



Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST

Bacharelado em Ciências Biológicas

Jheizon Feitoza do Nascimento Souza

**CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE FÍSICO-QUÍMICA E BIOQUÍMICA DA  
MUCILAGEM DE *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck OBTIDA COM DIFERENTES  
EXTRATORES**

Serra Talhada – PE

2020

Jheizon Feitoza do Nascimento Souza

**CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE FÍSICO-QUÍMICA E BIOQUÍMICA DA  
MUCILAGEM DE *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck OBTIDA COM DIFERENTES  
EXTRATORES**

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

**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)

---

S729c

Souza, Jheizon Feitoza do Nascimento

Caracterização e estabilidade físico-química e bioquímica da mucilagem de *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-dyck obtida com diferentes extratores / Jheizon Feitoza do Nascimento Souza. - 2020.  
57 f. : il.

Orientador: Adriano do Nascimento Simoes.

Coorientador: Kelem Silva Fonseca.

Inclui referências.

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

1. Palma forrageira. 2. *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck. 3. Caracterização. I. Simoes, Adriano do Nascimento, orient. II. Fonseca, Kelem Silva, coorient. III. Título

CDD 574

---

**CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE FÍSICO-QUÍMICA E BIOQUÍMICA DA  
MUCILAGEM DE *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck OBTIDA COM DIFERENTES  
EXTRATORES**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) - Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

**Aprovada em 22 de outubro de 2020.**

Banca Examinadora

---

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

---

Dr. Rogério de Aquino Saraiva  
(Examinador interno, UAST/UFRPE)

---

Dr<sup>a</sup>. Andréa Monteiro Santana Silva Brito  
(Examinador interno, UAST/UFRPE)

Serra Talhada – PE

2020

**DEDICO**

*Ao senhor Deus que me deu o dom da vida;*

*A minha mãe, Arlete Lopes;*

*Ao meu pai, Francisco Feitosa;*

*Ao meu orientador, Adriano Simões.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, ao meu tão bom e grande Deus; que me deu forças e me manteve de pé quando eu não acreditava que já podia, que me ajudou nos piores momentos, e que abriu as portas necessárias para que eu estivesse aqui hoje. Não há descrição cabível que expresse o quanto sou grato por tão grandes coisas que o Senhor me proporcionou; então, sem dúvidas, o mérito da realização deste trabalho é inteiramente Dele.

Aos meus pais, Francisco e Arlete; por todo o apoio e confiança que investiram em mim. Ser o primeiro membro da nossa linhagem, desde meus avós, a chegar ao ensino superior, mesmo com todas as dificuldades que atravessaram esse caminho, foi de grande responsabilidade, pois, não queria decepcioná-los, mas também foi uma honra; devo e verei sempre a vocês, são minha vida, e isso é por vocês. Em especial agradeço a você, mainha, você é tudo para mim, espero um dia poder realizar e proporcionar o que você não teve, continuarei lutando por isso.

Ao meu orientador, Adriano Simões; por todo o conhecimento proporcionado e compartilhado, agradeço por ter aceitado trabalhar comigo mesmo sem conhecer nada ao meu respeito. Mesmo as vezes que tivemos pensamentos divergentes, sempre houve parceria e preciso destacar sua influência como um pai no meio acadêmico para mim. Obrigado por ter acreditado em meu potencial e ter investido tanto em mim, lhe devo muito.

À minha coorientadora, Kelem Fonseca; aquela que chegou e que à princípio me causou estranheza, mas que se tornou uma amiga e que, sobretudo, me aconselhou e acolheu com sua postura muitas vezes, além de claro, me fazer rir; nossa mãe no grupo, poder dividir um pouco do que passava e o que pensava com você foi muito importante para mim, obrigado por todos os ensinamentos, conselhos e apoio.

Ao grupo de pesquisa onde estou quase desde o início da minha graduação, o NEFP; em especial à Danielle Eugênio, Samara Souza, Ariel Nogueira, Rosilene Medeiros e Maria Luiza, agradeço a cada um que passou e aos que estão, cresci muito com vocês nesse tempo, obrigado.

Às duas melhores coisas que já me aconteceram na graduação, Kathleen Souza e Kyvia Lucena; não tenho como agradecer a vocês por tudo que passamos e dividimos juntos, levo vocês para a vida. Assim como, as minhas duas apoiadoras e que estão comigo até o final, Yara Panta e Lady Daiane; agradeço por cada coisa, cada experiência, cada conhecimento compartilhado, vocês também foram fundamentais para a concretização desse trabalho. E a minha grande amiga, Franquielle Ribeiro; por simplesmente todo o apoio que me concedeu desde o início de toda essa história, passamos muitas coisas juntos e vou te levar comigo sempre, grato por tudo.

Ao PGPV, às pessoas maravilhosas que conheci nesse lugar que se tornou minha casa dentro da UAST, Marcela Albuquerque, Thialla Amorim, Carlos André, Alexandre Jardim, George Araújo, Nielson Britto, Cilene Rejane, Juraci Neto, meu querido professor Thieres Freire e aos demais que por ali passaram, muito obrigado.

Aos meus amigos de classe que me ajudaram nessa caminhada, Alanna Karyni, Mayalle Carvalho, Rubem Cláudio, Evaldo Júnior, Francileide Melo, Amanda Santos, José Augusto, Fernanda Antônia e tantos outros, meu obrigado.

Aos meus amigos de sempre, Luciana Azevedo, Danilly Nascimento, Elizama Referino, Ialle Farias, Sara Serafim, Cláudia Serafim, Samara Serafim, Larissa e Raissa Santos, Marcelo Alves, Murilo Inácio, Júnior Nascimento, Isaque Lopes, Victor Weleson, Gemima Caline, Jackércia Melo, minha estimada prima Carol Nascimento e os demais que não foram aqui descritos; obrigado por tudo.

À UFRPE/UAST, por terem me recebido e garantido que eu chegasse ao fim da minha graduação, eterna UFRPE, grato por tudo.

Ao PIBIC/UFRPE pela concessão da bolsa durante esses três anos, sem dúvida foi de grande importância para meu desenvolvimento acadêmico e apego a ciência.

Ao grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS), pelo fornecimento de matéria prima para o estudo, não apenas eu, mas o todo o NEFP agradece a parceira conosco.

Ao grupo de Instrumentação e análises químicas (GIAQ) e a FACEPE (PRONEX/NUQAAPE (APQ-0346-1.06/14)) pelo apoio nas medidas de infravermelho das amostras.

A banca pela disponibilidade em avaliar o trabalho.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente com meu trabalho e minha carreira acadêmica, a todos o meu OBRIGADO.



*“Conhecimento não é aquilo que você sabe, mas o que você faz com aquilo que você sabe.”*

*(Aldous Huxley)*

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>RESUMO</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | <b>16</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>17</b> |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....                                    | <b>20</b> |
| 2.1 CACTÁCEAS E A PALMA FORRAGEIRA .....                                 | 20        |
| 2.2 CACTOS NA ALIMENTAÇÃO.....   | 21        |
| 2.3 MUCILAGEM E SUA COMPOSIÇÃO.....                                      | 22        |
| 2.4 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE MUCILAGEM .....                               | 23        |
| 2.5 FILMES E REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS .....                             | 24        |
| <b>3. OBJETIVOS</b> .....  | <b>27</b> |
| 3.1 GERAL.....   | 27        |
| 3.2 ESPECÍFICOS .....  | 27        |
| <b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....                                       | <b>28</b> |
| 4.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA PRIMA .....                                      | 28        |
| 4.2 EXTRAÇÃO DA MUCILAGEM.....   | 28        |
| 4.3 ANÁLISES.....  | 29        |
| 4.3.1 Rendimento agroindustrial.....                                     | 29        |
| 4.3.2 Potencial hidrogeniônico.....                                      | 30        |
| 4.3.3 Proteínas solúveis totais .....                                    | 30        |
| 4.3.4 Teor de potássio (K <sup>+</sup> ) e sódio (Na <sup>+</sup> )..... | 31        |
| 4.3.5 Condutividade elétrica .....                                       | 32        |
| 4.3.6 Carboidratos solúveis totais .....                                 | 32        |
| 4.3.7 Compostos fenólicos totais .....                                   | 33        |
| 4.3.8 Ácido cítrico.....   | 34        |
| 4.3.9 Sólidos solúveis totais.....                                       | 34        |
| 4.3.10 Vitamina C .....  | 35        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.3.11 Espectrofotometria de infravermelho por transformada de Fourier<br>(FTIR)..... | 35        |
| 4.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....  | 36        |
| <b>5. RESULTADOS.....</b>   | <b>37</b> |
| <b>6. DISCUSSÃO.....</b>  | <b>43</b> |
| <b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>  | <b>48</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>  | <b>49</b> |

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Resumo da análise de variância (ANOVA), quadrado médio, para os efeitos dos extratores (1 e 2) e tempo de conservação (0 e 12 dias) e suas interações em relação ao teor de sólidos solúveis (SST), acidez titulável total (ATT), pH, vitamina C (VIT.C), condutividade elétrica (CE), teor de potássio ( $K^+$ ) e sódio ( $Na^+$ ), carboidratos solúveis totais (CARB) e proteínas solúveis totais (PROT) da mucilagem de palma forrageira clone Miúda.....37
- Tabela 2** - Rendimento agroindustrial (%) da mucilagem de palma forrageira, clone Miúda, submetida aos extratores 1 e 2 em relação ao cladódio inteiro e ao parênquima.....37

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> – Região nordeste do Brasil. ....   | 20 |
| <b>Figura 2</b> – Exemplo de receita com palma: Frigideira de Palma. ....   | 21 |
| <b>Figura 3</b> – Mucilagem de palma forrageira, clone Miúda, submetida aos extratores 1 (A) e 2 (B) e conservada a 5 °C por 12 dias..... | 44 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| <b>Gráfico 1</b> - Quantitativo do número de artigos relacionados a mucilagem de cactos no mundo entre 2010 e 2020. ....   | 22 |
| <b>Gráfico 2</b> - Publicações sobre mucilagem de cacto para filmes e revestimentos comestíveis.   | 25 |
| <b>Gráfico 3</b> - Curva padrão de proteínas solúveis totais ( $\mu\text{g.mL}^{-1}$ ). ....   | 31 |
| <b>Gráfico 4</b> - Curvas padrão de $\text{K}^+$ e $\text{Na}^+$ ( $\mu\text{mol.mL}^{-1}$ ) do início e final do experimento. ....  | 32 |
| <b>Gráfico 5</b> - Curva padrão de carboidratos solúveis totais ( $\mu\text{g.mL}^{-1}$ ). ....  | 33 |
| <b>Gráfico 6</b> - Curva padrão de compostos fenólicos totais ( $\mu\text{g.mL}^{-1}$ ). ....  | 34 |
| <b>Gráfico 7</b> - Potencial hidrogeniônico, proteínas solúveis totais ( $\text{mg.100g}^{-1}$ ), teor de potássio ( $\text{mg.100g}^{-1}$ ) e condutividade elétrica ( $\text{mS cm}^{-1}$ ) da mucilagem de palma forrageira, clone Miúda, submetida aos extratores 1 e 2 e conservada a $5^\circ\text{C}$ por 12 dias. .... | 38 |
| <b>Gráfico 8</b> - Teor de sódio ( $\text{mg.100g}^{-1}$ ), carboidratos solúveis totais ( $\text{g.100g}^{-1}$ ) e compostos fenólicos ( $\text{mg.100g}^{-1}$ ) da mucilagem extraída de cladódios do clone Miúda em extratores distintos (A, C e E) e em diferentes dias de conservação (B, D e F). ....                    | 39 |
| <b>Gráfico 9</b> - Acidez titulável (%), sólidos solúveis (%) e vitamina C ( $\text{mg.100g}^{-1}$ ) da mucilagem extraída de cladódios do clone Miúda em extratores distintos (A, C e E) e em diferentes dias de conservação (B, D e F). ....   | 41 |
| <b>Gráfico 10</b> - Espectrofotometria de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) da mucilagem de palma forrageira, clone Miúda ( <i>Nopalea cochenillifera</i> (L.) Salm-Dyck) em pó submetida a diferentes extratores. ....   | 42 |

Jheizon Feitoza do Nascimento Souza, Bacharelado em Ciências Biológicas, Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, outubro de 2020. **Caracterização e Estabilidade Físico-química e Bioquímica da mucilagem de *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck obtida com diferentes extratores.** Orientador: Adriano do Nascimento Simões.

