



Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST

Bacharelado em Agronomia

Lady Daiane Costa de Sousa

**CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE DA MUCILAGEM DE *Nopalea cochenillifera* (L.) SALM- DYCK: UM ESTUDO COMPARATIVO SOB DIFERENTES ASPECTOS AGRONÔMICOS**

Serra Talhada – PE

2020

Lady Daiane Costa de Sousa

**CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE DA MUCILAGEM DE *Nopalea  
cochenillifera* (L.) SALM- DYCK: UM ESTUDO COMPARATIVO SOB DIFERENTES  
ASPECTOS AGRONÔMICOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada do curso de Bacharelado em Agronomia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

**Orientador:** Prof. Dr. Adriano do Nascimento Simões

Serra Talhada – PE

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S725c

Sousa, Lady Daiane Costa de

CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE DA MUCILAGEM DE *Nopalea cochenillifera* (L.) SALM- DYCK: UM ESTUDO COMPARATIVO SOB DIFERENTES ASPECTOS AGRONÔMICOS / Lady Daiane Costa de Sousa. - 2020. 50 f. : il.

Orientador: Dr Adriano do Nascimento Simoes.

Coorientador: Dr Kelem da Silva Fonseca.

Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Agronomia, Serra Talhada, 2020.

1. *Nopalea cochenillifera*. 2. Condutividade elétrica. 3. pH. 4. Infravermelho. 5. Carboidratos solúveis totais. I. Simoes, Dr Adriano do Nascimento, orient. II. Fonseca, Dr Kelem da Silva, coorient. III. Título

CDD 630

---

**CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE DA MUCILAGEM DE *Nopalea cochenillifera* (L.) SALM- DYCK: UM ESTUDO COMPARATIVO SOB DIFERENTES ASPECTOS AGRONÔMICOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada do curso de Bacharelado em Agronomia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

**Aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2020.**

Banca Examinadora

---

Dr. Adriano do Nascimento Simões  
(Orientador, UAST/UFRPE)

---

Dr<sup>a</sup>. Kelem da Silva Fonseca  
(Examinador interno, UAST/UFRPE)

---

Dr<sup>a</sup>. Ellen Karine Diniz Viegas  
(Examinador interno, UAST/UFRPE)

Serra Talhada – PE

2020

**DEDICO**

*Ao senhor Deus que me guia, meu socorro presente na hora de angústia;  
Dedico esta pesquisa aos meus pais. Sem eles nada seria possível.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por nunca me desamparar, por me dá força e sabedoria para superar as adversidades durante a caminhada.

À minha família que é minha base e meu porto seguro.

Ao meu orientador, Adriano do Nascimento Simões, por toda a dedicação a sua profissão, por todo o ensinamento, pela oportunidade, a paciência, os conselhos e o conhecimento a mim destinados.

À minha coorientadora, Kelem Silva Fonseca por todos os conselhos, apoio e paciência de ensinar-me.

Ao meu noivo Wagner Martins, por todo apoio e compreensão em todos os momentos dessa jornada.

A todos os meus professores que contribuíram na minha jornada, obrigada por todo o conhecimento compartilhado.

Ao Núcleo de Estudos de Fisiologia e Pós-colheita (NEFP) do qual fiz parte e pude contar com o auxílio de todos os integrantes.

Ao Grupo de Instrumentação e Análises Químicas (GIAQ), por permitir uso de equipamentos e auxiliar na realização de algumas análises.

Aos meus amigos Jheizon Nascimento e Yara Araújo por estarem sempre comigo me ajudando em todos os experimentos, análises de dados e parte escrita deste trabalho.

Aos meus amigos Agda Raiany, Mariana Lopes, Ana Claudia e João Vinicius com os quais superei diversas dificuldades durante a jornada acadêmica.

À banca pela disponibilidade de avaliar o trabalho.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>11</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
2.1 A CULTURA DA PALMA FORRAGEIRA .....	17
2.2 A MUCILAGEM DE PALMA FORRAGEIRA .....	18
2.3 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MUCILAGEM .....	19
2.4 REVESTIMENTOS E FILMES COMESTÍVEIS .....	20
2.5 APLICAÇÕES DA MUCILAGEM NA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS .....	22
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>24</b>
3.1 OBJETIVO GERAL .....	24
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	24
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
4.1 MATÉRIA-PRIMA E CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS .....	25
4.2 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE MUCILAGEM DE CACTOS .....	26
4.3 COLHEITA DE DOIS TAMANHOS DE CLADÓDIOS E ARMAZENAMENTO ....	26
4.4 COLHEITA DOS CLADÓDIOS EM DOIS HORÁRIOS E ARMAZENAMENTO ...	27
4.5 AVALIAÇÕES .....	27
4.4.1 Rendimento Agroindustrial .....	27
4.4.2 Sólidos solúveis totais (SST) .....	27
4.4.3 Acidez titulável (AT) .....	28
4.4.4 pH.....	28
4.4.5 Vitamina C .....	28
4.4.6 Condutividade elétrica (CE).....	28
4.4.7 Teor de Sódio (Na <sup>+</sup> ) e Potássio (K <sup>+</sup> ) .....	29
4.4.8 Carboidratos solúveis totais (CST) .....	29

4.4.9 Proteínas solúveis totais (PST).....	29
4.4.10 Espectrofotometria de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).....	30
6.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	30
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
7.1 EFEITO DO TAMANHO DOS CLADÓDIOS NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA MUCILAGEM .....	31
7.2 INFLUÊNCIA DO HORÁRIO DE COLHEITA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA MUCILAGEM .....	36
<b>6. DISCUSSÃO.....</b>	<b>39</b>
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>44</b>



## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1-** Resumo da análise de variância (ANOVA) para os efeitos dos tamanhos de cladódios, M = (100 a 230 mm) e G= (240 a 300 mm), horários de colheita (6 e 20 horas), tempo de conservação (0 e 12 dias) e suas interações com relação ao teor de ácido cítrico (AC), teor de potássio ( K<sup>+</sup>), teor de sódio (Na<sup>+</sup>), condutividade elétrica (CE), sólidos solúveis totais (SST), carboidratos solúveis totais (CST), pH, conteúdo de vitamina C e conteúdo de proteínas solúveis totais (PST) da mucilagem de palma forrageira (clone miúda). ..... 31

**Tabela 2** - Rendimento agroindustrial (%) da mucilagem de palma forrageira (clone Miúda) em dois tamanhos de cladódios, M = (100 a 230mm) e G = (240 a 300mm). ..... 31

**Tabela 3** - Rendimento agroindustrial (%) da mucilagem de palma forrageira (clone Miúda) em dois horários de colheita (06:00 e 20:00 horas)..... 37

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Mapa de distribuição geográfica das propriedades produtoras de palma forrageira, na área de atuação da Sudene ..... 17
- Figura 2**– Filmes de mucilagem de cacto plastificados com glicerol (A), sorbitol (B), PEG 200 (C) e PEG 400 (D). ..... 19
- Figura 3** – Diferentes categorias de polímeros comestíveis e exemplos ..... 21
- Figura 4** – Aparência de inhame minimamente processado revestido com as seguintes formulações: controle; mucilagem + amido, 3% + glicerol, 1% e mucilagem. As lâminas foram mantidas a  $5 \pm 2$  ° C por 10 dias ..... 23
- Figura 5**- Temperatura média (° C), umidade relativa (%) e precipitação (mm) entre os meses de agosto de 2019 a junho de 2020 no município de Serra Talhada- PE, Brasil. Fonte: INMET, 2020. As setas indicam os meses em que foram realizadas as colheitas. .... 25
- Figura 6** – Ácido cítrico (%), teor de potássio( $K^+$ ), teor de sódio( $Na^+$ ) e condutividade elétrica (CE) da mucilagem extraída de cladódios do clone Miúda de tamanhos distintos (A, C, E e G) em diferentes dias de conservação (B, D, F e H). As barras representam o erro padrão da média. As letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ). ..... 33
- Figura 7** - Sólidos solúveis totais (A), carboidratos solúveis totais (B), pH (C), conteúdo de vitamina C (D) e proteínas solúveis totais (E) da mucilagem extraída de cladódios do clone Miúda em dois tamanhos distintos e colhidos às 06:00 horas da manhã. As barras representam o erro padrão da média. As letras maiúsculas comparam os tamanhos e as minúsculas os dias de conservação..... 35
- Figura 8** - Espectros da mucilagem extraída do clone Miúda colhido às 06:00 horas em dois tamanhos de cladódios, 100 a 230mm e 240 a 300mm. .... 36
- Figura 9** – Teor de sólidos solúveis totais (%) da mucilagem extraída de cladódios do clone Miúda de horários distintos (A) em diferentes dias de conservação (B). As barras representam o erro padrão da média. As letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ). ..... 37
- Figura 10** – Ácido cítrico (%) (A), pH (B), teor de potássio ( $K^+$ ) (C), teor de sódio ( $Na^+$ ) (D), e Condutividade elétrica (CE) (E) da mucilagem do clone Miúda obtida de cladódios de tamanho entre 100 e 230 mm colhidos em horários distintos (06:00 e 20:00 horas). As barras

representam o erro padrão da média. As letras maiúsculas comparam os horários e as minúsculas os dias de conservação.....38

Lady Daiane Costa de Sousa, Bacharelado em Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, outubro de 2020. **Caracterização e estabilidade da mucilagem de palma forrageira, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck: um estudo comparativo sob diferentes aspectos agronômicos.** Orientador: Adriano Nascimento Simões.

## RESUMO

A mucilagem de palma forrageira possui grande aplicabilidade em diversas áreas, com destaque na área alimentícia, e tem-se mostrado promissora por ser uma fonte natural de polissacarídeos. Estudos recentes evidenciaram que as condições ambientais dos clones de *Nopalea* e *Opuntia* mudam a composição físico-química da mucilagem. Neste sentido, objetivou-se realizar uma caracterização físico-química da mucilagem de *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck hidratada e conservada sob refrigeração, extraída de cladódios colhidos com diferentes tamanhos e horários. Foram realizados dois estudos, no primeiro os cladódios foram colhidos às 06:00 horas em dois tamanhos 100 a 230 mm e 240 a 300 mm e definido o tamanho entre 100 e 230 mm como mais adequado. Assim, com este foi realizado o segundo estudo no qual cladódios foram colhidos em dois horários (06:00 e 20:00 horas). Os cladódios foram colhidos na área experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco/ Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST) e transportados para o laboratório do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UFRPE/UAST para a obtenção da mucilagem. Após a obtenção da mucilagem, esta foi hidratada e armazenada a 5°C por 12 dias. Foi quantificado o rendimento da mucilagem em pó após o processamento e realizadas as seguintes análises no início do experimento e após 12 dias: sólidos solúveis totais, acidez titulável, pH, condutividade elétrica e teor de sódio e potássio, vitamina C, carboidratos e proteínas totais e espectroscopia do infravermelho. Os experimentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, cada um destes foi realizado em esquema fatorial 2x2, com quatro repetições. No qual no primeiro estudo foram dois tamanhos de cladódios (100 a 230 mm e 240 a 300 mm) e dois dias de avaliação (0 e 12). No segundo estudo foram dois horários (06:00 e 20:00 horas) e dois dias de avaliação (0 e 12). Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA e quando significativos, foram submetidos ao teste de Tukey à 5% de probabilidade. Verificou-se que o rendimento de mucilagem foi maior

para os cladódios colhidos às 06:00 horas da manhã em relação aos colhidos às 20:00 horas. Além disso, a mucilagem obtida dos cladódios de tamanho entre 100 e 230 mm apresentou menor acidez, condutividade elétrica e grau de esterificação. Além de apresentar maior conteúdo de sólidos solúveis e proteínas. A colheita às 06:00 horas resultou na mucilagem com menor conteúdo de sólidos solúveis, ácido cítrico, condutividade elétrica, teor de sódio e potássio. Na conservação, a mucilagem oriunda dos cladódios com tamanho entre 100 e 230 mm apontaram maior estabilidade, já quanto ao horário de colheita não houve diferença na estabilidade para os parâmetros analisados. Portanto, as diferentes condições de obtenção dos cladódios resultam em diferenças na composição físico-química da mucilagem podendo flexibilizar ou potencializar os usos desta nas mais diversas áreas.

**Palavras chaves:** *Nopalea cochenillifera*; condutividade elétrica; pH; infravermelho; carboidratos solúveis totais.

Lady Daiane Costa de Sousa, Agronomy Bachelor, Federal Rural University of Pernambuco / Academic Unit of Serra Talhada, October 2020. **Characterization and stability of the mucilage of *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck: a comparative study under different agronomic aspects.** Advisor: Adriano do Nascimento Simões.

