paraíba.** Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial, v. 9, n. 2, 2015.

- DA SILVA, J. K.; RIBEIRO, K.V. M. **Imposto sobre a propriedade territorial rural e seus impactos no agronegócio brasileiro.** Revista Científica da Faculdade Quirinópolis, v. 1, n. 12, p. 248-278, 2022.
- DE LUCENA, C.M. et al. **Conhecimento local sobre cactáceas em comunidades rurais na mesorregião do sertão da Paraíba (Nordeste, Brasil).** Biotemas, v. 25, n. 3, p. 281-291, 2012.
- ENNOURI, M. et al. **Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus indica*. 1. Influence of a seed oil supplemented diet on rats.** Bioresource Technology, v. 97, n. 12, p. 2136-2140, 2006.
- FOX, D.I. et al. **Removing heavy metals in water: The interaction of cactus mucilage and arsenate (As (V)).** Environmental Science and Technology, v. 46, n. 8, p. 4553–4559, 2012.
- FRANCESCHI, V.R.; NAKATA, P.A. Calcium oxalate in plants: formation and function. *Annu Rev. Plant Biol.*, v. 56, n. 1, p. 41-71, 2005
- FRANCESCHI, V.R., HORNER, H.T., 1980. **Cristal de oxalato de cálcio em plantas.** The Botanical Review 46, 361–427.
- GALATI, E. M. et al. (2001). **Antiulcer activity of *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. (Cactaceae): ultrastructural study.** Journal of Ethnopharmacology, 76(1), pp.1-9.
- GONZALEZ, F. J e JARABO, S.M.M. (1990). **La chumbera como cultivo de zonas áridas.** Madrid, Hojas Divulgadoras, n.90, p.24.
- HAZARIKA, A. et al. **Use of a plant based polymeric material as a low cost chemical admixture in cement mortar and concrete preparations.** Journal of Building Engineering, v. 15, n. July 2017, p. 194–202, 2017.
- LEÓN-MARTÍNEZ, F.M.M. et al. **Study of nopal mucilage and marine brown algae extract as viscosityenhancing admixtures for cement based materials.** Construction and Building Materials, v. 53, p. 190–202, fev. 2014.
- LIRA, M.A., SANTOS, M.V. F., & DIAS, F.M. (2017). **Histórico e importância da palma.** In: **Cadernos do Semiárido. Palma forrageira: cultivo e uso.** 1 (7), 19-61.
- MAIUOLO, J. et al. **Cladodes of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Possess Important Beneficial Properties Dependent on Their Different Stages of Maturity.** Plants, v. 13, n. 10, p. 1365, 2024.
- MALAININE, M.E. et al. **Structure and morphology of cladodes and spines of *Opuntia ficus-indica*. Cellulose extraction and characterisation.** Carbohydr. Polym. 2003, 51, 77 – 83.
- MALAININE, M.E. et al. **First evidence for the presence of weddellite crystallites in *Opuntia ficus indica* parenchyma.** Zeitschrift für Naturforschung C, v. 58, n. 11-12, p. 812-816, 2003.