### RESUMO

O uso de solventes químicos para bioprospecção de cactos como a palma forrageira *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck tem sido usual em estudos acadêmicos para aplicações na indústria. Porém, a utilização em grandes quantidades de solventes, amplifica seu potencial poluente e torna inviável economicamente sua usabilidade a longo prazo por indústrias. Portanto, objetivou-se avaliar diferentes extratores e a estabilidade físico-química e bioquímica da mucilagem de palma forrageira, hidratada e refrigerada. Cladódios de palma forrageira foram lavados, pesados, cortados em cubos, homogeneizados com solventes orgânicos (extrator 1 e extrator 2, não podendo ser divulgado para fins de patente) para a obtenção de mucilagem. O precipitado foi mantido em estufa para secagem e pulverizado com auxílio de um moinho, obtendo-se um pó seco. Em seguida, a mucilagem foi hidratada e mantida a 5 °C por 12 dias. O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2 com quatro repetições, sendo dois extratores orgânicos e dois dias de avaliação (0 e 12 dias após armazenamento a 5 °C). 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 não diferiu entre os extratores testados, embora com o extrator 2 a mucilagem tornou-se levemente pigmentada. Além disso, o extrator 2 resultou em mucilagem com maiores valores médios de ácido cítrico e vitamina C, pH dentro da faixa ideal, menores valores médios de condutividade elétrica e teor de K<sup>+</sup>. O tempo de armazenamento refrigerado manteve a estabilidade do pH, proteínas solúveis totais, teor de Na<sup>+</sup>, carboidratos solúveis totais, compostos fenólicos totais, ácido cítrico e sólidos solúveis obtidos com uso do extrator 2. Assim, a extração com solvente alternativo, extrator 2, mostrou-se com potencial para uso para obtenção de mucilagem para fins industriais. No entanto, são necessários mais estudos, incluindo a produção futura de filmes de mucilagem, para possíveis recomendações e aplicações agroindustriais.

**Palavras-chave:** Palma forrageira. *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck. Caracterização.

Souza, Jheizon Feitoza do Nascimento, Bachelor of Science in Biology, University Federal Rural de Pernambuco/Academic Unit of Serra Talhada, October 2020. **Physicochemical and Biochemical Characterization and Stability of the mucilage of *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck obtained with different extractors.** Advisor: Adriano do Nascimento Simões.

### ABSTRACT

The use of chemical solvents for bioprospecting cacti such as forage palm *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck has been common in academic studies for its applications in the industry. However, the usage of these solvents in large quantities, amplifies their polluting potential and makes their long-term usability impracticable by industries. Therefore, it was aimed to evaluate different extractors and the physicochemical and biochemical stability of the mucilage of forage palm, hydrated, and refrigerated. Cladodes of forage Palm were washed, weighed, cut into cubes, homogenized with organic solvents to (extractor 1 and extractor 2, which cannot be disclosed for patent reasons) obtain mucilage. The precipitate was kept in an oven for drying and it was pulverized with the aid of a mill, thus obtaining a dry powder. After this, the mucilage was hydrated and maintained at 5 °C for 12 days. The experiment was arranged in a completely randomized design, in a 2x2 factorial scheme with four replications, as in two organic extractors and two evaluation days (0 and 12 days after storage at 5 °C). The data obtained were submitted to ANOVA, and when significant they were subjected to the Tukey test at 5% probability. It was found that the mucilage yield did not differ between the tested extractors, although with extractor 2 the mucilage became slightly pigmented. Also, extractor 2 resulted in mucilage with higher mean values of citric acid and vitamin C, pH within the ideal range, lower mean values of electrical conductivity, and K<sup>+</sup> content. The refrigerated storage time maintained the pH stability, total soluble proteins, Na<sup>+</sup> content; total soluble carbohydrates, total phenolic compounds, citric acid, and soluble solids obtained using extractor 2. Thus, extraction with alternative solvent, extractor 2, has shown potential to be used to obtain mucilage for industrial purposes. However, further studies are needed, including the future production of mucilage films, for possible recommendations and agro-industrial applications.

**Keywords:** Forage palm. *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck. Characterization.



## 1. INTRODUÇÃO

A composição química das cactáceas é reconhecida pelo seu potencial medicinal, nutritivo e funcional; se consideradas as mudanças climáticas intensivas que ocorrem no último século, estas plantas possuem aptidão de uso para variados setores da indústria (VILLASEÑOR, 2008; SHEDBALKAR, 2010). Cladódios de palma forrageira são notoriamente utilizados para produção de fármacos (TROMBETTA et al., 2006; PRAJAPATI, et al., 2013; AMMAR et al., 2015; DI LORENZO et al., 2017), biocombustíveis (ALENCAR et al., 2018), uso como agente floculante para o tratamento de águas contaminadas (NHARINGO; MOYO, 2016; VECINO et al., 2016) e construção civil (VENTOLÀ et al., 2011). Além disso, essas plantas são muito utilizadas na alimentação animal, sendo quase que exclusivamente destinadas à forragem no Brasil (SÁENZ; SEPÚLVEDA; MATSUHIRO, 2004). Timidamente, diferentes cultivares de palma forrageira têm sido utilizadas como ingredientes de alimentos, como para produção de biscoitos sem glúten (DICK et al., 2020); preparo de doces (ALVES, 2008) e produção de bolos (BRAVO FILHO et al., 2018).

A mucilagem de cactos é considerada pela indústria um potencial hidrocolóide por apresentar características como: viscosidade, elasticidade, propriedades emulsificantes, e capacidade de reter água (MEDINA-TORRES et al., 2003; JANI et al., 2009) e se caracteriza por possuir aparência translúcida e amorfa. É um hidrato de carbono complexo (polissacarídeo), que atua como uma barreira à transferência de água devido aos seus grupos hidrofílicos, que, ao se unirem com água dão origem a soluções viscosas, diminuindo a desidratação dos alimentos e mantendo sua firmeza, podendo ser utilizado para produção de revestimentos comestíveis ou biorrevestimentos (DEL-VALLE et al., 2005; ALLEGRA et al., 2017; GONZÁLEZ SANDOVAL et al., 2019).

O uso de revestimentos comestíveis ou biorrevestimentos em alimentos visa principalmente que estes proporcionem redução da perda de umidade, controle de permeabilidade dos gases e da atividade microbiana, além da preservação da integridade estrutural dos tecidos, sendo o destaque desta biotecnologia ser renovável e ecológica (ARVANITOYANNIS; PSOMIADOU; NAKAYAMA, 1996; ALI; AHMED, 2018; GHERIBI et al., 2019). Além disso, na elaboração de revestimentos comestíveis com base no uso da mucilagem, é importante a adição de plastificantes, para fornecer propriedades filmogênicas e não quebradiças (DAMAS et al., 2017).

Plastificantes, em grande parte, são compostos higroscópicos e hidrofílicos que interagem com moléculas de água, o seu uso na formulação de revestimentos e biofilmes a base de polissacarídeos permite o rompimento de pontes de hidrogênio, distanciando as moléculas do polímero e reduzindo a formação de regiões cristalinas em relação às amorfas (KROCHTA, 2002). Os plastificantes interferem em todas as propriedades funcionais dos revestimentos, como a permeabilidade ao vapor de água em função do seu caráter hidrofílico, sendo favorável para adsorção das moléculas de água, que geralmente aumenta com o uso de agentes plastificantes, principalmente de glicerol (GENNADIOS et al., 1993; CUQ et al., 1997). Bastante difundido na indústria química, o glicerol pode ser formado em grande quantidade na produção de biodiesel, a partir de triglicerídeos naturais e representa um desperdício que deve ser utilizado, este confere a mucilagem potencial para aplicação como embalagem de alimentos, sendo um produto de baixo custo, além de conferir segurança e biodegradabilidade (DAMAS et al., 2017; GHERIBI et al., 2018; GHERIBI et al., 2019).

A composição físico-química difere entre as espécies pertencentes ao gênero *Opuntia spp.* e sua localização (MONRROY et al., 2017), sendo constituída por cerca de 69% de polissacarídeos e por elementos como arabinose, galactose, xilose, ácidos urônicos, glicose e ramnose; sendo os mais importantes arabinose e xilose, que caracterizam a grande quantidade de carboidratos presentes na mucilagem (MALAININE et al., 2003; MEDINA-TORRES et al., 2000; GONZÁLEZ et al., 2014; SEPÚLVEDA et al., 2007). Metodologias de extração da mucilagem já vêm sendo estudadas por diversos autores; com extração em água (OLIVEIRA, 2018; MORAIS et al., 2019), decantação (ORTIZ; ARCE, 2019), aquecimento (ORIFICI et al., 2018; GONZÁLES SANDOVAL et al., 2019), centrifugação (CONTRERAS-PADILLA et al., 2016) e uso de álcool etílico (CONTRERAS-PADILLA et al., 2016; GHERIBI et al., 2018) métodos bastante utilizados pelos autores e promissores para elaboração de bioplásticos e filmes comestíveis. No entanto, há poucos relatos da caracterização físico-química e estrutural da mucilagem de palma do gênero *Nopalea spp.* e sua conformação molecular; parâmetros bioquímicos também são importantes, pois, estes fornecem as características fundamentais de elaboração de bioplásticos e filmes comestíveis (FAKHOURI et al., 2012).