### **ABSTRACT**

The mucilage of forage Palm has great applicability in several areas, especially in the food area, and it has shown to be promising for being a natural source of polysaccharides. Recent studies have demonstrated that the environmental conditions of the *Nopalea* and *Opuntia* clones changed the physicochemical composition of the mucilage. In this sense, it was aimed to conduct a physicochemical characterization of the *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck mucilage, hydrated and conserved under refrigeration, extracted from cladodes harvested with different sizes and different times. Two studies were performed, in the first one the cladodes were collected at 6 am in two sizes (100 to 230 mm) and (240 to 300 mm), and the size between 100 and 230 mm was defined as the most adequate, with it was carried the second study out in which cladodes were collected at two specific times (6 am and 8 pm). The cladodes were collected in the experimental area of the Federal Rural University of Pernambuco / Academic Unit of Serra Talhada (UFRPE / UAST) and transported to the laboratory of the Graduate and Post-graduating Program in Plant Production at UFRPE / UAST to obtain mucilage. Succeeding obtaining the mucilage, it was hydrated and stored at 5° C for 12 days. The yield of mucilage powder was quantified after processing and the following analyzes were performed at the beginning of the experiment and after 12 days: total soluble solids, titratable acidity, pH, electrical conductivity, and sodium and potassium content, vitamin C, carbohydrates, and total proteins and infrared spectroscopy. The experiments were arranged in a completely randomized design, each of which was carried out in a 2x2 factorial scheme, with four replications. In which in the first study there were two sizes of cladodes (100 to 230 mm) and (240 to 300 mm) and two evaluation days (0 and 12). In the second study, there were two different times (6 am and 8 pm) and two evaluation days (0 and 12). The data obtained were submitted to ANOVA and when significant, they were subjected to the Tukey test at 5% probability. It was verified that mucilage yield was higher

for cladodes harvested at 6 am compared to those harvested at 8 pm. Furthermore, the mucilage obtained from cladodes of sizes between 100 and 230 mm showed lower acidity, electrical conductivity, and a decreased degree of esterification. In addition to having a higher content of soluble solids and proteins. The harvest at 6 am has resulted in a mucilage with a lower content of soluble solids, citric acid, electrical conductivity, sodium, and potassium content. In conservation, mucilage from cladodes with sizes between 100 and 230 mm showed greater stability, as for the time of harvest, there was no difference in stability for the analyzed parameters. Therefore, the different conditions for obtaining the cladodes result in differences in the physical-chemical composition of the mucilage, which can make it flexible or enhance its uses in the most diverse areas.

**Keywords:** *Nopalea cochenillifera*; electric conductivity; pH; infra-red; total soluble carbohydrates.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de palma forrageira abrange diversas áreas no mundo. No México, o uso é destinado preferencialmente para alimentação humana e animal, com a produção de frutos e cladódios jovens (SÁENZ; SEPÚLVEDA; MATSUHIRO, 2004). Além disso, a palma forrageira tem se destacado em diferentes áreas das ciências como na indústria farmacêuticas devido ao potencial como agente cicatrizante de feridas (AMMAR et al., 2018; DI LORENZO et al., 2017; TROMBETTA et al., 2006), no tratamentos de efluentes atuando como agente floculante em águas contaminadas com metais pesados (NHARINGO; MOYO, 2016; VECINO et al., 2016), na construção civil como aditivo orgânico melhorando as propriedades das argamassas de cal (VENTOL et al., 2011), na medicina no tratamento de diabetes, câncer, doenças inflamatórias e virais (FEUGANG, 2006) e na indústria de combustíveis como matéria prima para a produção de bioetanol (ALENCAR et al., 2018). Na indústria de alimentos, como ingredientes de alimentos, biofilmes e revestimentos comestíveis (DICK et al., 2020; GHERIBI et al., 2018; MORAIS et al., 2019).

No Brasil, grande parte da palma forrageira é destinada de forma exclusiva para alimentação animal (NUNES, 2011). Entretanto, os subprodutos de palma para alimentação humana vêm crescendo, com destaque o uso para fabricação de biscoito sem glúten (DICK et al., 2020) e para formulação de pão (LIGUORI et al., 2020). Na indústria alimentícia a mucilagem de palma tem se mostrado promissora por ser uma fonte natural de polissacarídeos que atuam como uma barreira à transferência de água diminuindo a desidratação dos alimentos e mantendo sua firmeza (DEL-VALLE et al., 2005). Além disso, a utilização da mucilagem destaca-se por ser uma matéria-prima renovável e ecológica (GHERIBI; KHWALDIA, 2019), apresentando características como: viscosidade, elasticidade, propriedades emulsificantes, e capacidade de retenção de água (MEDINA-TORRES et al., 2000; SÁENZ; SEPÚLVEDA; MATSUHIRO, 2004). Devido a estas características, a mucilagem de palma forrageira possui grande potencial na aplicação de embalagens para alimentos, como filmes comestíveis ou revestimentos (GHERIBI et al., 2018)

Sabe-se que a produção dos filmes é geralmente promovida pelas interações intercelulares e intracelulares ou devido a ligações cruzadas das cadeias poliméricas que



originam uma rede tridimensional semirrígida levando ao aprisionamento e imobilização do solvente (DAMAS et al., 2017). Portanto, é de suma importância o conhecimento das propriedades físico-químicas da mucilagem quanto a condutividade elétrica, pH, teor de sódio e potássio, e como essas variáveis interferem na conformação molecular da mucilagem. Além disso, a caracterização de proteínas e carboidratos é necessária visto que os polissacarídeos fornecem barreira ao O<sub>2</sub> e as características mecânicas essenciais a constituição de um bom filme (BERTAN et al., 2005).

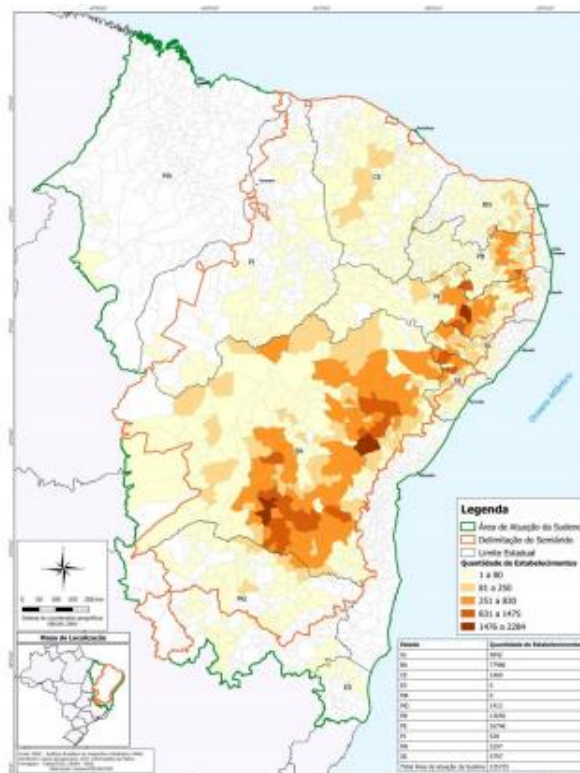
As propriedades físico-químicas da mucilagem de palma mudam em função das espécies do Gênero *Opuntia* (RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ et al., 2014) e de acordo com a idade e estação do ano (SILVA et al., 2015). Tais propriedades mudam também nos biofilmes comestíveis produzidos a partir de mucilagem de diferentes espécies mexicanas de *Opuntia* (SANDOVAL et al., 2019). Nos estudos de Rodríguez-González et al., (2014) foi realizado uma caracterização físico-química de cladódios da palma oriundos do México, utilizando formas de extração de mucilagem distintas. Nos estudos de Ribeiro et al., (2010) foram realizados uma caracterização do conteúdo de carboidratos presentes nos cladódios de *Opuntia ficus-indica*, de acordo com sua idade e sazonalidade. No entanto, nesses trabalhos a estabilidade físico-química da mucilagem não foi estudada. Além disso, sabe-se que devido as cactáceas apresentarem metabolismo ácido das crassuláceas (MAC) a composição de ácidos orgânicos muda em um intervalo de horas (RODRIGUEZ-FELIX; CANTWELL, 1988). Resultados obtidos por Scalisi et al., (2016), indicaram que uma variedade de fatores estão envolvidos na dinâmica de crescimento de cladódios, como temperatura, luz, umidade do solo, água da planta, concentração de solutos no tecido, idade, dentre outros. Como também, sugerido por Gheribi et al., (2018) as condições ambientais podem influenciar nas propriedades de um biofilme. Assim, torna-se importante uma caracterização da estabilidade físico-química da mucilagem afim de verificar a influência do tamanho e do horário de colheita do cladódio, para fins de utilização de mucilagem em biofilmes ou revestimentos comestíveis.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A CULTURA DA PALMA FORRAGEIRA

A palma forrageira (*Opuntia* spp.) é pertencente à família das cactáceas (QUEIROZ et al., 2015), sendo esta planta amplamente distribuída no México e no continente Sul-americano. No Brasil, esta cultura foi introduzida no final do século XIX (QUEIROZ et al., 2015). As principais espécies cultivadas de palma forrageira são *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm- Dyck. No semiárido brasileiro, o número de localidades produtoras desta cultura está em torno de 125.725 propriedades (Figura 1) com sua produção em maior concentração nos estados de Alagoas, Pernambuco e Paraíba (PEREIRA et al., 2015). Para o semiárido brasileiro esta planta tem elevada relevância, visto que é uma das principais culturas utilizadas para o suprimento alimentar dos rebanhos nos longos períodos de estiagem (PEREIRA et al., 2015).

**Figura 1** – Mapa de distribuição geográfica das propriedades produtoras de palma forrageira, na área de atuação da Sudene



FONTE: Sudene, 2017.

A grande adaptabilidade às regiões semiáridas desta cultura se deve as características morfofisiológicas que possibilitam sua sobrevivência em ambientes com escassez de água, alta temperaturas e solos pouco férteis (PEREIRA et al., 2015). Entre elas se destacam; o uso de mecanismos de armazenamento de água e nutrientes no período das chuvas, para serem usados na época de escassez hídrica. Esse mecanismo é denominado de ácido das crassuláceas, que permite a abertura noturna dos estômatos para a captação de CO<sub>2</sub> e fechamento estomatal diurno, o que ocasiona redução de perda de água pela transpiração durante a aquisição de carbono inorgânico (LÜTTGE, 2004, 2010). Além disso, o efeito osmótico do acúmulo de ácidos orgânicos permite a aquisição noturna de água do fluxo de transpiração, com o armazenamento temporário de água nos vacúolos (LÜTTGE, 2010). Estas plantas possuem ainda uma rede de raízes finas próximas as camadas superficiais do solo (até 10-20 cm), especializadas para rápida absorção da água de chuvas leves ou até do orvalho (SNYMAN, 2006). Essas características concedem a palma forrageira aptidão para lidar com a baixa disponibilidade hídrica e alta taxa de radiação solar (LÜTTGE, 2004, 2010; PEREIRA et al., 2015), condições típicas do semiárido nordestino.

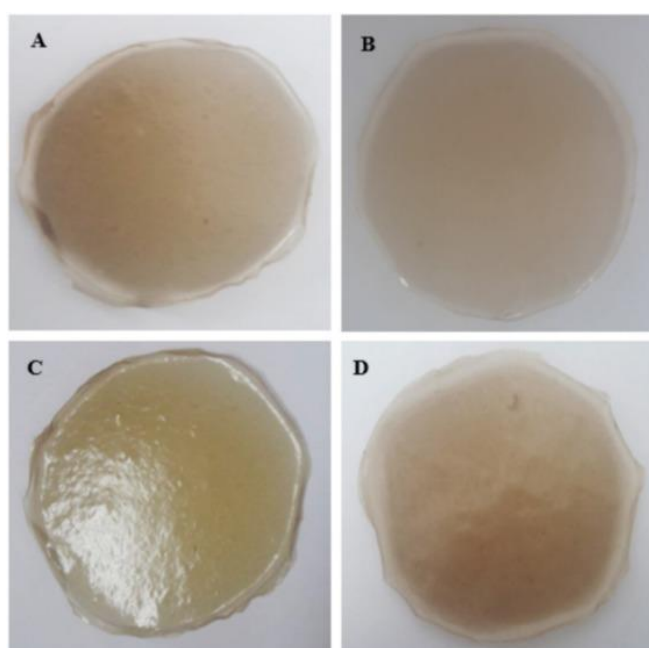
## 2.2 A MUCILAGEM DE PALMA FORRAGEIRA

Polissacarídeos de derivados de biomassa, como a mucilagem de diferentes espécies, têm-se destacado sobre os polímeros sintéticos, devido a estes serem derivados de fontes renováveis, biocompatíveis e biodegradáveis (VALDÉS; GARRIGÓS, 2016). A mucilagem da palma forrageira é obtida dos cladódios, está é um heteropolissacarídeo que apresenta alto peso molecular e estrutura ramificada (SEPÚLVEDA et al., 2007), composta principalmente por açúcares como arabinose, galactose, xilose (TRACHTENBERG; MAYER, 1981), a mesma é considerada pela indústria um potencial hidrocoloide por apresentar características como: viscosidade, elasticidade, propriedades emulsificantes, capacidade de reter água (MEDINA-TORRES et al., 2000; SÁENZ; SEPÚLVEDA; MATSUHIRO, 2004) e por possuir aparência translúcida e amorfa.