- MARTINEZ-MOLINA, W. et al. **Cement-Based Materials Enhanced Durability from *Opuntia Ficus Indica* Mucilage Additions**. *ACI Materials Journal*, v. 112, n. 1, p. 165–172, fev. 2015.
- MARTINS, S. C. da C.. **Avaliação do potencial biológico de *Opuntia ficus-indica*: (Figueira da Índia)**. 2011. Tese de Doutorado. [sn].
- MÉNDEZ, L. P. et al. **Physicochemical characterization of cactus pads from *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica***. *Food Chemistry*, v. 188, p. 393–398, dez. 2015.
- MURILLO-AMADOR, B. et al. **El nopal: cultivo forrajero sostenible para el noroeste de México**. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., La Paz, México, 2002.
- NAKATA, PA, 2003. **Avanços em nossa compreensão da formação e função de cristais de oxalato de cálcio em plantas**. *Plant Science* 164, 901–909.
- NOBEL, P.S., CAVELIER, J., ANDRADE, J.L., **Mucilage in cacti: Its apoplastic capacitance associated solutes, and influence on tissue water relations**. *J. Exp. Botany* 1992, 43, 641 – 648.
- OLIVEIRA, H.C.M. de. **Incorporação da mucilagem de Palma Forrageira na elaboração de argamassa cimento portland**. 2018
- ONISZCZUK, A. et al. ***Opuntia* fruits as food enriching ingredient, the first step towards new functional food products**. *Molecules*, v. 25, n. 4, p. 916, 2020.
- OTÁLORA, M. C.; WILCHES-TORRES, A.; CASTAÑO, J. A. G.. **Extraction and physicochemical characterization of dried powder mucilage from *Opuntia ficus-indica* cladodes and *Aloe vera* leaves: A comparative study**. *Polymers*, v. 13, n. 11, p. 1689, 2021.
- PILETTI, R. **Extração da mucilagem da tuna (*Cereus hildmaniannus* K. Schum) para aproveitamento industrial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química e 125 Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2011.
- PINHEIRO, L.M. de M.; YOSHIDA, M.I. ; CRUZ SOUZA, L. A.. **Caracterização de crostas de origem biológica em sítios arqueológicos no Vale do Rio Peruaçu – MG**. *Revista de história da arte e arqueologia*, v. 14, p. 123–132, 2010.
- PROCACCI, S. et al. ***Opuntia ficus-indica* pruning waste recycling: Recovery and characterization of mucilage from cladodes**. *Natural Resources*, v. 12, n. 4, p. 91-107, 2021.
- RAMADAN, M. F.; MÖRSEL, J. T. **Oil cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.)**. *Food Chemistry*. v. 82, p. 339-345, 2003.
- RIBEIRO N., R. Raio-X. In: CANEVAROLO J., S. V. (Ed.). **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artiber, 2003. p. 41-60
- RICACHENEVSKY, C. et al. **Determinação de cloridrato de fluoxetina em medicamentos por espectroscopia vibracional no infravermelho com transformada de Fourier**. *Revista Tecnologia e Tendências*, v. 11, n. 1, p. 149-169, 2020.

RODRÍGUEZ-GARCIA, M.E. et al. **Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation.** *Plant Foods for Human Nutrition*, v. 62, n. 3, p. 107– 112, 2007.

RODRÍGUEZ-LEYVA, E. et al. **Interactions of *Opuntia ficus-indica* with *Dactylopius coccus* and *D. opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) through the Study of Their Volatile Compounds.** *Plants*, v. 13, n. 7, p. 963, 2024.

RODRIGUEZ-NAVARRO, C. et al. **Crystallization and colloidal stabilization of Ca (OH) 2 in the presence of nopal juice (*Opuntia ficus indica*): Implications in architectural heritage conservation.** *Langmuir*, v. 33, n. 41, p. 10936-10950, 2017.

SAENZ, C. et al. **Utilización agroindustrial del nopal.** Boletín de servicios agrícolas de la FAO, 2006. , p. 165.

SÁENZ, C. et al. **Agro-industrial utilization of cactus pear.** Rome.: FAO, 2013.

SÁENZ, C.; SEPÚLVEDA, E.; MATSUHIRO, B.. ***Opuntia* spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives.** *Journal of Arid Environments*, v. 57, n. 3, p. 275–290, maio 2004.

SALEHI, E. et al. ***Opuntia ficus-indica* Mucilage.** *Emerging Natural Hydrocolloids*, [S.L.], p. 425-449, 8 fev. 2019. Wiley.

SANTOS, E.B.C. et al. **Extração e caracterização de espécie do gênero *Opuntia* para aplicação como biocoagulante e biofloculante no processo de tratamento de águas e efluentes.** *Conjecturas*, v. 22, n. 6, p. 811-827, 2022.

SCALIZE,P.S. et al. **I-119-Aplicação de análise termogravimétrica (TGA) e Termogravimetria derivada (DTG) em materiais orgânicos usados como absorvente.** 2020

SCHEINVAR, I. **Taxonomia das opuntias utilizadas.** BARBERA, G.; INGLESE, P. (Eds). *Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira.* Paraíba: SEBRAE/PB, 2001. p. 20-27

SILVA, K.B.O. da. **Avaliação eletroquímica da afinidade entre a *Opuntia ficus indica* e metais pesados (cádmio, chumbo, mercúrio e o níquel).** 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SILVA, R.R. ; SAMPAIO, E. V. S. B.. **Palmas forrageiras *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*: sistemas de produção e usos| *Opuntia ficus-indica* and *Nopalea cochenillifera cacti*: production systems and uses.** *Revista Geama*, p. 151-161, 2015.