A mucilagem de cactos tem despertado crescente interesse na comunidade científica, e portanto, desde 2016 têm-se feito pesquisas relacionadas. Em 2018 foi concluída a dissertação: “Rendimento e Estabilidade Físico-Química de Mucilagem de Clones de Palma Forrageira Cultivada em Diferentes Condições Agronômicas”, cujo objetivo foi extrair e estudar a mucilagem obtida. Em 2019 foi publicado o artigo intitulado: “Mucilage of spineless cactus in

the composition of an edible coating for minimally processed yam (*Dioscorea spp.*)” e está sendo finalizado o artigo: “Effect of forage cactus based bio-coating on minimally processed sweet potato roots”. O objetivo de ambos os trabalhos foi aumentar o tempo de prateleira de raízes de inhame e batata doce minimamente processadas, respectivamente, com a aplicação de mucilagem de palma forrageira e adição de glicerol. Partindo desses estudos, foi iniciada uma nova linha de pesquisa, com base em filmes comestíveis a base da mucilagem; em que, atualmente há três trabalhos sendo finalizados, a dissertação intitulada: “Caracterização da mucilagem obtida de clones de cactos do gênero *Opuntia* e *Nopalea* colhidos em duas estações do ano em regiões semiáridas do Brasil”, o objetivo deste é estudar a melhor época de colheita e o melhor clone de palma forrageira, para obtenção e utilização da mucilagem na elaboração de biofilmes. A monografia intitulada: “Caracterização da mucilagem de palma forrageira, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck: um estudo comparativo sob diferentes aspectos agronômicos”; cujo objetivo é, avaliar como o impacto da colheita, em diferentes horários e/ou diferentes tamanhos de cladódios, afeta a mucilagem resultante. E por fim, o referente trabalho, em que são testados dois diferentes extratores para a obtenção e caracterização da mucilagem, visto o aumento na realização de estudos sobre o caráter físico-químico da mucilagem de palma. Assim, acredita-se que os manejos pré e pós-colheita de cacto, como também, os manuseios na extração de mucilagem e fabricação de bioplástico, podem alterar a qualidade do produto. Por isso, torna-se de extrema importância esse conjunto de investigações.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CACTÁCEAS E A PALMA FORRAGEIRA

As cactáceas são amplamente distribuídas em todo o mundo. São predominantes em regiões de clima árido e semiárido. Estas, possuem cerca de 125 gêneros e 2000 espécies, com notoriedade nas Américas (LUDERS e MCMAHON, 2006; ORTEGA-BAES et al., 2006). O Brasil é o terceiro maior centro diverso da família Cactaceae, com 35 gêneros e 237 espécies, aproximadamente, distribuídas em todo o seu território (ORTEGA-BAES et al, 2006); e possuem destaque no semiárido brasileiro como “indicadoras da Caatinga” (ANDRADE et al., 2006; ZAPPI, 2008).

Com presença marcante no nordeste brasileiro (Figura 1), a palma forrageira também é bem difundida no México e foi introduzida no Brasil no final do século XIX (SILVA e SANTOS, 2007). As principais espécies introduzidas e cultivadas no Brasil são *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill e *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck, cuja produção ocorre principalmente nos estados de Alagoas, Pernambuco e Paraíba (PEREIRA et al., 2015). A palma forrageira foi introduzida nesses locais em função da sua adaptabilidade a regiões de clima árido e semiárido (DUQUE, 1980; PEREIRA et al., 2015).

**Figura 1** – Região nordeste do Brasil.



FONTE: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%A3o\\_Nordeste\\_do\\_Brasil](https://pt.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%A3o_Nordeste_do_Brasil)

Em geral, os cactos apresentam alto desenvolvimento e capacidade de produção, mesmo sob condições de estresse hídrico em decorrência do seu tipo de metabolismo (MIZRAHI et al., 2002). Além disso, estas possuem adaptações fisiomorfológicas que caracterizam a resistência

deste tipo de vegetação as altas temperaturas mesmo com baixo potencial hídrico local; cutícula espessa, presença de mucilagem, raízes superficiais, presença de espinhos em lugar de folhas e caule fotossintetizante são algumas destas adaptações (DUQUE, 1980; ZAPPI et al., 2011; PEREIRA et al., 2015). Um mecanismo específico e eficaz para armazenar água e nutrientes no período de chuvas, para uso no período de escassez hídrica, característico das cactáceas é o metabolismo ácido das crassuláceas, este permite a redução da perda de água pela transpiração com a abertura estomática noturna para a captação de CO<sub>2</sub> (FERREIRA et al., 2008; LÜTTGE, 2010).

## 2.2 CACTOS NA ALIMENTAÇÃO

O uso de diversas espécies de cactáceas é bastante aplicado na alimentação humana em países como o México, sendo um dos alimentos mais importantes, principalmente para moradores da zona rural (RUSSELL e FELKER, 1987). A produção de cactos no país ocupa a oitava posição na produção de vegetais, com produção anual de 373.735,19 toneladas de figos da Índia e 607.674,04 toneladas de nopal; após tomate, batata, pimentão, cebola, melancia, melão e tomate verde (FLORES VALDEZ, 2001).

**Figura 2** – Exemplo de receita com palma: Frigideira de Palma.



FONTE: <http://www.guiachapadadiamantina.com.br/conheca-7-alimentos-tipicos-da-chapada-diamantina/>

No México, e em menor uso no Brasil, cladódios de palma forrageira dos gêneros *Opuntia spp.* e *Nopalea spp.* são os mais utilizados, cozidos, grelhados e recheados, ou em pickles e saladas (Figura 2) (ALMANZA, 1999; BUENROSTRO e BARROS, 2000). Normalmente, utiliza-se a polpa para o preparo de alimentos como: ensopado de bacalhau

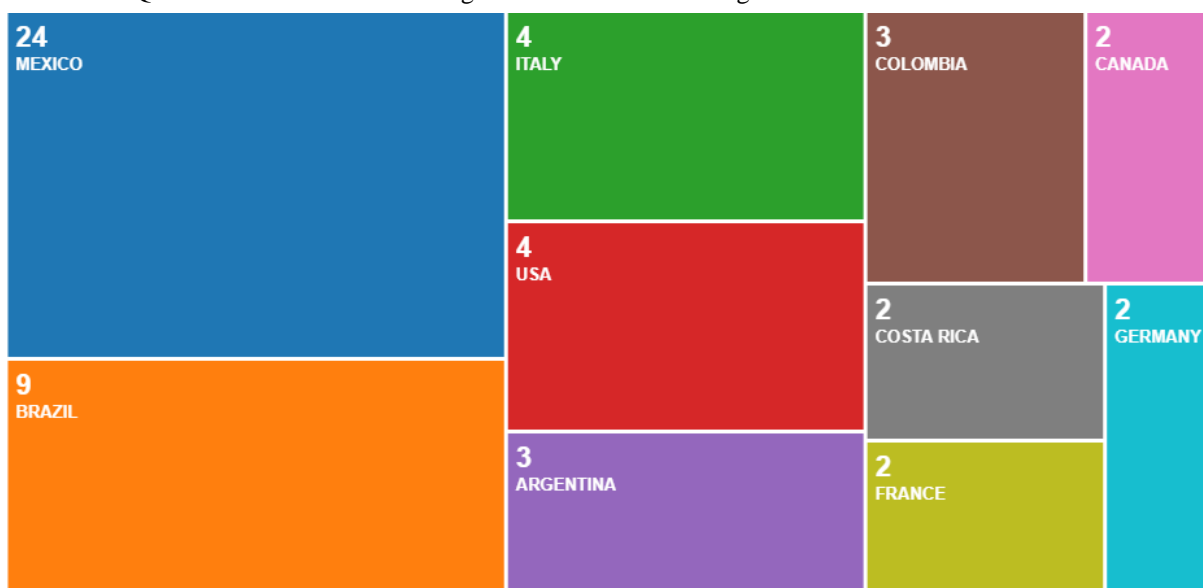
(BRAVO FILHO, et al., 2018); preparo de doces (ALVES, 2008; CRUZ, 2011; LUCENA et al., 2012); consumo cozido ou assado (ALMANZA, 1999); consumo de frutos (TAYLOR e ZAPPI, 2002; LUCENA, 2012) e preparo de saladas, bolos e biscoitos sem glúten (BRAVO FILHO et al., 2018; DICK et al., 2020).

A mucilagem de cactos também possui aplicações industriais em desenvolvimento. Estudos como os de DEL-VALLE et al., (2005) e ALLEGRA et al., (2017) demonstram o potencial de uso da mucilagem de palma forrageira para aplicação como revestimento de alimentos, em que morangos e kiwis apresentaram aumento de seu tempo de prateleira, firmeza e a incorporação deste composto atribuiu valor ao produto. GHERIBI et al., (2018) também estudou a utilização da mucilagem de cactos visando a aplicação em alimentos e obteve bons resultados. De 1982 a 2020 foram publicados um total de 269 trabalhos acadêmicos sobre essa matéria prima, 69 destes estavam relacionados a tecnologia de alimentos (SCIENCE, 2020).

### 2.3 MUCILAGEM E SUA COMPOSIÇÃO

A utilização e o interesse científico em polímeros naturais como a mucilagem de palma forrageira tem sido crescente devido a sua obtenção ser derivada de fontes renováveis. Nos últimos 10 anos, o número de artigos publicados relacionados a mucilagem de cactos teve aumento gradativo, com maior número de publicações no ano de 2019; nessa década foram publicados aproximadamente 59 artigos, cujo maior número pertence ao México (Gráfico 1). Dados retirados da base de dados Web of Science.

**Gráfico 1** - Quantitativo do número de artigos relacionados a mucilagem de cactos no mundo entre 2010 e 2020.



FONTE: Base de dados Web of Science.

A mucilagem se caracteriza como um heteropolissacarídeo com estrutura ramificada e alto peso molecular (SEPÚLVEDA et al., 2007; VALDÉS; GARRIGÓS, 2016). Com aparência translúcida e amorfa, e apresenta características como: viscosidade, elasticidade, propriedades emulsificantes e capacidade de reter água, sendo considerada pela indústria como hidrocolóide (TRACHTENBERG; MAYER, 1981; MEDINA-TORRES et al., 2000; CONTRERAS-PADILLA et al., 2015). Ao estudarem as propriedades físico-químicas e reológicas (escoamento e deformação do fluido) da mucilagem, foi observado que esta apresenta pH ligeiramente ácido e uma dependência acentuada da viscosidade em função da temperatura, força iônica e do pH; e possui comportamento de fluido não-newtoniano, com elevadas propriedades elásticas (MEDINA-TORRES et al., 2000; CONTRERAS-PADILLA et al., 2016).

Quanto a sua composição, a mucilagem de cactos é constituída por vários monossacarídeos como galactose, arabinose, ácido galacturônico, e glicose (ESPINO-DÍAZ et al., 2010); e, conforme verificado para a mucilagem de *Opuntia cochenillifera* (L.) Miller, contém 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. Os valores aproximados de condutividade elétrica foram 2,3; 4,9 e 5,4 mS cm<sup>-1</sup> e pH variando entre 4,8 e 5,0 (MONRROY et al., 2017). SEPÚLVEDA et al., (2007) ao caracterizarem a mucilagem de *Opuntia spp* observaram que o peso seco tinha 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.

Quando hidratada, a mucilagem de cactos origina soluções viscosas (caracteriza resistência ao escoamento do fluido), isso ocorre devido a sua matriz polimérica que contém propriedades filmogênicas e elásticas (SEPÚLVEDA et al., 2007; CONTRERAS-PADILLA et al., 2015). Consequentemente, este composto natural pode atuar como barreira à transferência de água, o que lhe atribui destaque para a indústria de alimentos com aplicação na elaboração de revestimentos comestíveis e biofilmes (PRAJAPATI et al., 2013) além de potencialmente substituir as embalagens plásticas derivadas do petróleo (GHERIBI et al., 2018).