A mucilagem de palma forrageira apresenta capacidade de inchar quando dissolvida em água formando suspensões coloidais e viscosas (SEPÚLVEDA et al., 2007). Devido a sua matriz polimérica ela contém propriedades filmogênicas e elásticas (CONTRERAS-

PADILLA et al., 2015), que podem atuar como uma barreira à transferência de água, apresentando potencial para uso na indústria de alimentos, na elaboração de revestimentos; além disso, a mucilagem é uma matéria-prima com biodegradabilidade e atoxidade (PRAJAPATI et al., 2013). Quando acrescida de plastificantes, a mucilagem apresenta maior potencial para a elaboração de filmes comestíveis (Figura 2), sendo assim, considerada uma alternativa sustentável também para a produção de embalagens de alimentos, em substituição às embalagens plásticas derivadas de petróleo (GHERIBI et al., 2018).

**Figura 2**– Filmes de mucilagem de cacto plastificados com glicerol (A), sorbitol (B), PEG 200 (C) e PEG 400 (D).



FONTE: Gheribi et al., 2018.

### 2.3 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MUCILAGEM

A composição físico-química da mucilagem varia de acordo com a espécie, a idade dos cladódios e as condições edafoclimáticas de obtenção dos cladódios (GEBRESAMUEL; TSIGE GEBRE-MARIAM, 2012). Monrroy et al., (2017) ao realizar a extração e caracterização da mucilagem *Opuntia cochenillifera* (L.) Miller verificaram que esta continha em média 40% de carboidratos, 7,4% de proteína bruta, 1,6 % de nitrogênio, 0,4 % de fósforo,

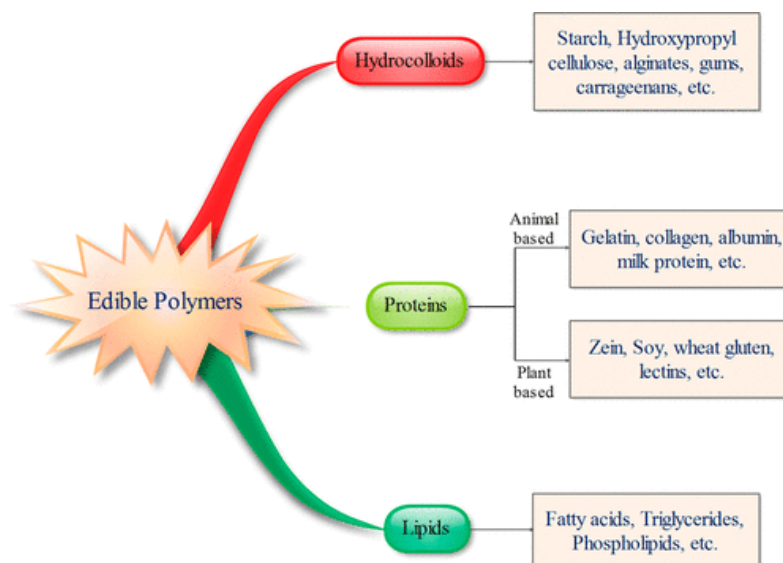
1,2% de potássio, 1,85% de cálcio e 0,35% de magnésio. Além disso, este estudo constatou que nas concentrações de 1,4 e 6% os valores de densidade eram 1,03, 1,03 e 1,05 g. mL<sup>-1</sup>, condutividade elétrica foram 2,3, 4,9 e 5,4 mS cm<sup>-1</sup> e pH variando entre 4,8 e 5,0.

Sepúlveda et al., (2007) caracterizaram a mucilagem de *Opuntia* spp e verificaram que esta continha em média 5,6% de umidade; 7,3% de proteína; 37,3% de cinzas; 1,14% de nitrogênio; 9,86% de cálcio e 1,55% de potássio. Jouki et al., (2013) verificaram ao estudar a mucilagem obtida de sementes de marmelo que esta apresentava 78,43% de açúcar total, 3,39% de proteína, 8,86% de umidade, 6,71% de cinzas e 1,98% de teor de gordura. Contreras-Padilla et al., (2016) estudaram as propriedades físico-químicas e reológicas (escoamento e deformação do fluido) da mucilagem e verificaram que esta é ligeiramente ácida apresentando pH entre 5,6 e 6 , além disso a mucilagem apresenta comportamento de fluido não-newtoniano, elevadas propriedades elásticas, este comportamento acontece primordialmente aos 100 dias de maturidade. A mucilagem é um composto que apresenta peso molecular variando de  $2,3 \times 10^4$  até  $4,3 \times 10^6$  g.mol<sup>-1</sup>. (CONTRERAS-PADILLA et al., 2016). A mucilagem é composta pelos açúcares galactose, arabinose, ácido galacturônico e glicose (ESPINO-DÍAZ et al., 2010). Medina-Torres et al., (2000) ao estudarem as propriedades reológicas da mucilagem de *Opuntia ficus indica* observaram uma dependência acentuada da viscosidade em função da temperatura, força iônica e do pH, na qual à medida que ocorre um aumento do pH de ácido até alcalino, há um aumento na viscosidade, já com o aumento da força iônica ocorre a diminuição da viscosidade.

## 2.4 REVESTIMENTOS E FILMES COMESTÍVEIS

Sabe-se que a indústria alimentícia está cada vez mais interessada em novas tecnologias que atuem aumentando o tempo de vida pós-colheita dos alimentos, como o emprego de revestimentos comestíveis, biorrevestimentos e biofilmes (ASSIS; BRITTO, 2014). Os filmes comestíveis são definidos como uma camada fina de material comestível formados em uma superfície de um alimento. Os principais materiais utilizados para a formação de filmes comestíveis são polissacarídeos, proteínas e lipídios (ESPINO-DÍAZ et al., 2010), desse modo os filmes são classificados em: hidrocoloides, proteicos e lipídicos (Figura 3) (ALI; AHMED, 2018).

**Figura 3** – Diferentes categorias de polímeros comestíveis e exemplos



FONTE: Ali & Ahmed, 2018.

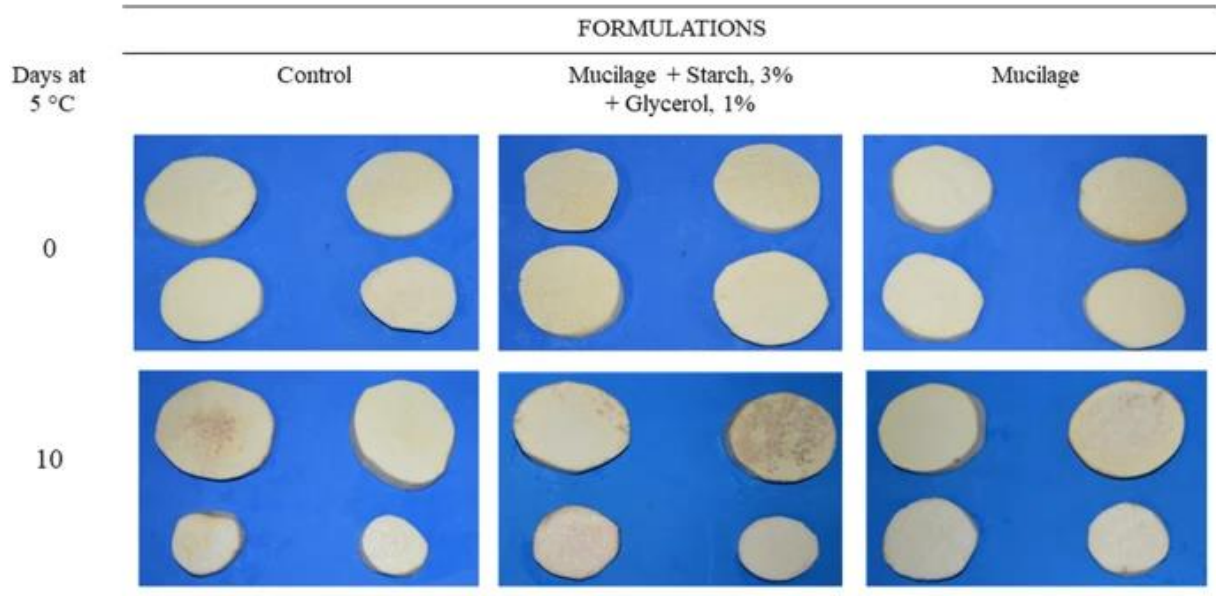
O uso dessa tecnologia visa prolongar o prazo de validade dos alimentos, proporcionando uma redução da perda de umidade, controle de permeabilidade dos gases e da atividade microbiana, além da preservação da integridade estrutural dos tecidos (ARVANITTOYANNIS; PSOMIADOU; NAKAYAMA, 1996; GHERIBI; HABIBI; KHWALDIA, 2019). Filmes comestíveis com boas propriedades mecânicas apresentam grande potencial para substituir filmes sintéticos, resultando na diminuição da poluição ambiental pois os filmes obtidos são biodegradáveis (DEL-VALLE et al., 2005). A mucilagem de palma apresenta a capacidade de formar filmes, no entanto, o filme formado é frágil, quebradiço e pouco flexível. Devido a isso, é necessária a adição de plastificantes pois eles conferem elasticidade, resistência e mantêm a integridade física do filme formado. O glicerol, sorbitol e polietilenoglicol estão entre os principais plastificantes utilizados em adição a mucilagem para melhorar suas propriedades mecânicas e elásticas (GHERIBI et al., 2018).

## 2.5 APLICAÇÕES DA MUCILAGEM NA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

A mucilagem de palma forrageira tem se tornado matéria prima de estudos em diversas áreas. De 1982 a 2020 foram publicados um total 275 trabalhos acadêmicos sobre essa matéria prima, 70 destes estavam relacionados à tecnologia de alimentos e 31 aos estudos de polímeros (SCIENCE, 2020). Diversos estudos têm sido desenvolvidos sobre o uso da mucilagem palma forrageira como matéria prima para formulação de revestimentos comestíveis. Del-Valle et al., (2005) utilizaram a mucilagem de *Opuntia ficus indica* como um revestimento comestível para ser utilizado na conservação de morangos, e verificaram que este mostrou ser eficiente na manutenção da integridade física e propriedades sensoriais, prolongando o tempo de prateleira dos frutos, sendo uma tecnologia que pode potencialmente reduzir as perdas pós-colheita.

Aquino et al., (2009) observaram uma função protetora da mucilagem combinada com concentrações elevadas de ácido cítrico e bissulfeto de sódio, uma vez que, durante a secagem houve uma redução no escurecimento das bananas. Allegra et al., (2016) aplicaram um revestimento a base de mucilagem de palma em kiwis minimamente processados e observaram que este mostrou uma tendência de manter os compostos bioativos, a firmeza e reduzir a perda de peso dos frutos, além de manter a qualidade visual destes. Damas et al., (2017) realizaram um estudo no qual fabricaram filmes tendo como matéria-prima a mucilagem de frutos de *Cereus hildmannianus* acrescida de plastificantes em diferentes concentrações e verificaram que esta apresenta um potencial promissor para uso como revestimentos comestíveis a serem aplicados na indústria de alimentos. Em seu estudo Gheribi et al., (2018) concluíram que adição de plastificantes polióis mostram efeitos significativos nos filmes de mucilagem de *Opuntia ficus-indica*, sendo uma alternativa sustentável para a produção de embalagens biodegradáveis para alimentos em substituição as embalagens plásticas convencionais. Morais et al., (2019) estudaram a mucilagem de *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck como revestimentos comestíveis inhome minimamente processado (Figura 4), e observaram uma redução na perda de massa fresca e uma manutenção na qualidade visual e sensorial, mostrando que o revestimento comestível formulado é bastante promissor para a aplicação em raízes minimamente processadas.

**Figura 4** – Aparência de inhame minimamente processado revestido com as seguintes formulações: controle; mucilagem + amido, 3% + glicerol, 1% e mucilagem. As lâminas foram mantidas a  $5 \pm 2$  ° C por 10 dias



FONTE: Morais et al., 2019.



### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar a estabilidade físico-química da mucilagem de *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm- Dyck hidratada e conservada sob refrigeração, obtida da extração de cladódios colhidos com diferentes tamanhos e horários.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

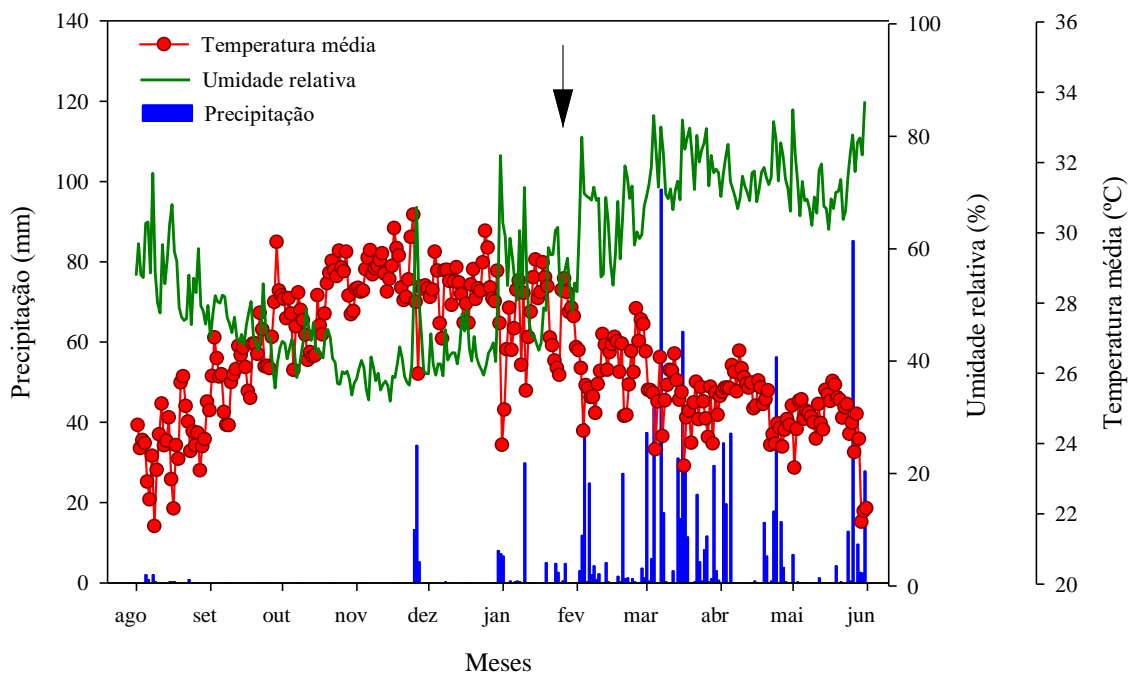
- Quantificar o rendimento da mucilagem de palma obtida de cladódios submetidos a diferentes condições agrônômicas.
- Caracterizar as propriedades físico-químicas da mucilagem de palma, obtidas de cladódios colhidos em diferentes tamanhos e horários.
- Caracterizar a estabilidade da mucilagem de palma durante o armazenamento refrigerado tendo como base as mudanças físico-químicas.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 MATÉRIA-PRIMA E CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

Cladódios de palma forrageira, clone Miúda, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm- Dyck, foram adquiridos na área experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco/ Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST) em Serra Talhada-PE, Brasil. Pela classificação de Köppen o clima da região é do tipo Bsh, caracterizado como semiárido, quente e seco, médias anuais de temperatura maiores que 25°C, precipitação média anual de 647 mm e com altitude de 481 m (BEZERRA et al., 2010). As condições climáticas, temperatura média, umidade relativa e precipitação pluvial, durante o período experimental estão descritas na figura 5.

**Figura 5-** Temperatura média (° C), umidade relativa (%) e precipitação (mm) entre os meses de agosto de 2019 a junho de 2020 no município de Serra Talhada- PE, Brasil. Fonte: INMET, 2020. As setas indicam os meses em que foram realizadas as colheitas.



## 4.2 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE MUCILAGEM DE CACTOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, fez-se necessário dividí-lo em estudos específicos sobre a caracterização da mucilagem. Neste sentido, inicialmente foi realizado o experimento relacionado ao tamanho dos cladódios, em que cladódios foram colhidos no mês de novembro e definido qual tamanho se destacou quanto as variáveis estudadas, com esse tamanho posteriormente foi realizado o segundo estudo quanto ao horário de colheita, onde os cladódios foram colhidos no mês de fevereiro.

## 4.3 COLHEITA DE DOIS TAMANHOS DE CLADÓDIOS E ARMAZENAMENTO

Os cladódios de palma forrageira com tamanhos entre 100 a 230 mm de comprimento e entre 240 a 300 mm de comprimento foram colhidos às 06:00 horas. Após a colheita, foram processados segundo a metodologia definida por Gheribi et al., (2018), com modificações. Os cladódios foram pesados e retirada a epiderme. Em seguida, o córtex foi pesado, cortado em cubos e homogeneizado em multiprocessador (Philips Walita, ri7775, Barueri, Brasil), por 30 segundos, na proporção 2:3 (duas partes de mucilagem para três partes de álcool 84%). O homogenato foi filtrado e lavado em álcool etílico reutilizado (84%) (usado em extrações anteriores). O precipitado foi coletado e seco em estufa a 55 °C por 24 horas. Após a secagem, a mucilagem foi pulverizada com auxílio de um moinho portátil (Polespresso, Original coffee flavor, Carapin da Serra, Brasil) para obtenção de um pó seco.

A mucilagem em pó foi hidratada em água destilada (4% p/p) e mantida refrigerada a 5 °C em placas de Petri cobertas com plástico filme, contendo em cada placa 25 mL de mucilagem.

#### 4.4 COLHEITA DOS CLADÓDIOS EM DOIS HORÁRIOS E ARMAZENAMENTO

No segundo estudo, foram utilizados cladódios de tamanho entre 100 a 230 mm de comprimento (definido no estudo anterior). Os cladódios foram colhidos em dois horários, 06:00 e às 20:00 horas e a extração da mucilagem foi realizada conforme já descrito. Posteriormente a mucilagem em pó foi hidratada em água destilada (4% p/p) e mantida refrigerada a 5 °C em placas de Petri cobertas com plástico filme, contendo em cada placa 25 mL de mucilagem.

#### 4.5 AVALIAÇÕES

O rendimento agroindustrial foi quantificado após a extração e foram realizadas as seguintes análises no início do experimento e após 12 dias: sólidos solúveis totais, acidez titulável, pH, vitamina C, condutividade elétrica, teor de potássio e sódio e carboidratos solúveis totais, proteínas solúveis totais e espectrofotometria de infravermelho.

##### 4.4.1 Rendimento Agroindustrial

O rendimento foi determinado com base no peso fresco, utilizando-se como base o cladódio inteiro e pedaços do parênquima, usando as equações:

$$RCF = \frac{MMP}{MCF} * 100$$

Em que RCF= Rendimento do Cladódio Fresco, %; MMP= Massa da Mucilagem em Pó, g; MCF = Massa do Cladódio Fresco, g.

$$RPC = \frac{MMP}{MPC} * 100$$

Em que RPC= Rendimento do Parênquima do Cladódio, %; MMP= Massa da Mucilagem em Pó, g; MPC = Massa do Parênquima do Cladódio, g.

##### 4.4.2 Sólidos solúveis totais (SST)

O teor de sólidos solúveis totais da mucilagem hidratada foi obtido através do uso de um refratômetro digital portátil de bancada (INSTRUTHERM, RTD-95, São Paulo, Brasil) em que foi usado aproximadamente 1 mL de mucilagem para a realização da leitura. Os resultados foram expressos em porcentagem.

#### 4.4.3 Acidez titulável (AT)

A acidez titulável foi realizada segundo Astello-García et al., (2015), com algumas modificações utilizando solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N. Os resultados foram calculados pela fórmula a seguir e expressos em % de ácido cítrico.

$$AT = \frac{N \times V \times Eq \text{ ácido cítrico}}{v}$$

Em que AT= acidez titulável, (% de ácido cítrico); N= concentração de NaOH; V= Volume de NaOH usado na titulação, (mL); Eq= equivalente gramas de ácido cítrico (64,02); v= Volume da amostra utilizada (mL).

#### 4.4.4 pH

Para aferição do pH foi utilizado um pHmetro (TECNAL, TEC-5, Piracicaba, Brasil). Em que o sensor foi colocado dentro das placas de Petri contendo as amostras.

#### 4.4.5 Vitamina C

O conteúdo de vitamina C foi determinado pelo método de Tillmans conforme a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (ODAIR ZENEBO. NEUS SADOCCO PASCUET. PAULO TIGLEA, 2008), na qual se baseia no princípio da titulação e foi expresso em miligramas de ácido ascórbico por 100 gramas de massa seca ( $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ ), e calculada pela fórmula abaixo:

$$AA = \frac{V \times F \times 100}{A}$$

Em que AA= ácido ascórbico, ( $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ ); V= Volume da solução de Tillmans gasto na titulação, (mL); A= Volume da amostra utilizada, (mL); F= Fator da solução de tillmans.

Em que o fator da solução de tillmans foi calculado pela fórmula abaixo:

$$F = \frac{\text{VitC}}{\text{ST}}$$

Onde F= fator da solução de Tillmans; Vit C = quantidade de solução de vitamina C usado na titulação, (mg); ST= solução de Tillmans gastos, (mL).

#### 4.4.6 Condutividade elétrica (CE)

A Condutividade elétrica foi realizada através do uso de um condutivímetro de bancada (TECNAL, Tec-4MP, Piracicaba, Brasil). Em que o sensor foi colocado dentro

das placas de Petri contendo as amostras para realizar a leitura. Os resultados foram expressos em  $\text{mS cm}^{-1}$ .

#### **4.4.7 Teor de Sódio ( $\text{Na}^+$ ) e Potássio ( $\text{K}^+$ )**

Os teores de sódio e potássio foram obtidos conforme metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (LUTZ, 2008), que se baseia na técnica de fotometria de emissão de chamas com o uso do fotômetro de chamas modelo (MICRONAL, B462, Piracicaba, Brasil). Utilizou-se aproximadamente uma alíquota com 5000  $\mu\text{L}$ , sendo esse volume composto por 4900  $\mu\text{L}$  de água pura e 100  $\mu\text{L}$  de mucilagem. Os resultados foram expressos em  $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$  massa seca e quantificados com base na equação obtida para a curva padrão.

#### **4.4.8 Carboidratos solúveis totais (CST)**

A determinação de carboidratos solúveis totais seguiu a metodologia de Analytical Biochemistry (RIBEIRO et al., 2010), com algumas modificações. A mucilagem hidratada (2 mL) foi centrifugada (Hettich, MIKRO 220, Berlim, Alemanha) a 10000 rpm, a 4 °C por 21 min. Uma alíquota de 10  $\mu\text{L}$  foi adicionada a 490  $\mu\text{L}$  de água deionizada, 500  $\mu\text{L}$  de fenol (5%) e 2500  $\mu\text{L}$  de ácido sulfúrico P.A. Os tubos foram agitados em vórtex (TECNAL, AP56, Araraquara, Brasil) e mantidos em repouso por 10 min. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra) a 490 nm. Utilizou-se a glicose anídrica como padrão externo. O teor de carboidratos totais foi expresso em g de carboidratos solúveis  $100\text{g}^{-1}$  de massa seca.

#### **4.4.9 Proteínas solúveis totais (PST)**

O conteúdo de proteínas solúveis totais foi obtido conforme metodologia descrita pelo Bradford (KRUGER, 1994), com algumas adaptações. Um volume de 2 mL da mucilagem hidratada foi centrifugado (Hettich, MIKRO 220, Berlim, Alemanha) a 10000 rpm a 4 °C por 21 min. Cem microlitro do sobrenadante foi misturado a 1000  $\mu\text{L}$  de reagente de Bradford. Os tubos foram agitados em vórtex (TECNAL, AP56, Araraquara, Brasil) e permaneceram à temperatura ambiente por 15 min. As leituras foram realizadas usando um espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra) a 595 nm. Utilizou-se albumina sérica bovina (BSA) como padrão externo. O teor de proteínas solúveis totais foi expresso em mg de proteína solúvel  $100\text{g}^{-1}$  de massa seca.

#### **4.4.10 Espectrofotometria de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)**

As análises espectrais na região do infravermelho médio foram realizadas em um espectrofotômetro de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR) (Frontier da Perkin Elmer®), utilizando o acessório universal de reflexão total atenuada (UATR). Os espectros foram obtidos na região de 4000-400 $\text{cm}^{-1}$ , resolução 8  $\text{cm}^{-1}$  e 8 varreduras, e força 30 newtons. Para o branco, utilizou-se o ar e as medidas foram realizadas diretamente no pó branco de mucilagem sob o cristal de diamante.

#### **6.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Os experimentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2, com quatro repetições. No primeiro estudo foram dois tamanhos de cladódios ( M-100 a 230 mm de comprimento e G-240 a 300 mm de comprimento) e dois dias de conservação (0 e 12 dias), no segundo estudo foram dois horários de colheita (06:00 e às 20:00 horas) e dois dias de conservação (0 e 12 dias). Os dados foram submetidos aos testes de normalidade, análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade com o auxílio do software R x 64 3.4.0 (CORETEAM, 2019). Os gráficos foram elaborados com a utilização do software Sigma Plot versão 14.