SILVERSTEIN, R.M.; BASSLER, G.C.; MORRILL, T.C. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos.** 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 460 pp, 2000.

SOUZA, A.M. de; POPPI, R. J. **Experimento didático de quimiometria para análise exploratória de óleos vegetais comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio e análise de componentes principais: um tutorial, parte I.** *Química Nova*, v. 35, p. 223-229, 2012.

SOUZA, G. F. A. de. **Avaliação da utilização de aditivo biopolimérico extraído do cacto *Opuntia ficus indica* em pastas e microconcretos de cimento.** Portland. 2019.

STINTZING, F.C.; CARLE, R.. **Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses.** *Molecular Nutrition and Food Research*, v. 49, n. 2, p. 175–194, fev. 2005.

SUDZUKI Hills, F. (1999). Anatomia y morfologia. In: Jimenez, E. J. A. (Coord.). **Agroecologia, cultivo y usos del nopal.** Roma, FAO, pp. 29-36.

SUN, Y.C. et al. **Structural and thermal characterization of hemicelluloses isolated by organic solvents and alkaline solutions from *Tamarix austromongolica*.** *Bioresource Technology*, v. 102, p. 5947-5951, 2011.

TORRES-ACOSTA, A.A; MARTÍNEZ, M.M. **Mortar improvements from *Opuntia ficus indica* (Nopal) and *Aloe vera* additions.** *Inter American Conference on Non-Conventional Materials and Technologies in Ecological and Sustainable Construction.* Rio de Janeiro: [s.n.], 2005

TOZETTO, A.; DEMIATE, I. M. ; NAGATA, N.. **Análise exploratória de adoçantes de mesa via espectroscopia no infravermelho (FTIR) e análise por componentes principais (ACP).** *Food Science and Technology*, v. 27, p. 723-728, 2007.

TRACHTENBERG, S.; MAYER, A.M. **Composition and properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage.** *Phytochemistry*, v. 20, n. 12, p. 2665–2668, 1981.

VILLASENOR, M.A.A. **Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible.** 244 f. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2008.

WANG, J. et al. ***Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.-anticancer properties and phytochemicals: current trends and future perspectives.** *Frontiers in Plant Science*, v. 14, p. 1236123, 2023.

## ANEXOS

## ANEXO A - FICHA DE IDENTIFICAÇÃO BOTÂNICA


 HERBÁRIO IPA – DÁRDANO DE ANDRADE LIMA  
 FICHA DE IDENTIFICAÇÃO BOTÂNICA

FIB Nº 18/2024

	Nº de Tombo	Nome popular	Data da coleta	Hábito	Flores	Frutos	Família	Nome Científico	Identificada por
1	95332	Palma forrageira	04/04/2024	Arbustivo	-	Amarelos esverdeados	Cactaceae	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	F. Gallindo

Dr<sup>ª</sup> Rita de Cássia Pereira  
 Curadora do Herbário IPA

**Consulta:** Maria Eduarda Lemos de Novaes Silva

tel.: (81) 9 8745-3778

**Coletor:** Sr. José, proprietário da Fazenda Cachoeira

**Procedência:** PE – Serfânia – Área rural – Fazenda Cachoeira, Lat.: -8.07439; Long.: -37.2646; Alt.: 546 m.

**Ambiente Geral:** Caatinga.

**OBS.:** Material botânico em estudo na UFPE Campus de Recife – para artigo científico no curso de Ciências Farmacêuticas da aluna Maria Eduarda Lemos de Novaes Silva, sob a orientação da Pro<sup>ª</sup> Dr. Danilo César Galindo Bedor.

**Resultado:** encaminhado para: [eduarda.novaes@ufpe.br](mailto:eduarda.novaes@ufpe.br) e [isabella.barbosapereira@ufpe.br](mailto:isabella.barbosapereira@ufpe.br)

**Instituto Agronômico de Pernambuco - IPA**

Vinculado à Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária  
 Av. Gal. San Martin, 1371 – Bongi – 50761-000 – Recife – PE – C.P. 1022  
 CNPJ 10.912.293/0001-37 – PABX: (81) 3184-7200 – Fax: (81) 3184-7211  
 Home Page: [www.ipa.br](http://www.ipa.br) / E-mail: [ipa@ipa.br](mailto:ipa@ipa.br)

IPA – 77 anos semeando conhecimento

Fonte: Instituto Agronômico de Pernambuco, 2024.