## 2.4 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE MUCILAGEM

Estudos sucessivos foram e tem sido desenvolvidos para aprimoramento dos processos de extração da mucilagem em diversos organismos vegetais. Nos últimos 10 anos, cerca de 49 trabalhos com título relacionado a extração de mucilagem foram publicados. Diversas formas de extração de mucilagem são abordadas, a exemplos: extração por aquecimento, em que a

mucilagem extraída é utilizada na produção de bebida de chocolate (SOUZA et al., 2020) ou sorvete como estabilizante (CAMPOS et al., 2016); extração por centrifugação para aplicação em sobremesa (CHAVES et al., 2018), extração com solvente para aperfeiçoamento do processo (SILVA et al., 2019), extração mecânica, sem uso de solventes químicos ou métodos de aquecimento e centrifugação (REYES-OCAMPO et al., 2019), extração por micro-ondas (FELKAI-HADDACHE et al., 2016; ROSTAMI e GHARIBZAHEDI, 2017) e extração ultrassônica (ZHAO; QIAO; WU, 2017; SOUZA et al., 2020); destas, a extração mais utilizada é por aquecimento.

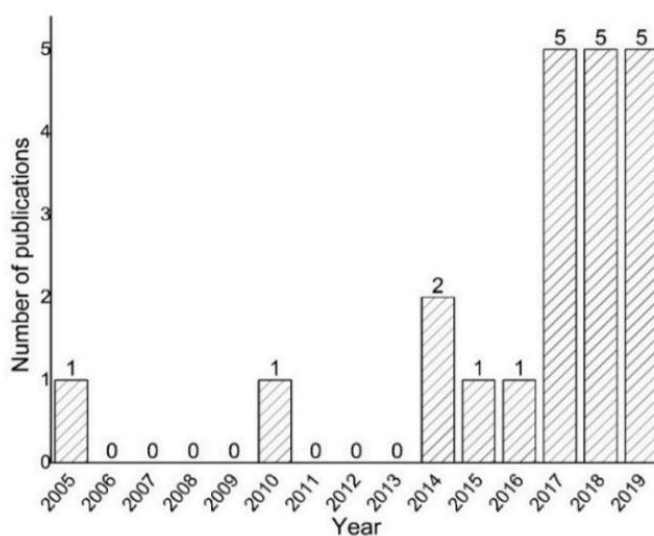
Quanto a extração de mucilagem em palma forrageira, há uma diversidade metodológica em desenvolvimento. Porém, há destaque para a extração realizada com uso de solvente alcoólico (CONTRERAS-PADILLA et al., 2016; GHERIBI et al., 2018). Nesses casos, a mucilagem é extraída e precipitada em álcool, com aumento do número de trabalhos publicados nesse seguimento. Um fator importante a ser levado em consideração é que, em grande parte dos trabalhos publicados, há modificações das metodologias ou variações metodológicas; que, junto a repetibilidade, garantem o aperfeiçoamento das técnicas utilizadas para extração destes subprodutos vegetais.

## 2.5 FILMES E REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS

Com a crescente demanda por produtos de impacto reduzido ao meio ambiente, indústrias diversas em todo o mundo têm buscado alternativas ao uso de contaminantes e poluentes, visando a gestão sustentável dos recursos ainda dispostos nas reservas naturais, sem que para isso haja prejuízo da saúde humana. Desde meados do século 20, revestimentos alternativos já eram utilizados com o intuito de minimizar a perda de peso e realçar o brilho das frutas e vegetais. Conforme publicado por Gheribi et al., (2019), trabalhos científicos relacionados a revestimentos e biofilmes são escassos na literatura; porém, seu aumento tem sido crescente. Entre 2005 e 2019 foram publicados aproximadamente 20 trabalhos que relacionam a mucilagem de cactos a embalagens de alimentos, em maior número de publicações entre 2014 e 2019; atestando o crescente interesse científico neste seguimento (Gráfico 2).



**Gráfico 2** - Publicações sobre mucilagem de cacto para filmes e revestimentos comestíveis.



FONTE: GHERIBI et al., (2019, p. 3)

Grandes investimentos têm sido feitos em busca de novas tecnologias para conservação de alimentos, como a produção de embalagens biodegradáveis ou filmes comestíveis como alternativa sustentável ao uso de derivados do petróleo (ASSIS; BRITTO, 2014). Polissacarídeos, proteínas e lipídios (ESPINO-DÍAZ et al., 2010) são biocompostos inseridos nesse cenário, que conferem a tais embalagens inteligentes fácil produção e baixo custo. O uso dessas tecnologias visa prolongar a durabilidade de alimentos pós colheita, proporcionando perda de umidade, controle de permeabilidade dos gases, atividade microbiana e integridade estrutural dos tecidos (ARVANITOYANNIS; PSOMIADOU; NAKAYAMA, 1996; GHERIBI; HABIBI; KHWALDIA, 2019).

Como constatado por DAMAS et al., (2017), filmes produzidos a base da mucilagem de frutos de *Cereus hildmannianus* apresentam um grande potencial para o desenvolvimento de revestimentos comestíveis. MORAIS et al., (2019) ao estudarem a mucilagem de *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck para a elaboração de revestimentos comestíveis, obtiveram resultados que sugerem que o revestimento comestível a base da mucilagem, é promissor para a aplicação em raízes de inhame minimamente processadas, devido a tendência de redução da desidratação e manutenção das características organolépticas do produto. Além disso, a adição de plastificantes como glicerol, sorbitol e polietilenoglicol, tem se mostrado promissora para a elaboração de filmes a base de palma forrageira. A adição de plastificantes é importante, pois garante integridade física e atribui resistência aos filmes (GHERIBI et al., 2018). Segundo DEL-VALLE et al., (2005) revestimentos e filmes comestíveis com boas propriedades

mecânicas podem ser de forma substancial substitutos de embalagens sintéticas, com viés sustentável e ecológico, por não se tratar de um produto composto e/ou derivado de subprodutos do petróleo.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 GERAL**

- Avaliar diferentes extratores na estabilidade físico-química e bioquímica da mucilagem de palma forrageira.

#### **3.2 ESPECÍFICOS**

- Avaliar solventes orgânicos na extração de mucilagem de palma forrageira;
- Quantificar o rendimento da mucilagem de palma obtida de cladódios submetidos a diferentes extratores;
- Caracterizar e estudar a estabilidade físico-química e bioquímica da mucilagem de palma forrageira.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

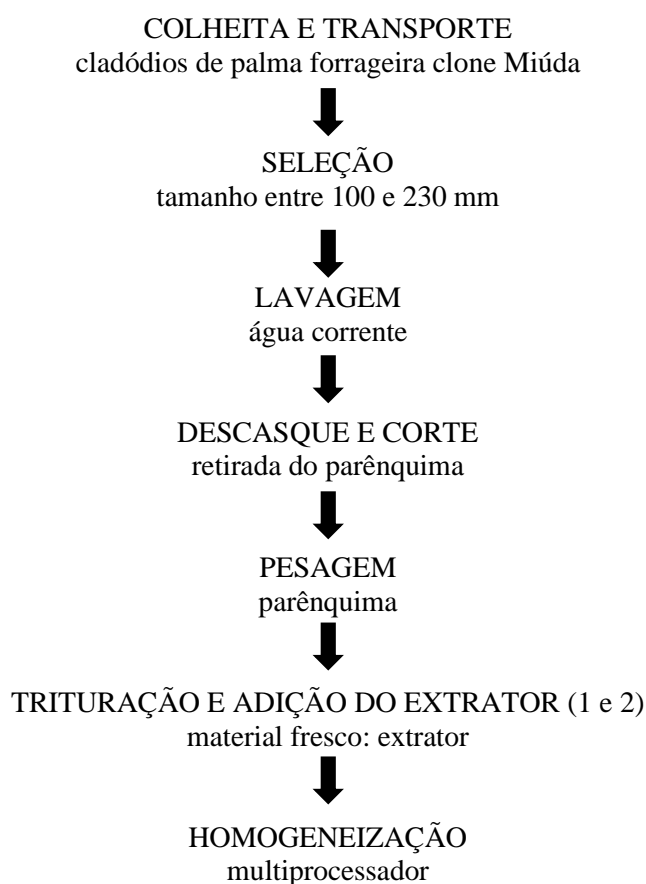
### 4.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

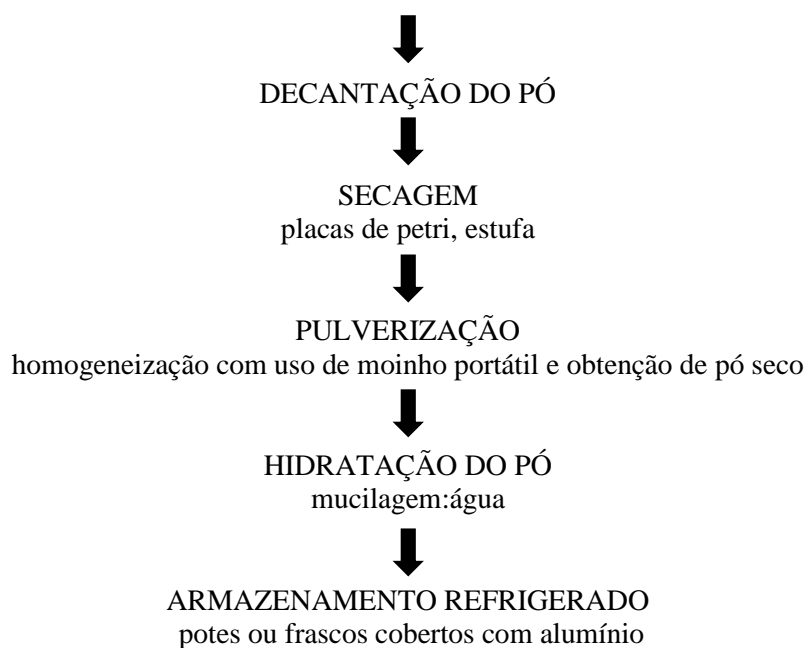
Cladódios de palma forrageira, clone Miúda, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck, foram adquiridos na área experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco/ Unidade Acadêmica de Serra Talhada, em Serra Talhada, Pernambuco, Brasil.

### 4.2 EXTRAÇÃO DA MUCILAGEM

Os cladódios de palma forrageira com comprimento entre 100 e 230 mm de comprimento foram colhidos às 06:00 horas, lavados e processados. O processamento foi realizado com base no fluxograma definido por GHERIBI et al., (2018), com modificações gerais, sem detalhes adicionais, uma vez que se encontra em processo de depósito de patente. Foram estudados dois extratores orgânicos, sendo denominados extrator 1 e extrator 2 (Fluxograma 1).

**Fluxograma 1** - Fluxo operacional da extração da mucilagem de palma forrageira clone Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) utilizando extrator 1 e 2.





FONTE: Fluxograma autoral.