## 5. RESULTADOS

As análises estatísticas (Tab.1) mostraram efeitos da interação e de fatores isolados referentes aos tratamentos: tamanhos de cladódios; horário de colheita; tempo de conservação, sobre os aspectos físico-químicos analisados na mucilagem de palma forrageira clone Miúda.

**Tabela 1-** Resumo da análise de variância (ANOVA) para os efeitos dos tamanhos de cladódios (100 a 230 mm e 240 a 300 mm), horários de colheita (06:00 e 20:00 horas), tempo de conservação (0 e 12 dias) e suas interações com relação ao teor de ácido cítrico (AC), teor de potássio (K<sup>+</sup>), teor de sódio (Na<sup>+</sup>), condutividade elétrica (CE), sólidos solúveis totais (SST), carboidratos solúveis totais (CST) pH, conteúdo de vitamina C e conteúdo de proteínas solúveis totais (PST) da mucilagem de palma forrageira (clone Miúda).

FATORES	AC	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	CE	STT	CST	pH	VIT.C	PST
Tamanho de Cladódio	*	NS	NS	**	**	**	NS	**	**
Dias de conservação	*	**	NS	**	*	**	NS	**	**
Tamanho x Dias	NS	NS	NS	NS	*	**	*	*	*
Horário de colheita	*	**	**	**	**	-	**	-	-
Dias de conservação	**	NS	**	**	NS	-	**	-	-
Horário x Dias	**	*	**	**	NS	-	**	-	-

NS - não significativo, \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$

### 5.1 EFEITO DO TAMANHO DOS CLADÓDIOS NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA MUCILAGEM

Observou-se que não houve diferença significativa no rendimento agroindustrial entre os dois tamanhos estudados (Tab.2).

**Tabela 2** - Rendimento agroindustrial (%) da mucilagem de palma forrageira (clone Miúda) em dois tamanhos de cladódios, 100 a 230mm e 240 a 300mm.

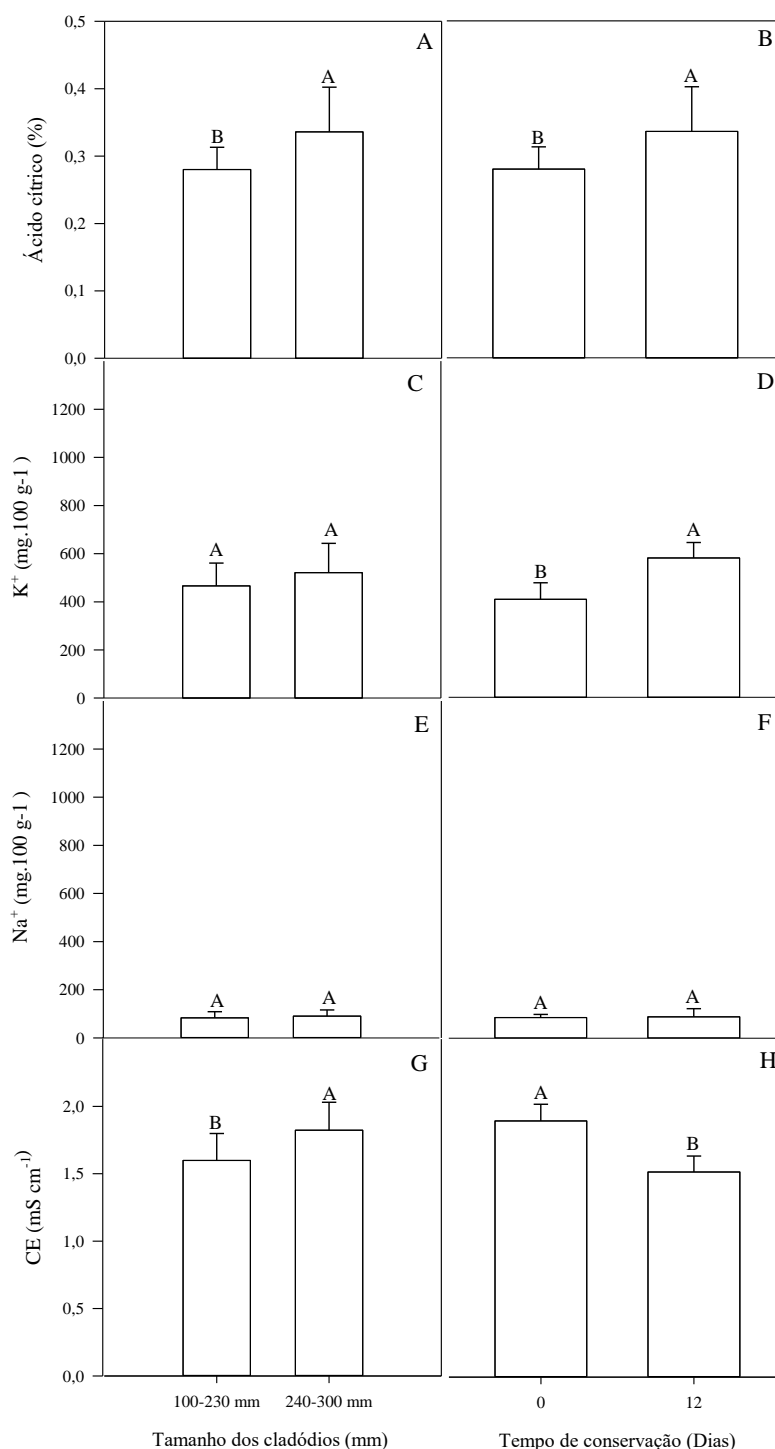
Tamanho do cladódio (mm)	Rendimento agroindustrial (%)	
	Cladódio inteiro	Parênquima
100 a 230	3.99 ± 1.2 a	9.80 ± 1.7 a
240 a 300	4.13 ± 1.0 a	10.79 ± 2.7 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, ± representa desvio padrão da média.



Não houve efeito de interação entres os fatores estudados para o teor de ácido cítrico,  $K^+$ ,  $Na^+$  e CE presentes na mucilagem (Tab.1). Nesse sentido, está sendo apresentado na figura 6, o efeito do tamanho e dos dias de armazenamento isoladamente. Verificou-se que a mucilagem extraída dos cladódios de tamanho entre 100 e 230 mm apresentaram significativamente menor teor de ácido cítrico e CE em relação aos cladódios com tamanho entre 240 e 300 mm (Fig.6A e G). Durante o armazenamento, os teores de ácido cítrico e  $K^+$  aumentaram significativamente e a CE reduziu (Fig.6B, D e H).

**Figura 6** – Ácido cítrico (%), teor de potássio( $K^+$ ), teor de sódio( $Na^+$ ) e condutividade elétrica (CE) da mucilagem extraída de cladódios do clone Miúda de tamanhos distintos (A, C, E e G) em diferentes dias de conservação (B, D, F e H). As barras representam o erro padrão da média. As letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

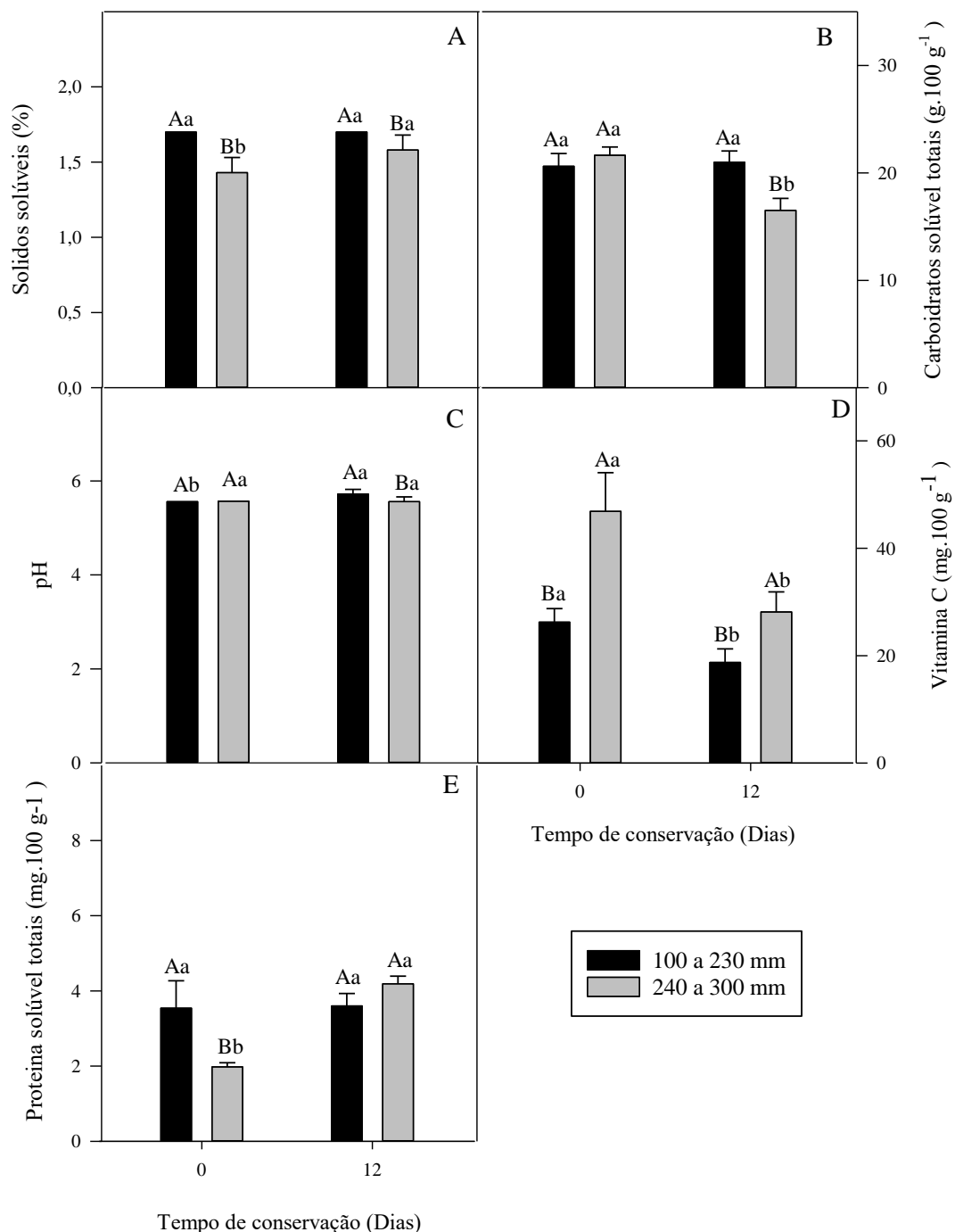


Houve efeito de interação entres os fatores estudados para os teores de sólidos solúveis, carboidratos solúveis, pH, vitamina C e proteínas solúveis (Tab.1). Observou-se que o teor de sólidos solúveis e proteínas solúveis totais, foram significativamente

maiores para os tamanhos de 100 a 230 mm, em relação aos tamanhos de 240 a 300 mm (Fig.7A e E). O menor tamanho apresentou também menores teores de vitamina C, logo após a colheita (Fig.7D). Além disso, os valores de pH e carboidratos solúveis não diferiram em relação ao tamanho (Fig.7B e C).

Depois de 12 dias de armazenamento da mucilagem, os teores de sólidos solúveis, carboidratos solúveis e proteínas solúveis, permaneceram estáveis para mucilagem dos cladódios de 100 a 230 mm, já para mucilagem obtida dos cladódios de tamanhos de 240 a 300 mm ocorreu incremento nos teores de sólidos solúveis e proteínas e redução no conteúdo de carboidratos (Fig.7A, B e E). O pH não mudou para os tamanhos entre 240 a 300 mm, contudo este aumentou na mucilagem obtida dos cladódios de 100 a 230 mm (Fig.7C). Por outro lado, o teor de vitamina C, reduziu durante o armazenamento para ambos os tamanhos (Fig.7D).