### 4.3 ANÁLISES

O rendimento agroindustrial foi quantificado após a extração e foram realizadas as seguintes análises físico-químicas no início do experimento e após 12 dias: sólidos solúveis totais, ácido cítrico, pH, vitamina C, condutividade elétrica, teor de potássio e sódio e espectrofotometria de infravermelho. Além disso, foram realizadas as análises bioquímicas no início e ao final do período de conservação: carboidratos e proteínas e compostos fenólicos.

#### 4.3.1 Rendimento agroindustrial

O rendimento foi calculado por duas fórmulas, o rendimento em relação ao cladódio inteiro e o rendimento em relação ao parênquima do cladódio.

O rendimento bruto foi calculado por meio da seguinte fórmula:

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

Em que:

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

O rendimento do parênquima do cladódio foi calculado por meio da seguinte fórmula:

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

Em que:

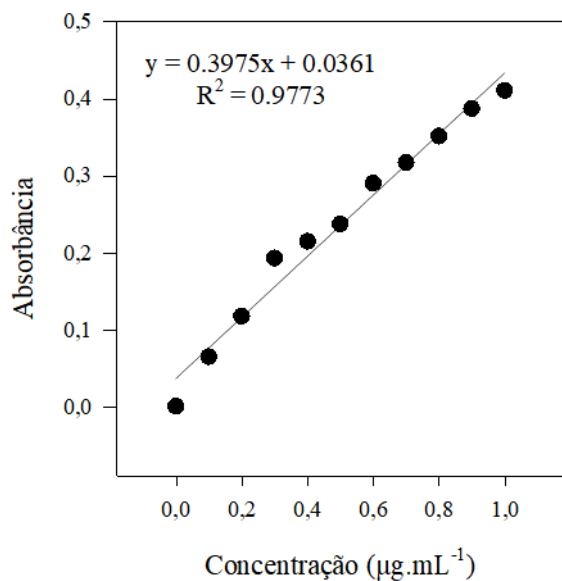
- RPC = Rendimento do Parênquima do Cladódio, %;
- MMP = Massa da Mucilagem em Pó, g;
- MPC = Massa do Parênquima do Cladódio, g.

#### **4.3.2 Potencial hidrogeniônico**

Para aferição do pH foi utilizado um pHmetro (TECNAL, TEC-5, Piracicaba, Brasil) cujos resultados foram obtidos diretamente das amostras de mucilagem hidratada.

#### **4.3.3 Proteínas solúveis totais**

O conteúdo de proteínas totais foi obtido conforme metodologia descrita pelo Analytical Biochemistry (BRADFORD et al., 1976). Um volume de 2 mL da mucilagem hidratada foi centrifugado (Hettich, MIKRO 220, Berlim, Alemanha) a 10000 rpm a 4 °C por 21 min. Utilizou-se uma alíquota de 1100 µL, sendo esse volume composto por 100 µL do extrato bruto amostra e 1000 µL do reagente de Bradford colocado em um tubo de ensaio e agitados para realização da leitura. Após 15 min foram realizadas as leituras em espectrofotômetro (Modelo libra S8, Biochrom, fabricado em Cambridge, Inglaterra), à 595nm. O branco foi constituído por 100 µL de água deionizada e por 1000 µL de reagente de Bradford. Os resultados foram expressos em mg proteína solúvel g<sup>-1</sup> de matéria seca e quantificados com base na equação obtida para a curva padrão de proteínas, cuja proteína de referência foi a albumina sérica bovina (Gráfico 3).

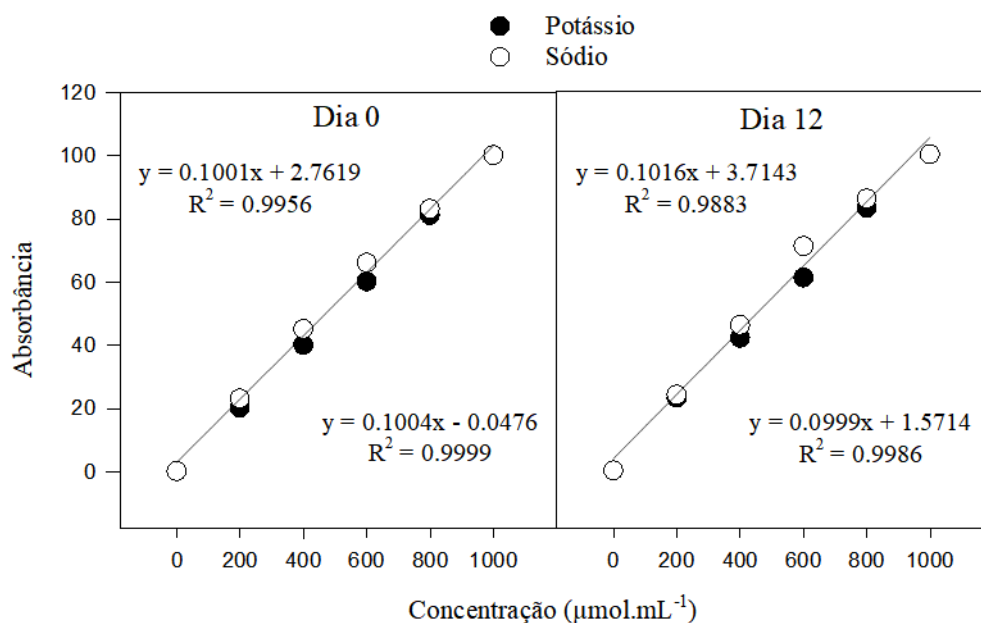
**Gráfico 3** - Curva padrão de proteínas solúveis totais ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ).

FONTE: Gráfico autoral.

#### 4.3.4 Teor de potássio ( $\text{K}^+$ ) e sódio ( $\text{Na}^+$ )

Os teores de sódio e potássio foram obtidos conforme metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz, (2008) que se baseia na técnica de fotometria de emissão de chama com o uso do fotômetro de chamas modelo (MICRONAL, B462, Piracicaba, Brasil) em que se utilizou aproximadamente um volume de 5 mL, sendo esse volume composto por 4900  $\mu\text{L}$  de água pura e 100  $\mu\text{L}$  de amostra colocado em um tubo de ensaio para realização da leitura. Os resultados foram expressos em mg por 100  $\text{g}^{-1}$  matéria seca e quantificados com base na equação obtida para a curva padrão (Gráfico 4).

**Gráfico 4** - Curvas padrão de  $K^+$  e  $Na^+$  ( $\mu\text{mol.mL}^{-1}$ ) do início e final do experimento.



FONTE: Gráfico autoral.

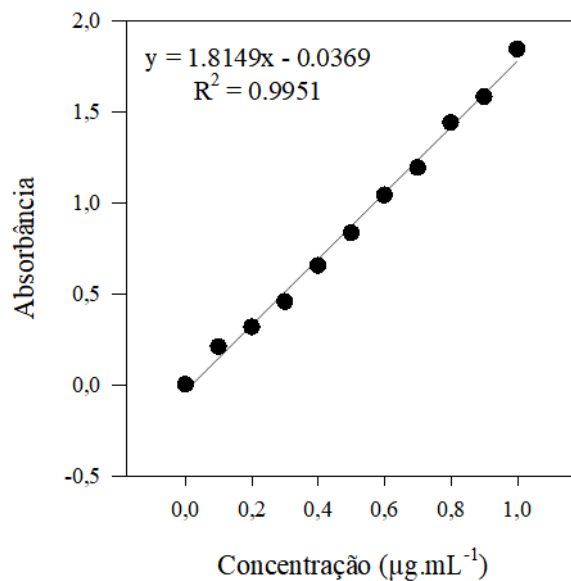
#### 4.3.5 Condutividade elétrica

A Condutividade elétrica foi realizada através do uso de um condutivímetro (TECNAL, Tec-4MP, Piracicaba, Brasil). Em que o sensor foi inserido diretamente nas amostras de mucilagem hidratada e realizada a leitura. Os resultados foram expressos em  $\text{mS cm}^{-1}$ .

#### 4.3.6 Carboidratos solúveis totais

O conteúdo de açúcares solúveis foi obtido conforme metodologia descrita pelo Analytical Biochemistry (DUBOIS et al., 1956). 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  $\mu\text{L}$  do extrato bruto da amostra foi adicionada a 490  $\mu\text{L}$  de água deionizada, 500  $\mu\text{L}$  de fenol 5% e 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado a 98,08% que foi colocada em tubos de ensaio e agitados. Posteriormente, os tubos ficaram em repouso por 10 min em badeja contendo água a temperatura ambiente. Após decorrido o tempo, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Modelo libra S8, Biochrom, fabricado em Cambridge, Inglaterra) à 490 nm. O branco foi constituído por 500  $\mu\text{L}$  de água deionizada, 500  $\mu\text{L}$  de fenol 5% e 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado a 98,08%. Os resultados foram expressos em g de carboidratos solúveis  $100\text{g}^{-1}$  de matéria seca e quantificados com base na equação obtida para a curva padrão, cujo carboidrato de referência foi a glicose (Gráfico 5).



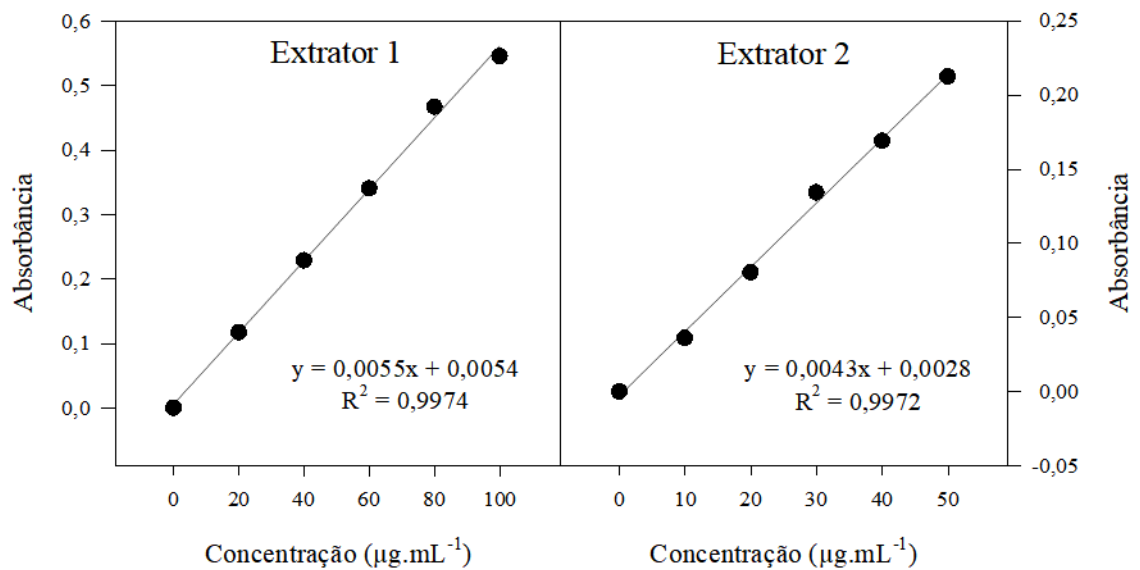
**Gráfico 5** - Curva padrão de carboidratos solúveis totais ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ).

FONTE: Gráfico autoral.

#### 4.3.7 Compostos fenólicos totais

As amostras foram centrifugadas (MIKRO 220, Hettich, Berlim, Alemanha) a 10000 RPM, a 4 °C por 21 min. Uma alíquota de 150  $\mu\text{L}$  do sobrenadante foi combinada com 2400  $\mu\text{L}$  de água destilada e 150  $\mu\text{L}$  de reagente de FolinCiocalteu (0,25 N). A mistura foi homogeneizada durante 3 min e adicionados 300  $\mu\text{L}$  de carbonato de sódio (1 N). Os tubos foram mantidos no escuro à temperatura ambiente por 2 h. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Libra S8, Biochrom, Cambridge, Inglaterra) a 725 nm e a quantidade de compostos fenólicos totais foi calculada utilizando a curva padrão para ácido gálico. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico por 100  $\text{g}^{-1}$  de matéria seca e quantificados com base na equação obtida para a curva padrão (Gráfico 6).

**Gráfico 6** - Curva padrão de compostos fenólicos totais ( $\mu\text{g.mL}^{-1}$ ).



FONTE: Gráfico autoral.

#### 4.3.8 Ácido cítrico

Foi realizada segundo ASTELLO-GARCÍA et al., (2015), com algumas modificações; utilizando solução aquosa de hidróxido de (NaOH) 0,1 N e Equivalente grama do ácido cítrico 64,02. Foi utilizado solução de fenolftaleína 1%. Os resultados foram calculados pela fórmula a seguir e expressos em % de ácido cítrico.

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

Em que:

- ATT = Acidez titulável total, % de ácido cítrico;
- N = concentração de NaOH;
- V = Volume da amostra de NaOH usado na titulação, mL;
- Eq = Equivalente grama do ácido cítrico, 64,02;
- v = Volume da amostra utilizada, mL.

#### 4.3.9 Sólidos solúveis totais

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.

#### 4.3.10 Vitamina C

O conteúdo de vitamina C foi determinado pelo método de Tillmans conforme a metodologia do LUTZ (Instituto Adolfo Lutz, 2008), na qual se baseia no princípio da titulação. A vitamina C foi expressa em miligramas de ácido ascórbico por 100 gramas de matéria seca ( $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ), e calculada pela fórmula abaixo:

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

Em que:

- AA = ácido ascórbico,  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ;
- V = volume da solução de Tillmans gasto na titulação, mL;
- F = fator da solução de Tillmans;
- A = volume da amostra utilizada, mL.

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

$$F = \frac{\text{Vit C}}{\text{ST}}$$

Em que:

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

#### 4.3.11 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  $4000\text{-}400\text{cm}^{-1}$ , resolução  $8\text{ cm}^{-1}$  e 8 varreduras. Para o branco, utilizou-se o ar e as medidas foram realizadas diretamente no pó branco de mucilagem sob o cristal de diamante.

#### 4.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2, sendo dois extratores e dois tempos de conservação, com 4 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias submetidas ao teste de Tukey a 5%. 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 4.0.2. Os gráficos foram elaborados com a utilização do software Sigma Plot versão 14.

## 5. RESULTADOS

As análises estatísticas (Tabela 1) mostraram efeitos da interação e de fatores isolados referentes aos tratamentos: extratores; tempo de conservação, sobre os aspectos físico-químicos analisados na mucilagem de palma forrageira clone miúda.

**Tabela 1** - Resumo da análise de variância (ANOVA), quadrado médio, para os efeitos dos extratores (1 e 2) e tempo de conservação (0 e 12 dias) e suas interações em relação ao pH, proteínas solúveis totais (PROT), teor de potássio (K<sup>+</sup>), condutividade elétrica (CE), teor de sódio (Na<sup>+</sup>), carboidratos solúveis totais (CARB), compostos fenólicos totais (FEN), ácido cítrico (ACIT), teor de sólidos solúveis (SST) e vitamina C (VIT.C) da mucilagem de palma forrageira clone Miúda.

| Tratamentos       | pH | PROT | K <sup>+</sup> | CE | Na <sup>+</sup> | CARB | FEN | ACIT | SST | VIT.C |
|-------------------|----|------|----------------|----|-----------------|------|-----|------|-----|-------|
| Dias              | ** | **   | NS             | ** | NS              | NS   | NS  | NS   | NS  | **    |
| Extratores        | ** | *    | **             | ** | NS              | **   | NS  | **   | *   | **    |
| Extratores x Dias | ** | **   | **             | ** | NS              | NS   | NS  | NS   | NS  | NS    |

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

O rendimento agroindustrial, tanto com base no cladódio inteiro, como com base no parênquima, foi estatisticamente semelhante, independente do extrator utilizado (Tabela 2). Embora tenha obtido uma leve tendência do extrator 1, apresentar rendimentos maiores, porém, não significativos (Tabela 2).

**Tabela 2** - Rendimento agroindustrial (%) da mucilagem de palma forrageira, clone Miúda, submetida aos extratores 1 e 2 em relação ao cladódio inteiro e ao parênquima.

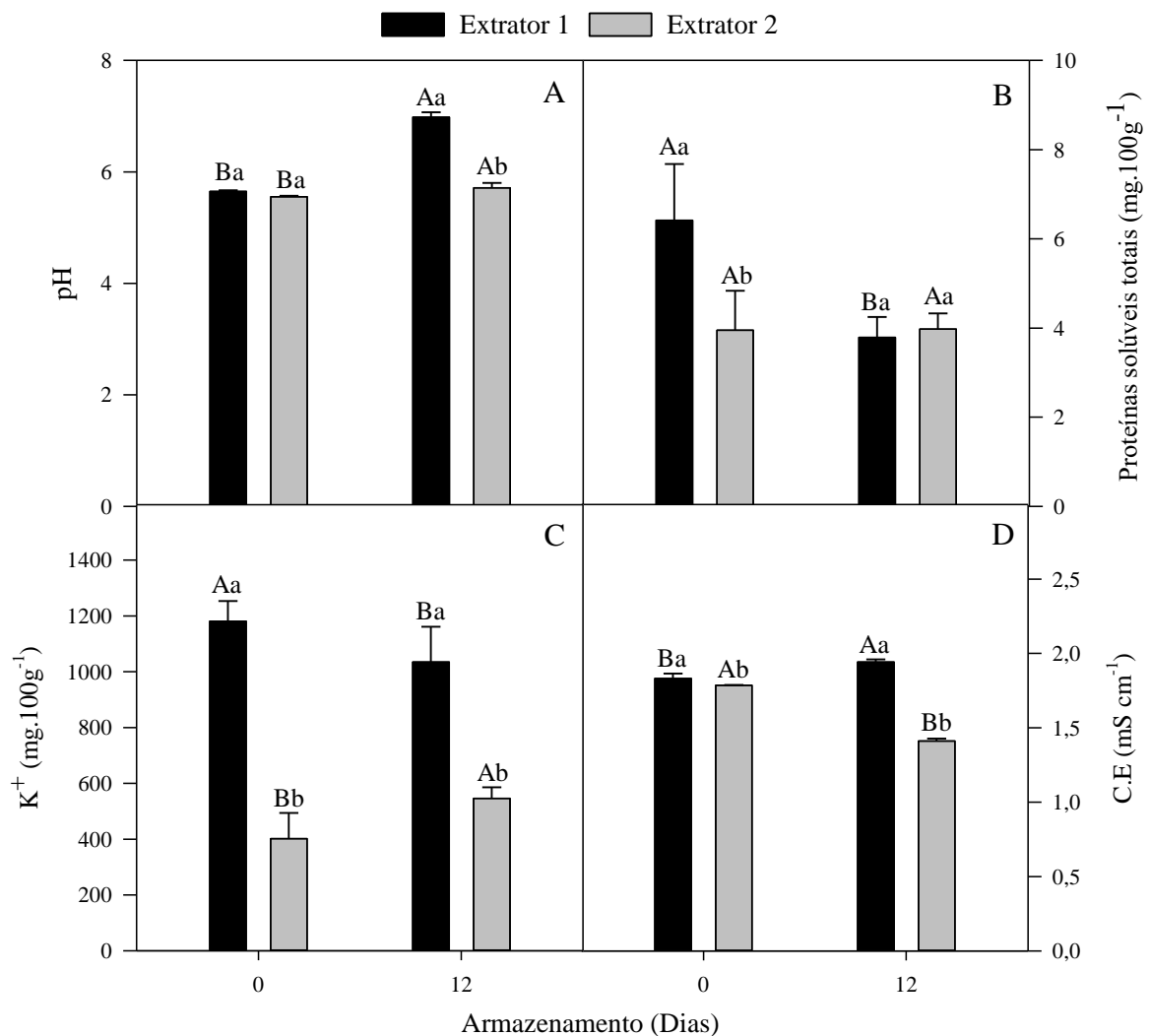
| Tratamentos | Rendimento Agroindustrial (%) |                |
|-------------|-------------------------------|----------------|
|             | Cladódio inteiro              | Parênquima     |
| Extrator 1  | 4.50 ± 1.89 a                 | 10.92 ± 3,17 a |
| Extrator 2  | 3.99 ± 1.20 a                 | 9.80 ± 1.69 a  |

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores médios de pH não diferiram quando utilizados os diferentes extratores no início do experimento (dia zero) (Gráfico 7A). Porém, o extrator 2 promoveu menores valores médios para condutividade elétrica (CE), teor de potássio e proteínas (Gráfico 7B, C e D). Após

12 dias de armazenamento, a mucilagem extraída com o extrator 1 promoveu queda significativa no teor de potássio e proteínas; mas manteve a estabilidade da CE, condição não observada com o extrator 2 (Gráfico 7B, C e D).