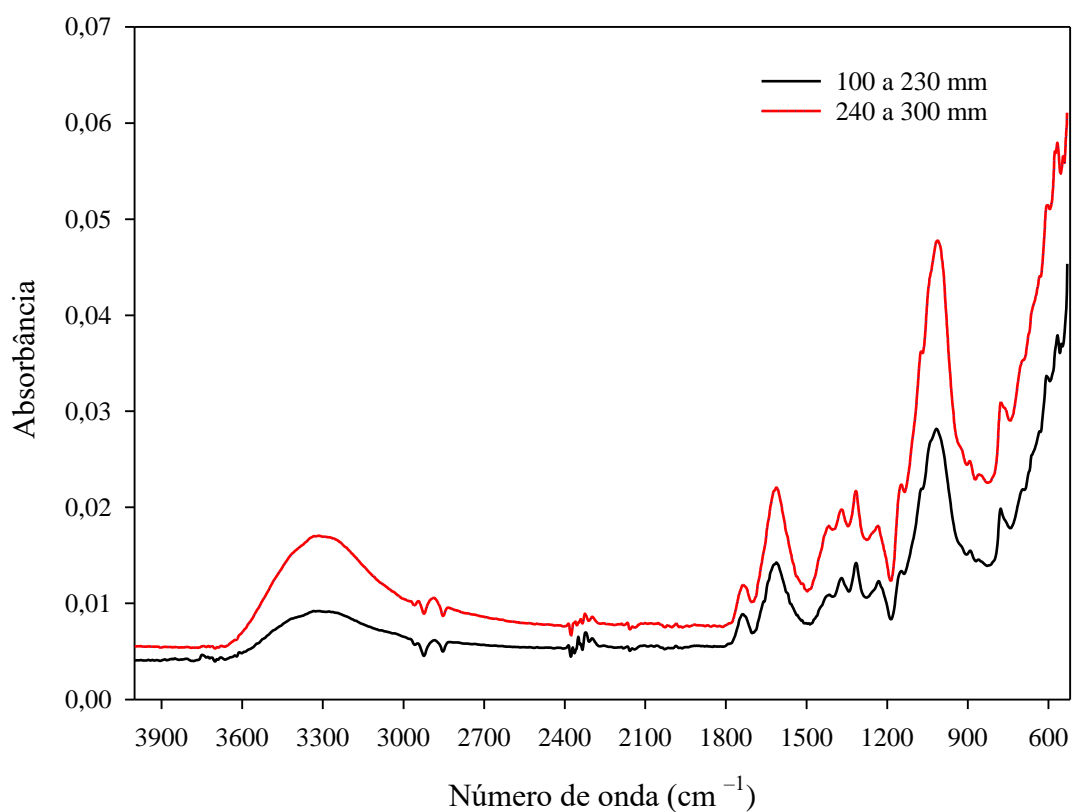
**Figura 7** - Sólidos solúveis totais (A), carboidratos solúveis totais (B), pH (C), conteúdo de vitamina C (D) e proteínas solúveis totais (E) da mucilagem extraída de cladódios do clone Miúda em dois tamanhos distintos e colhidos às 06:00 horas da manhã. As barras representam o erro padrão da média. As letras maiúsculas comparam os tamanhos e as minúsculas os dias de conservação.



As principais bandas no espectro amostral da mucilagem obtida dos cladódios de tamanho entre 100 e 230 mm e 240 a 300 mm foram nos seguintes números de onda:

$3334\text{cm}^{-1}$ ;  $2926\text{cm}^{-1}$ ; uma mais intensa em  $1612\text{cm}^{-1}$  e outra mais fraca em  $1426\text{cm}^{-1}$  (Fig.8). Além de um conjunto de picos na região entre  $1380$  e  $1240\text{cm}^{-1}$  e  $1044\text{cm}^{-1}$  (Fig.8).

**Figura 8** - Espectros da mucilagem extraída do clone Miúda colhido às 06:00 horas em dois tamanhos de cladódios, 100 a 230mm e 240 a 300mm.



## 5.2 INFLUÊNCIA DO HORÁRIO DE COLHEITA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA MUCILAGEM

Observou-se que o rendimento agroindustrial, tanto com base no cladódio inteiro, como com base no parênquima, foi maior para a mucilagem obtida dos cladódios colhidos às 06:00 horas (Tab.3).

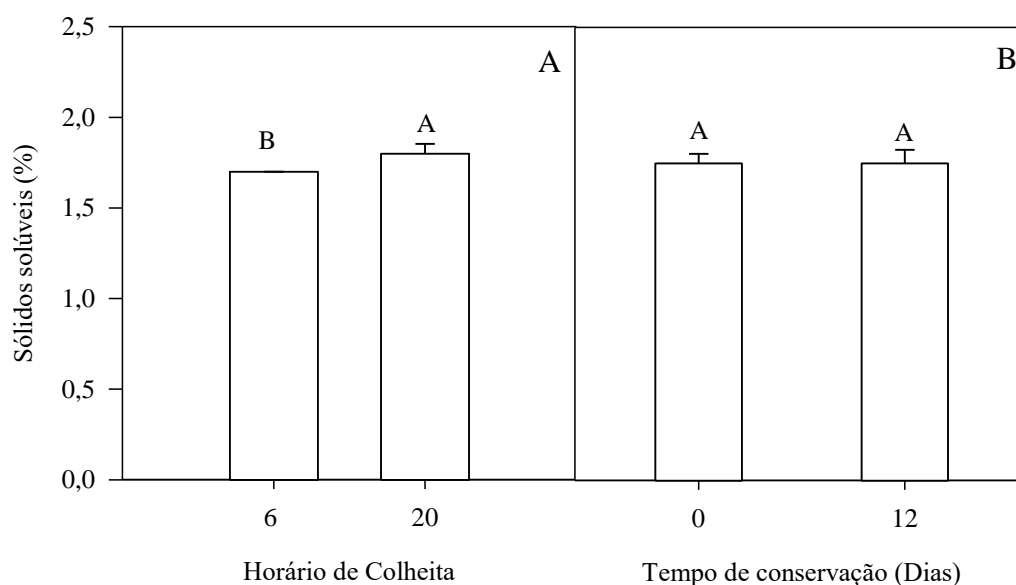
**Tabela 3** - Rendimento agroindustrial (%) da mucilagem de palma forrageira (clone Miúda) em dois horários de colheita (às 06:00 horas e às 20:00 horas).

Horário de colheita	Rendimento agroindustrial (%)	
	Cladódio inteiro	Parênquima
06:00 horas	3.99 ±1.2 a	9.80±1.7 a
20:00 horas	0.023 ±0.01b	4.35±1.2 b

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, ± representa desvio padrão das médias.

Observou-se que para sólidos solúveis, apenas o horário de colheita teve efeito significativo (Tab.1). Nesse sentido, observou-se que a colheita às 20:00 horas apresentou maior teor de sólidos solúveis da mucilagem (Fig.9A). Além disso, verificou-se que o teor de sólido solúveis manteve-se estável durante o armazenamento (Fig.9B).

**Figura 9** – Teor de sólidos solúveis totais (%) da mucilagem extraída de cladódios do clone Miúda de horários distintos (A) em diferentes dias de conservação (B). As barras representam o erro padrão da média. As letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

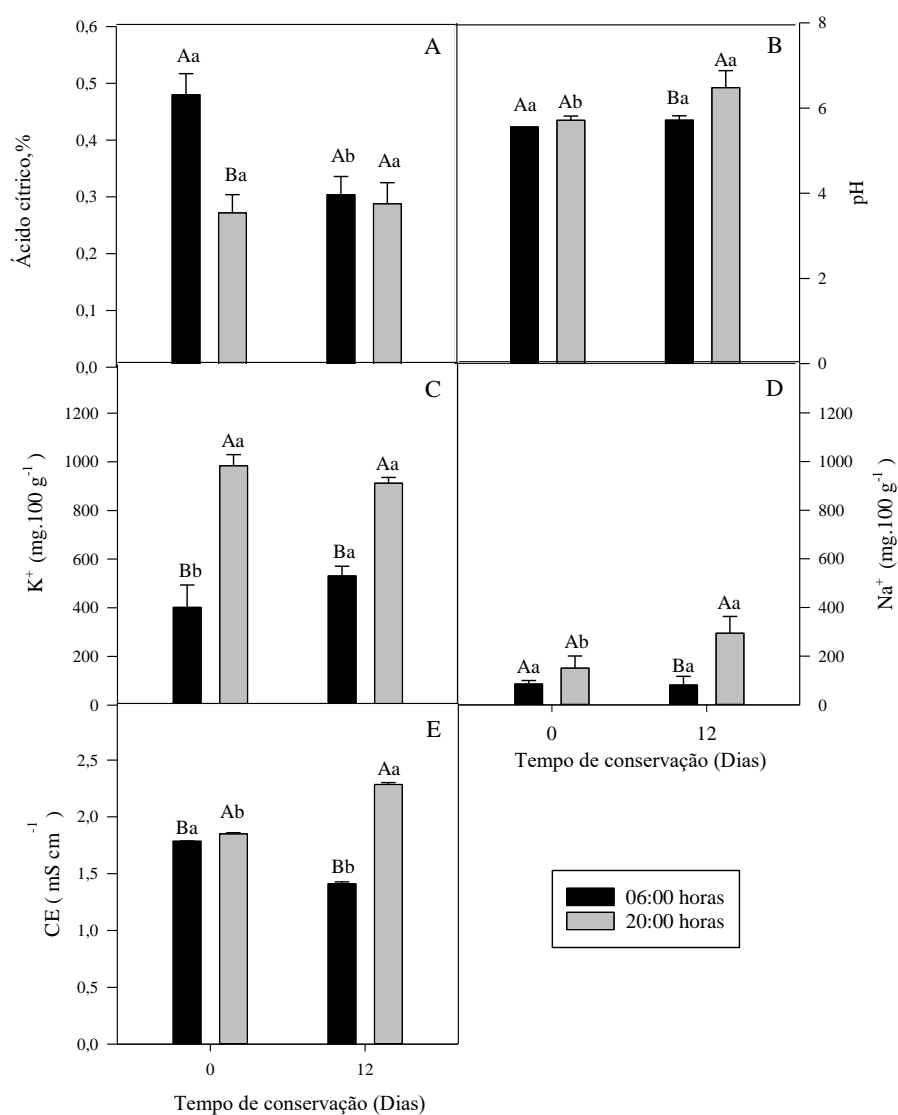


Houve efeito de interação entre os horários de colheita e dias de armazenamento para os teores de ácido cítrico, pH, CE,  $K^+$  e  $Na^+$  (Tab.1). Observou-se que a colheita às 06:00 horas, manteve mais altos os teores de ácido cítrico, embora não tenha alterado o

pH (Fig.10A e B). Esses cladódios colhidos no início da manhã, também mantiveram inferiores o teor de  $K^+$  e a CE, em relação aos colhidos às 20:00 horas (Fig.10C e E).

No armazenamento, apenas os cladódios colhidos às 06:00 horas da manhã, mantiveram estáveis o pH e  $Na^+$ , em relação aos colhidos às 20:00 horas (Fig.10B e D). Para os cladódios colhidos às 06:00 horas da manhã, o teor de  $K^+$ , aumentou durante o armazenamento, enquanto a acidez e a CE reduziram (Fig.10C e E).

**Figura 10** – Ácido cítrico (%) (A), pH (B), teor de potássio ( $K^+$ ) (C), teor de sódio ( $Na^+$ ) (D), e Condutividade elétrica (CE) (E) da mucilagem do clone Miúda obtida de cladódios de tamanho entre 100 e 230 mm colhidos em horários distintos (06:00 e 20:00 horas). As barras representam o erro padrão da média. As letras maiúsculas comparam os horários e as minúsculas os dias de conservação.



## 6. DISCUSSÃO

Acredita-se que composição físico-química da mucilagem de palma forrageira muda de acordo com as condições de obtenção da matéria prima. Estudos recentes têm evidenciado que as condições ambientais e clones de *Nopalea* e *Opuntia* mudam a composição físico-química da mucilagem, podendo flexibilizar e/ou potencializar o uso de mucilagem nas diversas áreas. O presente trabalho tem focado em manuseios agrônômicos, que também podem gerar mucilagem com propriedades físico-químicas distintas, principalmente para o uso em filmes comestíveis, no qual permanecem aderidos a superfícies de frutas e hortaliças sob armazenamento refrigerado por alguns dias.

Um grande desafio na obtenção de mucilagem de palma forrageira refere-se ao rendimento. Quando apresenta valores baixos, pode não ser atrativo economicamente ao uso em tecnologia alternativa para a obtenção de polímeros oriundos de fontes naturais renováveis. Na literatura, os mais altos rendimentos observados são os estudos Petera et al., (2015) que obtiveram rendimento de 24% com base no peso seco do pó de cladódios. Em relação a matéria fresca os maiores rendimentos foram obtidos por Sepúlveda et al., (2007) e Dick et al., (2020) com valores de 1,56% e 1,20%, respectivamente. No presente estudo, o maior rendimento foi em torno de 10%, utilizando como referência o parênquima, independentemente do tamanho, oriundo de cladódios colhidos às 06:00 horas da manhã. Assim, esse valor é mais do que o dobro em relação aos cladódios colhidos às 20:00 horas (Tabelas 2 e 3), como também, é quase sete vezes maior, em relação ao obtido por. Sepúlveda et al., (2007) e Dick et al., (2020). As variações observadas no rendimento podem ser devido aos diferentes métodos de extração, as diferentes espécies de *Opuntia* e as diferentes condições de obtenção da matéria prima. (GHERIBI; KHWALDIA, 2019; GOLDSTEIN; ANDRADE; NOBEL, 1991; SEPÚLVEDA et al., 2007). Sabe-se que as cactáceas se destacam por sua resistência as condições de déficit hídrico, como por exemplo: o armazenamento de água e nutrientes no parênquima no período das chuvas (OLIVEIRA et al., 2010); emissão de raízes adventícias (SNYMAN, 2006), dentre outros. No presente trabalho, os tamanhos estudados do cladódio não alteraram no rendimento, sendo um dos motivos que se selecionou cladódios com tamanho entre 100 e 230 mm, para continuação dos ensaios.