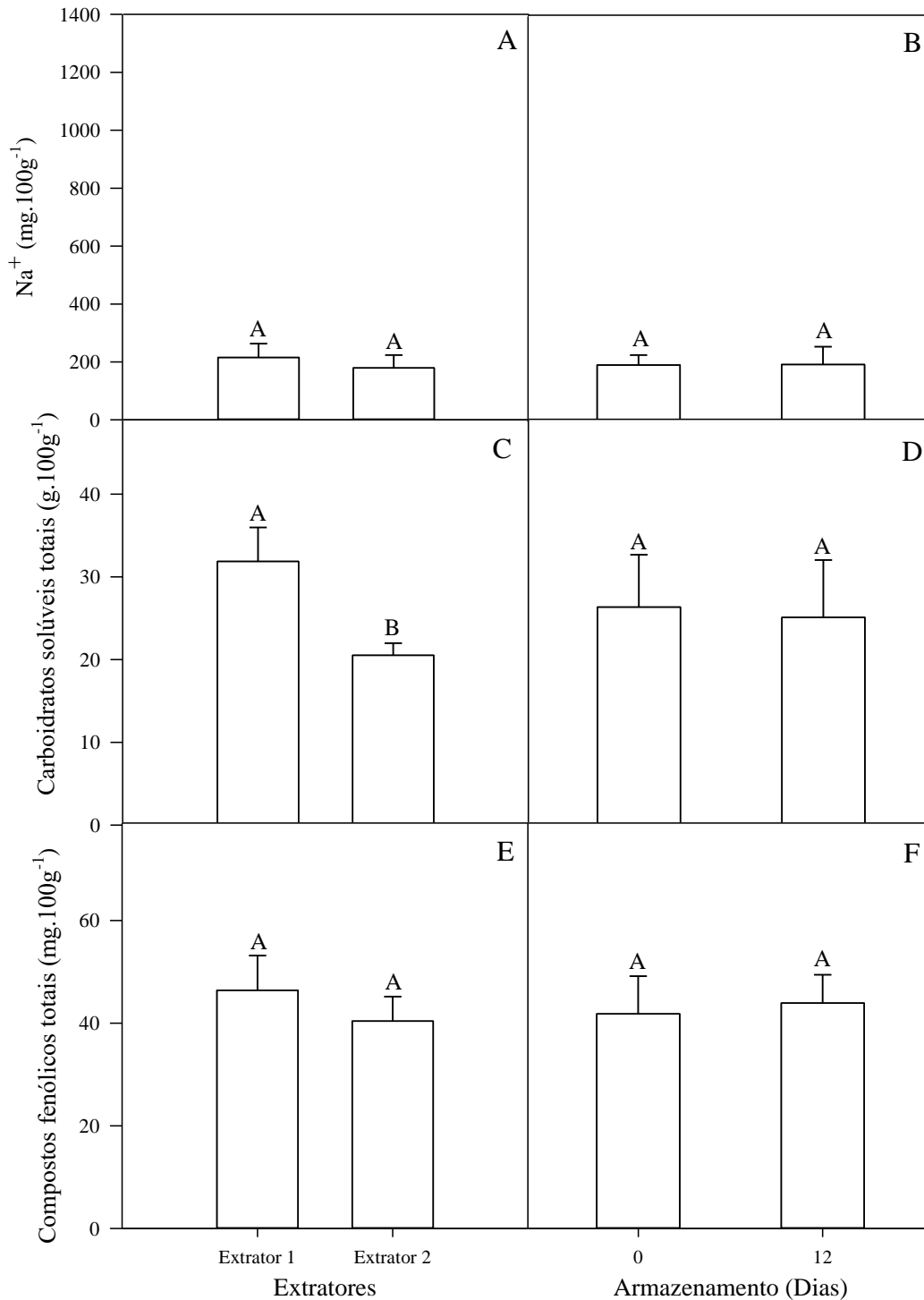
**Gráfico 7** - Potencial hidrogeniônico, proteínas solúveis totais ( $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ), teor de potássio ( $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) e condutividade elétrica ( $\text{mS cm}^{-1}$ ) da mucilagem de palma forrageira, clone Miúda, submetida aos extratores 1 e 2 e conservada a  $5^\circ\text{C}$  por 12 dias.



FONTE: Gráficos autorais. As letras representam diferença significativa entre os tratamentos, letras maiúsculas para os dias e minúsculas para o extrator utilizado pelo teste Tukey a 5%.

Os valores médios de sódio e compostos fenólicos não diferiram entre os extratores durante o estudo (Gráfico 8A e E). No entanto, o extrator 1 promoveu maiores valores médios de carboidratos solúveis totais (Gráfico 8C).

**Gráfico 8** - Teor de sódio ( $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ), carboidratos solúveis totais ( $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) e compostos fenólicos ( $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) da mucilagem extraída de cladódios do clone Miúda em extratores distintos (A, C e E) e em diferentes dias de conservação (B, D e F).

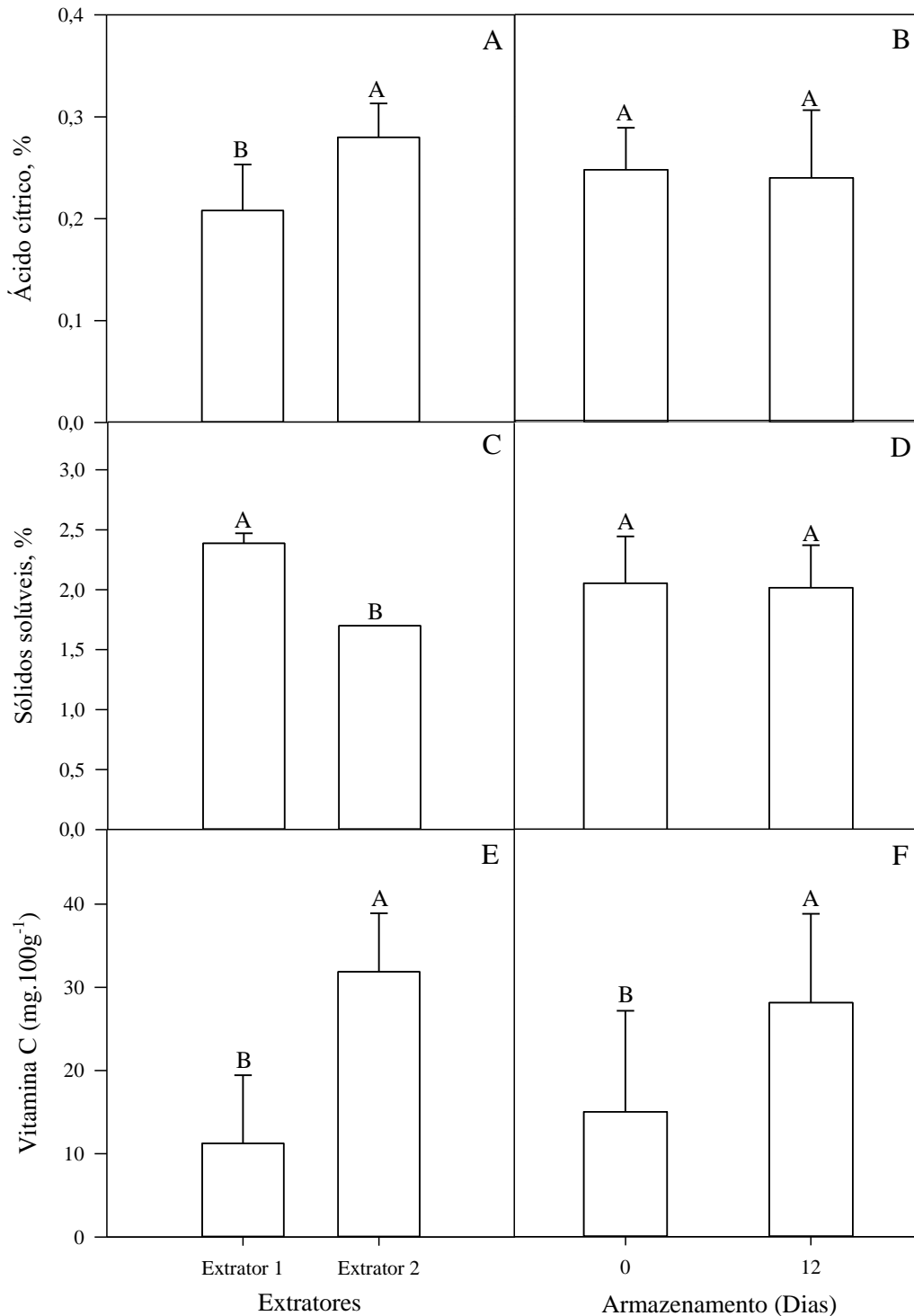


FONTE: Gráficos autorais. As barras representam o erro padrão da média. As letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste Tukey a 5%.

O extrator 2 promoveu maiores valores de acidez total titulável (medida em ácido cítrico) e vitamina C (Gráfico 9A e E). Entretanto, o extrator 1 promoveu aumento significativo dos sólidos solúveis totais, resultados opostos aos obtidos com o extrator 2 (Gráfico 9C).



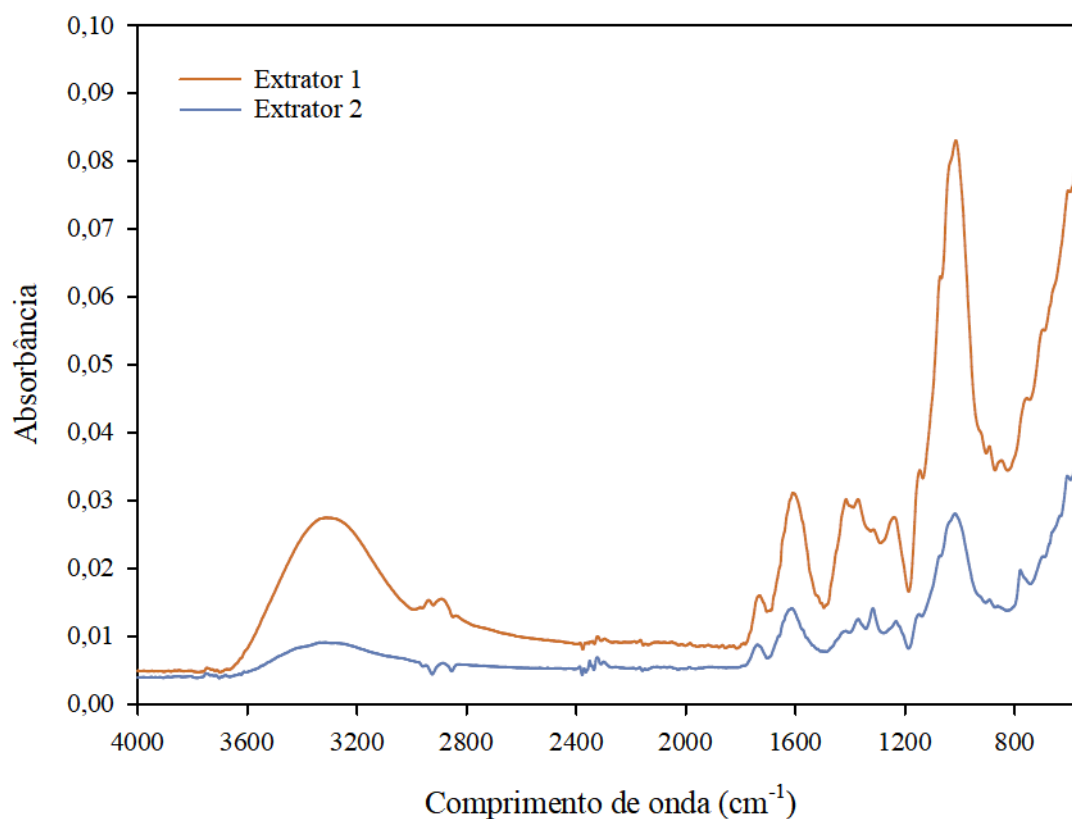
**Gráfico 9** - Acidez titulável (%), sólidos solúveis (%) e vitamina C ( $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) da mucilagem extraída de cladódios do clone Miúda em extratores distintos (A, C e E) e em diferentes dias de conservação (B, D e F).



FONTE: Gráficos autorais. As barras representam o erro padrão da média. As letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste Tukey a 5%.