Por outro lado, a colheita pela manhã incrementou ambos os rendimentos estudados, evidenciando que, para extração de mucilagem a colheita pela manhã é mais promissora; visto que nessa categoria de plantas, a abertura estomática resulta em perda de água por transpiração durante o período sem luz (LEE, 2010; SCALISI et al., 2016). Em relação a colheita noturna, o acúmulo de compostos osmoticamente ativos e a síntese diurna de carboidratos levam ao aumento da pressão osmótica, o que causa a ativação de mecanismos de reidratação nos cladódios; esta ocorre de forma retardada e gradual durante o dia (LEE, 2010; SCALISI et al., 2016). Em função dessa abertura estomática, Scalisi et al., (2016) constataram que os cladódios apresentam variação na turgidez com padrões de encolhimento durante à noite, e alargamento durante o dia .

Uma das vantagens do uso de mucilagens em filmes, é seu alto conteúdo de carboidratos, aproximadamente, 14% do peso seco (GOLDSTEIN; ANDRADE; NOBEL, 1991). No presente trabalho, os dois tamanhos, tiveram o conteúdo de carboidratos semelhantes (Fig.7B). Porém, o tamanho entre 100 a 230 mm apresentou maiores teores de sólidos solúveis e proteínas (Fig.7A e E). Além disso, a colheita noturna incrementou significativamente os sólidos solúveis (Fig.9A). Os sólidos solúveis, é uma medida geral para se ter ideia do teor de açúcares em um produto, uma vez que os açúcares representam entre 85-90% destes, mas sabe-se que contém ainda vitaminas, compostos fenólicos, pectinas e ácidos orgânicos (CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, 2005). Além disso, polissacarídeos e proteínas fornecem aos filmes e revestimentos boas propriedades mecânicas e organolépticas, além de serem barreiras eficazes a compostos aromáticos e gases leves, como oxigênio e dióxido de carbono (DEBEAUFORT et al., 2000; YANG; PAULSON, 2000). O conteúdo proteico dos cladódios tende a diminuir com a idade, o que pode estar relacionado a uma maior atividade metabólica nos estágios iniciais de maturação (FIGUEROA-PÉREZ et al., 2018; NUÑEZ-LÓPEZ; PAREDES-LÓPEZ; REYNOSO-CAMACHO, 2013), e ao transporte de nitrogênio ocorrer de tecidos maduros para jovens (ACEVEDO; BADILLA; NOBEL, 1983; FIGUEROA-PÉREZ et al., 2018). O que explica o maior conteúdo proteico nos cladódios de tamanho entre 100 e 230 mm (Fig.7E).

No presente trabalho foi medido a acidez titulável, representada pelo ácido cítrico, e o teor de vitamina C. Ambos os ácidos apresentaram menores teores em cladódios de tamanho entre 100 e 230 mm (Figuras 6A e 7D), embora que, o pH manteve-se tamponado próximo a 5,6 independentemente do tamanho do cladódio

(Fig.7C). Associado a isso, a colheita dos cladódios às 06:00 horas resultou em um maior teor de ácido cítrico (Fig.10A). Devido ao metabolismo CAM dos cactos, os ácidos orgânicos são sintetizados e acumulados durante a noite incrementando a acidez (LÜTTGE, 2004; LÜTTGE 2010). Durante o dia a acidez tende a diminuir devido a remobilização dos ácidos orgânicos que deixam o vacúolo e são descarboxilados no citosol ou nas mitocôndrias durante processos fotossintéticos (LÜTTGE, 2004; LÜTTGE 2010). O ácido ascórbico é uma substância instável, devido a ser degradada facilmente pela ação de enzimas, do oxigênio atmosférico, das condições de calor excessivo, da presença de cátions leves e de metais pesados (PRETTI et al., 2014). Nos cladódios, cerca de 60% da capacidade antioxidante está relacionado ao teor de vitamina C, entretanto, em condições de estresse hídrico o conteúdo de ácido ascórbico tende a diminuir pois este antioxidante é consumido para amenizar o efeito das espécies reativas de oxigênio (PRETTI et al., 2014). Durante o armazenamento os teores de ácido ascórbico tenderam a diminuir, como observado no presente trabalho (Fig.7D), isso se deve ao processo de degradação da vitamina C, que ocorre em condições aeróbicas e anaeróbicas, e pela ação da luz (BOBBIO, P. A.; BOBBIO, 1992). No período de conservação ocorreu diminuição no conteúdo de ácido cítrico apenas para a mucilagem obtida da colheita às 06:00 horas, embora o pH não tenha alterado nesse horário (Fig.10A e B). Os ácidos orgânicos provenientes da via fotossintética CAM, fornecem aos cladódios capacidade de tamponar o pH (CORRALES-GARCÍA et al., 2004). Contudo, essa propriedade é afetada pelo horário de colheita dos cladódios, em que estes quando colhidos no início da manhã apresentam maior capacidade de tampão de pH (CORRALES-GARCÍA et al., 2004). Sabe-se que o pH ideal para formulação de filmes é entre 5,6 e 7, pois nessa faixa ocorre um espalhamento da configuração molecular da mucilagem, devido a diminuição das forças de repulsão e maior número de ligações intermoleculares de hidrogênio; o que resulta em uma rede tridimensional mais ordenada, produzindo filmes compactos e resistentes (ESPINO-DÍAZ et al., 2010).

A condutividade elétrica estima a concentração de íons presentes na mucilagem, na qual as variações nesse parâmetro podem ser atribuídas a presença de íons divalentes e monovalentes (MONRROY et al., 2017). Este parâmetro mostrou que o tamanho de 100 a 230 mm apresentou menor CE (Fig.6G). O que é explicado pelo estágio fisiológico, no qual cladódios jovens apresentam maior fluxo de água, causando diluição na concentração de íons neste tamanho (SCALISI et al., 2016;

UNIVERSITARIO et al., 2005). Além disso, a colheita realizada às 06:00 horas também proporcionou menores valores médios de CE (Fig.10E). No presente trabalho foram medidos os íons  $K^+$  e  $Na^+$ , estes são íons que contribuem para os valores da CE observada, inclusive outros, como  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (GEBRESAMUEL; TSIGE GEBRE-MARIAM, 2012; MONRROY et al., 2017). O teor de  $Na^+$  não alterou independente dos manuseios impostos (Figuras 6E e 10D). Porém, o teor de  $K^+$  destacou-se quanto aos seus altos valores nos cladódios colhidos às 20:00 horas, (Fig.10C) que pode ser devido ao processo de indução de abertura estomática, o qual acontece naturalmente nas cactáceas durante a noite (GOLDSTEIN; ANDRADE; NOBEL, 1991; LEE, 2010; LÜTTGE, 2004). Além disso, os ácidos orgânicos acumulados a noite, por serem osmoticamente ativos, contribuem para o aumento da condutividade elétrica nesse horário (LÜTTGE, 2004).

Os cactos tendem a apresentar no clorênquima níveis mais elevados de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Mn^{2+}$  do que a maioria das outras plantas agronômicas (LÜTTGE, 2004). Os cactos se destacam por seus níveis elevados de  $Ca^{2+}$  sendo denominadas de plantas calcitróficas; este íon associado com  $K^+$ ,  $Na^+$  e  $Mg^{2+}$  serve como contra-íon para um pool de carboxilatos de fundo que não oscilam diurnamente e ajudam na estabilização osmótica (LÜTTGE, 2004). No presente trabalho não foi quantificado o  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ . Na mucilagem, a presença de eletrólitos é importante para a formulação de suspensões (MONRROY et al., 2017), visto que a condutividade elétrica influencia diretamente na viscosidade. A viscosidade depende diretamente da força iônica, pois a concentração de íons ou sais presentes em uma solução causa um desarranjo na conformação molecular (VAN KREVELEN, 1997) resultando em um fluido menos viscoso, que prejudica a adesão do revestimento a superfície do produto (ASSIS; BRITTO, 2014). Medina-Torres et al., (2000), verificaram que os íons de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  apresentam maior influência sobre estes parâmetros em relação à  $Na^+$  e  $K^+$ , devido a sua maior força iônica e estarem presentes em maior concentração na mucilagem de cactos.

O perfil geral dos espectros das amostras da mucilagem obtida dos cladódios de tamanho entre 100 e 230 mm e 240 a 300 mm é similar ao relatado na literatura (Fig.8) (GHERIBI et al., 2018; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ et al., 2014). Entre as bandas encontradas destacam-se:  $3334\text{cm}^{-1}$  atribuída ao estiramento OH de álcool e ácido carboxílico;  $2926\text{cm}^{-1}$  atribuídas as vibrações de ligações C-H, que incluem estiramento simétrico e assimétrico de ligações C-H,  $CH_2$  e  $CH_3$  de moléculas presentes na

mucilagem (BAYAR; KRIAA; KAMMOUN, 2016; BERNARDINO-NICANOR et al., 2018; GHERIBI; HABIBI; KHWALDIA, 2019; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ et al., 2014). Na mucilagem verificou-se a presença de íon carboxilato ( $\text{COO}^-$ ) dando origem a duas bandas, uma mais intensa em  $1612\text{ cm}^{-1}$  que provém da deformação axial assimétrica e outra mais fraca em  $1426\text{ cm}^{-1}$ , que provém da deformação axial simétrica (RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ et al., 2014). Além de um conjunto de picos na região entre  $1380$  e  $1240\text{ cm}^{-1}$  que correspondem a vibrações C-H e O-H, aparece também uma de grande intensidade em  $1044\text{ cm}^{-1}$ , que corresponde as vibrações de C-C e C-O presentes em pó de mucilagem de cactos. Em ambos os tamanhos estudados, verificou a presença um pequeno pico na região de  $1734\text{ cm}^{-1}$ , característica de mucilagem com certo grau de esterificação (RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ et al., 2014), o que não é indicado para produção de filmes comestíveis de mucilagem, uma vez que, quanto mais elevado o grau de esterificação, os grupos carboxila não estarão livres para interagir com moléculas de água, ocasionando uma baixa capacidade de absorção (GHERIBI et al., 2018). No entanto, vale ressaltar, que os cladódios de menor tamanho apresentaram menor pico na região  $1734\text{ cm}^{-1}$ , indicando menor grau de esterificação, associado a isto este tamanho apresentou altas concentrações de açúcar, o que indica que apesar do grau de esterificação a mucilagem podem absorver água e formar gel (BRANDÃO; ANDRADE, 1999).

O presente estudo demonstrou como as condições agronômicas influenciam nas características físico-químicas e na estabilidade da mucilagem. Torna-se evidente as proposições sugeridas por Scalisi et al., (2016) e Gheribi et al., (2018), nas quais o meio pode ser um forte modulador das características físicas-químicas e na composição química de cladódios de cactos. Neste trabalho, estudou-se o tamanho e o horário de colheita como fatores de variação, observando-se a estabilidade físico-química, caso a mucilagem fosse armazenada em um processo de produção industrial. O detalhamento das condições de cultivo de cactos e manuseio são de extrema importância, assim como a colheita de cladódios em horários alternados altera significativamente teores de ácidos e íons importantes. Dessa forma, deve existir um manuseio cuidadoso dos cladódios, na escolha do tamanho e horário de colheita a ser usada para fins industriais; pois percebe-se um crescimento significativo nos estudos desta matéria-prima na indústria de alimentos.

Por fim, os cladódios colhidos com tamanho entre 100 e 230 mm e colhidos às 06:00 horas resultaram na mucilagem com composição iônica e características físico-químicas mais adequadas para uso da mucilagem na formulação de filmes e revestimentos. Além disso, durante o armazenamento, os cladódios de tamanho entre 100 e 230 mm resultaram em maior estabilidade quanto aos parâmetros analisados. A estabilidade do armazenamento é um indicador importante sobre a viabilidade do uso do material, em escala industrial; visto que estes são estocados em grande quantidade para uso posterior. Portanto, as diferentes condições de obtenção dos cladódios resultam em diferenças na composição físico-química e na estabilidade da mucilagem podendo flexibilizar ou potencializar os usos desta nas mais diversas áreas.

## 7. CONCLUSÃO

A mucilagem obtida dos cladódios de tamanho entre 100 e 230 mm apresentou menor conteúdo de ácido cítrico, condutividade elétrica e grau de esterificação. Além de apresentar maior conteúdo de sólidos solúveis, proteínas solúveis totais. Quanto ao horário, a colheita às 06:00 horas resultou em um maior rendimento da mucilagem em pó. Além disso, a mucilagem obtida da colheita às 06:00 horas conteve menor concentração de sólidos solúveis, condutividade elétrica e teores de sódio e potássio. Na conservação, a mucilagem oriunda dos cladódios com tamanho entre 100 e 230 mm apontaram maior estabilidade para os parâmetros analisados durante o armazenamento refrigerado.

## REFERÊNCIAS

- ACEVEDO, E.; BADILLA, I.; NOBEL, P. S. Water Relations, Diurnal Acidity Changes, and Productivity of a Cultivated Cactus, *Opuntia ficus-indica*. **Plant Physiology**, v. 72, n. 3, p. 775–780, 1983.
- ALENCAR, B. A. R. et al. Bioresource Technology Enzymatic hydrolysis of cactus pear varieties with high solids loading for bioethanol production. **Bioresource Technology**, v. 250, n. October 2017, p. 273–280, 2018.
- ALI, A.; AHMED, S. Recent Advances in Edible Polymer Based Hydrogels as a Sustainable Alternative to Conventional Polymers. 2018.
- ALLEGRA, A. et al. The influence of *Opuntia ficus-indica* mucilage edible coating on the quality of “Hayward” kiwifruit slices. **Postharvest Biology and Technology**, 2016.
- AMMAR, I. et al. Anti-inflammatory activity and phenolic composition of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) flowers. **Industrial Crops and Products**, v. 112, n. October 2017, p. 313–319, 2018.

- AQUINO, L. V et al. Inhibición del Oscurecimiento con Mucílago de Nopal (*Opuntia ficus indica*) en el Secado de Plátano Roatán. **Información tecnológica**, v. 20, n. 4, p. 15–20, 2009.
- ARVANITOYANNIS, I.; PSOMIADOU, E.; NAKAYAMA, A. Edible films made from sodium caseinate, starches, sugars or glycerol. Part 1. **Carbohydrate Polymers**, v. 31, n. 4, p. 179–192, 1 dez. 1996.
- ASSIS, O. B. G.; BRITTO, D. DE. Revisão: coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 2, p. 87–97, 2014.
- 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.
- BAYAR, N.; KRIAA, M.; KAMMOUN, R. Extraction and characterization of three polysaccharides extracted from *Opuntia ficus indica* cladodes. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 92, p. 441–450, 2016.
- BERNARDINO-NICANOR, A. et al. Spectroscopic and structural analyses of *Opuntia Robusta* mucilage and its potential as an edible coating. **Coatings**, v. 8, n. 12, p. 1–11, 2018.
- BERTAN, L. C. et al. Effect of fatty acids and “Brazilian elemi” on composite films based on gelatin. **Food Hydrocolloids**, v. 19, n. 1, p. 73–82, 2005.
- BEZERRA, S. A. et al. Hydraulic characteristics of rill erosion in a semiarid cambissolo in Brazil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. vol: 34, n. 4, p. 1325–1332, 2010.
- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. [s.l.: s.n.]. v. 2
- BRANDÃO, E. M.; ANDRADE, C. T. Influência de fatores estruturais no processo de gelificação de pectinas de alto grau de metoxilação. **Polímeros**, v. 9, n. 3, p. 38–44, 1999.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. rev ed. [s.l.: s.n.].
- CONTRERAS-PADILLA, M. et al. Characterization of crystalline structures in *Opuntia ficus-indica*. 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, 2016.
- CORETEAM, R. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. [s.l.: s.n.]. v. 2
- CORRALES-GARCÍA, J. et al. Acidity changes and pH-buffering capacity of nopalitos (*Opuntia* spp.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 32, n. 2, p. 169–174, 2004.
- DAMAS, M. S. P. et al. Edible films from mucilage of *Cereus hildmannianus* fruits: Development and characterization. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 134, n. 35, p. 1–9, 2017.

- DEBEAUFORT, F. et al. Lipid hydrophobicity and physical state effects on the properties of bilayer edible films. **Journal of Membrane Science**, v. 180, n. 1, p. 47–55, 2000.
- DEL-VALLE, V. et al. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. **Food Chemistry**, v. 91, n. 4, p. 751–756, 2005.
- DI LORENZO, F. et al. The polysaccharide and low molecular weight components of *Opuntia ficus indica* cladodes: Structure and skin repairing properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, p. 128–136, 2017.
- DICK, M. et al. Mucilage and cladode flour from cactus (*Opuntia monacantha*) as alternative ingredients in gluten-free crackers. **Food Chemistry**, v. 314, n. May 2019, p. 126178, 2020.
- ESPINO-DÍAZ, M. et al. Development and characterization of edible films based on mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.). **Journal of Food Science**, v. 75, n. 6, 2010.
- FEUGANG, J. M. Nutritional and medicinal use of Cactus pear ( *Opuntia* spp .) cladodes and fruits. n. February, 2006.
- FIGUEROA-PÉREZ, M. G. et al. Phytochemical composition and in vitro analysis of nopal (*O. Ficus-Indica*) cladodes at different stages of maturity. **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. 1, p. 1728–1742, 2018.
- GEBRESAMUEL, N.; TSIGE GEBRE-MARIAM. Comparative Physico-Chemical Characterization of the Mucilages of Two Cactus Pears ( *Opuntia* spp .) Obtained. **Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology**, v. 3, n. January, p. 79–86, 2012.
- GHERIBI, R. et al. Development of plasticized edible films from *Opuntia ficus-indica* mucilage: A comparative study of various polyol plasticizers. **Carbohydrate Polymers**, 2018.
- GHERIBI, R.; HABIBI, Y.; KHWALDIA, K. Prickly pear peels as a valuable resource of added-value polysaccharide: Study of structural, functional and film forming properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 126, n. 2019, p. 238–245, 2019.
- GHERIBI, R.; KHWALDIA, K. Cactus mucilage for food packaging applications. **Coatings**, v. 9, n. 10, p. 1–19, 2019.
- GOLDSTEIN, G.; ANDRADE, J.; NOBEL, P. Differences in Water Relations Parameters for the Chlorenchyma and the Parenchyma of *Opuntia ficus-indica* Under Wet Versus Dry Conditions. **Functional Plant Biology**, v. 18, n. 2, p. 95, 1991.
- JOUKI, M. et al. Physical, barrier and antioxidant properties of a novel plasticized edible film from quince seed mucilage. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 62, p. 500–507, 1 nov. 2013.
- KRUGER, N. J. **The Bradford method for protein quantitation. Methods in molecular biology (Clifton, N.J.)**, 1994.
- LEE, J. S. Stomatal opening Mechanism of CAM plants. **Journal of Plant Biology**, v. 53, n. 1, p. 19–23, 2010.

- LIGUORI, G. et al. Effect of addition of *Opuntia ficus-indica* mucilage on the biological leavening, physical, nutritional, antioxidant and sensory aspects of bread. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 129, n. 2, p. 184–191, 2020.
- LÜTTGE, U. Ecophysiology of Crassulacean Acid Metabolism (CAM). **Annals of Botany**, v. 93, n. 6, p. 629–652, 2004.
- LÜTTGE, U. Ability of crassulacean acid metabolism plants to overcome interacting stresses in tropical environments. **AoB PLANTS**, v. 2010, p. 1–15, 2010.
- LUTZ, A. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos edição IV**. [s.l.: s.n.].
- MEDINA-TORRES, L. et al. Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). **Food Hydrocolloids**, v. 14, n. 5, p. 417–424, 2000.
- MONRROY, M. et al. Extraction and Physicochemical Characterization of Mucilage from *Opuntia cochenillifera* (L.) Miller. **Journal of Chemistry**, v. 2017, 2017.
- MORAIS, M. A. DOS S. et al. Mucilage of spineless cactus in the composition of an edible coating for minimally processed yam (*Dioscorea* spp.). **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 13, n. 3, p. 2000–2008, 2019.
- NHARINGO, T.; MOYO, M. Application of *Opuntia ficus-indica* in bioremediation of wastewaters. A critical review. **Journal of Environmental Management**, v. 166, p. 55–72, 2016.
- NUNES, C. S. Usos E Aplicações Da Palma Forrageira Como Uma Grande Uses and Applications Palm Forage As a Major Source of Economy for the Semiarid. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 6, n. 1, p. 58–66, 2011.
- NUÑEZ-LÓPEZ, M. A.; PAREDES-LÓPEZ, O.; REYNOSO-CAMACHO, R. Functional and hypoglycemic properties of Nopal cladodes (*O. ficus-indica*) at different maturity stages using in vitro and in vivo tests. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 46, p. 10981–10986, 2013.
- ODAIR ZENEBON. NEUS SADOCCO PASCUET. PAULO TIGLEA. 1ª Edição Digital. **Métodos físicos-químicos para análise de Alimentos**, p. 1020, 2008.
- OLIVEIRA, F. T. et al. PALMA FORRAGEIRA : ADAPTAÇÃO E IMPORTÂNCIA PARA OS LA CHUMBERA : ADAPTACIÓN Y ECOSISTEMA DE IMPORTANCIA ÁRIDAS O SEMIÁRIDAS CACTUS PEAR : ADAPTATION AND IMPORTANCE FOR ECOSYSTEM ARID OR SEMIARID. **REVISTA VERDE DE AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL GRUPO VERDE DE AGRICULTURA ALTERNATIVA (GVAA) ISSN 1981-8203**, n. L, p. 27–37, 2010.
- OLIVEIRA RIBEIRO, E. M. DE et al. Study of carbohydrates present in the cladodes of *Opuntia ficus-indica* (fodder palm), according to age and season. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 4, p. 933–939, 2010.
- PEREIRA, P. D. C. et al. Growth evolution of cactus forage drip irrigated. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 184–195, 5 set. 2015.
- PETERA, B. et al. Characterization of arabinogalactan-rich mucilage from *Cereus triangularis* cladodes. **Carbohydrate Polymers**, v. 127, p. 372–380, 2015.



- PRAJAPATI, V. D. et al. **Pharmaceutical applications of various natural gums, mucilages and their modified forms** *Carbohydrate Polymers* Elsevier, , 15 fev. 2013.
- PRETTI, L. et al. A novel method for the determination of ascorbic acid and antioxidant capacity in *Opuntia ficus indica* using in vivo microdialysis. **Food Chemistry**, v. 147, p. 131–137, 2014.
- QUEIROZ, M. G. DE et al. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 931–938, 2015.
- RODRIGUEZ-FELIX, A.; CANTWELL, M. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 38, n. 1, p. 83–93, 1988.
- RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, S. et al. Extraction and characterization of mucilage from wild species of opuntia. **Journal of Food Process Engineering**, v. 37, n. 3, p. 285–292, 2014.
- 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, 2004.
- SANDOVAL, D. C. G. et al. Formulation and characterization of edible films based on organic mucilage from Mexican *Opuntia ficus-indica*. **Coatings**, v. 9, n. 8, 2019.
- SCALISI, A. et al. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 158–167, 2016.
- SCIENCE, W. OF. Web of Science Core Collection. **Web of Science**, 2020.
- SEPÚLVEDA, E. et al. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. **Journal of Arid Environments**, v. 68, n. 4, p. 534–545, 2007.
- SILVA, A. P. G. DA 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, p. 1810–1820, 2015.
- SNYMAN, H. A. Ã. A greenhouse study on root dynamics of cactus pears , *Opuntia ficus-indica* and *O . robusta*. v. 65, p. 529–542, 2006.
- TRACHTENBERG, S.; MAYER, A. M. Composition and properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage. **Phytochemistry**, v. 20, n. 12, p. 2665–2668, 1981.
- TROMBETTA, D. et al. Effect of polysaccharides from *Opuntia ficus-indica* (L.) cladodes on the healing of dermal wounds in the rat. **Phytomedicine**, v. 13, n. 5, p. 352–358, 2006.
- UNIVERSITARIO, C. et al. Young Daughter Cladodes Affect CO<sub>2</sub> Uptake by Mother Cladodes of *Opuntia ficus - indica*. p. 363–369, 2005.
- VALDÉS, A.; GARRIGÓS, M. C. Carbohydrate-based advanced biomaterials for food sustainability: A review. **Materials Science Forum**, v. 842, p. 182–195, 2016.
- VAN KREVELEN, D. W. POLYMER PROPERTIES. In: **Properties of Polymers**.

[s.l: s.n.].

VECINO, X. et al. Evaluation of a cactus mucilage biocomposite to remove total arsenic from water. **Environmental Technology and Innovation**, v. 6, p. 69–79, 2016.

VENTOL, L. et al. Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 8, p. 3313–3318, 2011.

YANG, L.; PAULSON, A. T. Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. **Food Research International**, v. 33, n. 7, p. 571–578, 2000.