Dentre as principais bandas observadas no espectro de infravermelho da mucilagem obtida da palma forrageira, clone Miúda, submetida aos diferentes extratores destacam-se:  $3334\text{ cm}^{-1}$  atribuída ao estiramento OH de álcool e ácido carboxílico;  $2926\text{ cm}^{-1}$  atribuída as vibrações assimétricas de  $-\text{CH}$  e  $-\text{CH}_2$ ;  $1612\text{ cm}^{-1}$  e  $1426\text{ cm}^{-1}$  atribuídas ao íon carboxilato ( $\text{COO}^-$ ) dá origem a duas bandas que provém da deformação axial assimétrica e axial simétrica (SILVERSTEIN, 2000) (Gráfico 10). 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 C-C e C-O. Também foi verificada a presença da banda  $1734\text{ cm}^{-1}$ , característica de mucilagem com certo grau de esterificação (GONZÁLEZ et al., 2014) (Gráfico 10).

**Gráfico 10** - Espectrofotometria de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) da mucilagem de palma forrageira, clone Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) em pó submetida a diferentes extratores.



FONTE: Gráfico autoral.

## 6. DISCUSSÃO

Pesquisas recentes acerca da composição físico-química da mucilagem, evidenciam que, as condições de produção e obtenção da matéria prima, interferem diretamente nas propriedades físico-químicas e estruturais da mucilagem (GOLDSTEIN et al., 1991), podendo potencializar seu uso na indústria de alimentos. O referente trabalho possui enfoque nos impactos diretos na composição da mucilagem em função do extrator utilizado. Isso pode originar cadeias poliméricas com características distintas, principalmente para aplicação na produção de filmes comestíveis, que visam o aumento do tempo de prateleira de alimentos processados, além de atribuir valor ao produto.

A mucilagem de palma forrageira do clone Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) obtidas no presente trabalho, em função do uso de dois extratores, teve aspecto final semelhante a uma farinha esbranquiçada, obtida do extrator 1 (Figura 3A). Um pouco mais pigmentada, quando obtido do extrator 2 (Figura 3B). A forma de obtenção de ambas as farinhas se diferenciaram pelo extrator usado, cujo método foi baseado no trabalho de GHERIBI et al., (2018). A produção baseada em alternativas renováveis tem um grande desafio relacionado ao fator econômico na indústria. A extração de mucilagem, geralmente faz uso de solventes orgânicos que deixam no ambiente resíduos, como foi usado no presente trabalho, identificado como extrator 1. A novidade do presente trabalho foi o uso do extrator 2, considerado resíduo. Isso pode ser um dos principais desafios para indústria. Por outro lado, o aproveitamento desses resíduos, para a autossustentabilidade da indústria poderia ser uma alternativa na cadeia produtiva de extração de mucilagem.

**Figura 3** - Mucilagem de palma forrageira, clone Miúda, submetida aos extratores 1 (A) e 2 (B).



FONTE: Fotos autorais.

Na cadeia produtiva de extração de mucilagem, um aspecto que se deve levar em consideração, é o rendimento de mucilagem; pois, quando apresentam baixos resultados, podem gerar desinteresse nas indústrias. Na literatura, valores relativamente baixos de rendimento são apresentados por SEPÚLVEDA et al., (2007) entre 1,3 e 1,6% de matéria fresca. No presente trabalho, os resultados obtidos para o rendimento usando como referência o parênquima aquífero, foram em torno de 10% de matéria fresca, independentemente do extrator utilizado (Tabela 2). As variações apresentadas nestes resultados podem estar relacionados aos diferentes métodos de extração da mucilagem; ou, como relatado por SAAG et al., (1975) e GOLDSTEIN et al., (1991), as variações no rendimento da extração de mucilagem podem ser relacionadas as condições climáticas tais como frio e chuva, em função da capacidade desses polissacarídeos em absorver água sob as condições de estresse como uma defesa da planta; quanto pelo método aplicado para o isolamento da mucilagem (procedimentos de separação, purificação e secagem) (OLIVEIRA, 2018; ARAÚJO, em andamento).

Um aspecto positivo quanto ao uso de mucilagem de palma forrageira para elaboração de biofilmes é seu conteúdo alto de carboidratos (GOLDSTEIN et al., 1991). Neste trabalho, os extratores divergiram entre si. O extrator 2 possibilitou menor quantificação de proteínas solúveis totais (Gráfico 7B), carboidratos (Gráfico 8C) e sólidos solúveis (Gráfico 9C). Os teores de carboidratos e sólidos solúveis totais na mucilagem podem ter influência direta da substância extratora da mucilagem, em função de sua pureza; pois, carboidratos e açúcares são

polares e facilmente solubilizados em água (MAURER e ROBERT, 1998; SMEETS; IMBROGNO; BLOEMBERGEN, 2017) podendo ser arrastados durante a extração de forma potencial pelo extrator 2, devido a este possuir mais água em sua composição e haver interação iônica destes componentes com a mucilagem. A mucilagem pode ser composta de diferentes arranjos com diferentes monossacarídeos (KENNEDY e WHITE, 1983; MATSUSHIRO et al., 2006; JIANG e RAMSDEN, 1999); esta pode ser classificada como um polissacarídeo neutro, ou ainda como a mistura de açúcares e proteínas. Apesar do caráter hidrofílico dos polissacarídeos e proteínas, suas propriedades são fundamentais para a formação de filmes, pois os polissacarídeos atuam com uma barreira a transferência de água retardando a desidratação e, portanto, prolongando a firmeza do fruto revestido (DEL-VALLE et al., 2005) e as proteínas fornecem resistência mecânica aos filmes formados (MOHAMED et al., 2020).

Foram quantificados os compostos fenólicos totais, pois, como relatado por JARAMILLO-FLORES et al., (2003), cactos são ricos em polifenóis. Os valores médios obtidos com ambos os extratores não diferiam entre si de forma significativa (Gráfico 8E). No entanto, os valores médios obtidos no presente trabalho foram de 45 mg 100g<sup>-1</sup> de matéria seca, aproximadamente; valores significativamente menores em comparação aos obtidos por GHERIBI et al., (2018), que foram aproximadamente 1200 mg 100g<sup>-1</sup> de matéria seca. Os resultados do presente trabalho são importantes para formação de filmes; pois, JAKOBEK, (2015) afirma que os compostos fenólicos podem interagir com os grupos reativos da mucilagem, diminuindo o volume do filme e potencializando as propriedades de barreira a água, sendo sua remoção da mucilagem ainda um grande desafio (JARAMILLO-FLORES et al., 2003). Entretanto, os compostos fenólicos possuem propriedades antioxidantes que evitam a formação de peróxidos e radicais livres pelas reações oxidativas (VICETTI et al., 2005), que atrelados a outros antioxidantes como a vitamina C evitam essas reações de oxidação. No presente trabalho, foram quantificados os valores médios de vitamina C e os teores de ácido cítrico, referentes à acidez titulável na mucilagem, e, para ambos os parâmetros, o extrator 2 apresentou valores significativamente superiores (Gráficos 9A e E); este extrator também possibilitou estabilidade para o pH, com valores médios próximos a 6 (Gráfico 7A). É conhecido que a acidez e o pH estão relacionados aos teores de ácidos orgânicos, sendo estes os ácidos málico, cítrico e oxálico, presentes no metabolismo do ácido crassuláceo (CAM), realizado pelas cactáceas para otimizar a fotossíntese e minimizar as perdas de água (CUSHMAN E BOHNERT, 1999). ESPINO-DIAZ et al., (2010) estudaram o efeito da variação de pH na preparação de filmes a base de mucilagem de *Opuntia ficus-indica* (L.), e

constatarem que houve interferência nas propriedades mecânicas dos filmes resultantes, sendo os mais resistentes os que continham pH próximo ao neutro, entre 5,6 e 7, resultados semelhantes aos obtidos no presente trabalho. Isso ocorre por haver um rearranjo molecular da mucilagem, devido a diminuição das forças de repulsão e maior número de ligações de hidrogênio entre as moléculas, produzindo filmes compactos e resistentes (ESPINO-DIAZ et al., 2010).

A condutividade elétrica foi quantificada no presente trabalho, pois interfere diretamente na viscosidade da mucilagem, e conseqüentemente, na sua aderência ao produto ou capacidade de produzir filmes (KREVELEN, 1990). Foi verificado que o extrator 2 apresentou menores resultados de condutividade elétrica (Gráfico 7D), em concordância com os resultados obtidos para o quantitativo de  $K^+$  presente na mucilagem, também com resultados inferiores (Gráfico 7C). Sabe-se que, a variabilidade na concentração de íons ou sais presentes em uma solução causam desarranjos na conformação molecular (KREVELEN, 1990). Em sistemas com força iônica zero ou sem um contra-íon, uma carga negativa produz forte repulsão intermolecular e, portanto, uma molécula mais expandida; sendo uma explicação para a alta viscosidade da mucilagem em água deionizada (MEDINA-TORRES et al, 2000). Cactáceas em geral, tem destaque por apresentarem maiores teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , que possuem forte influência sobre a viscosidade da mucilagem devido a sua força iônica e a concentração no vegetal (MEDINA-TORRES et al, 2000; LÜTTGE, 2004). O extrator 2 potencialmente reduziu esses componentes na mucilagem, o que o torna favorável para uso na produção de filmes.

O perfil geral dos espectros das amostras da mucilagem submetidas aos diferentes extratores é semelhante ao encontrado na literatura (Gráfico 10) (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,  $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$  de moléculas presentes na mucilagem (GONZÁLEZ et al., 2014; GHERIBI et al., 2019; BAYAR et al., 2016). 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 (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 C-C e C-O presentes em pó de mucilagem de cactos. Em ambos os extratores estudados, foi verificada a presença um pequeno pico na região de  $1734\text{cm}^{-1}$ , característica de mucilagem com certo

grau de esterificação (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, pois ocorre a formação de lipídios pela substituição do Hidrogênio das carboxilas por um radical orgânico, que tornam a mucilagem menos solúvel em água, ocasionando uma baixa capacidade de absorção. No entanto, vale ressaltar que, a mucilagem extraída com o extrator 2 apresentou menor pico na região  $1734\text{ cm}^{-1}$ , indicando a possibilidade de um menor grau de esterificação (BRANDÃO e ANDRADE, 1999).

O presente estudo demonstrou como a utilização de diferentes extratores interferem nas propriedades físico-químicas e bioquímicas da mucilagem de palma forrageira *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck clone Miúda. Os extratores usados no estudo foram eficientes na extração de mucilagem, sem divergência significativa (Tabela 2). Como também, mantiveram  $\text{Na}^+$  e Compostos fenólicos totais semelhantes estatisticamente. Entretanto, o extrator 1 possibilitou a quantificação de maiores valores médios de pH, condutividade elétrica, teor de potássio, carboidratos solúveis totais, sólidos solúveis e proteínas solúveis totais. Enquanto o extrator 2, possibilitou maiores valores médios de porcentagem de ácido cítrico e vitamina C. O armazenamento refrigerado manteve a estabilidade do pH, proteínas solúveis totais, teor de  $\text{Na}^+$ , carboidratos solúveis totais, compostos fenólicos totais, ácido cítrico e sólidos solúveis obtidos com uso do extrator 2.

Diante da crescente busca por alternativas sustentáveis ao uso do petróleo, esse estudo tem grande impacto científico e social. Pois, não só busca viabilizar a utilização de materiais renováveis e que não causam agressão aos ecossistemas, como também, busca tornar ainda mais sustentáveis os processos para obtenção dessa matéria prima; mostrando resultados satisfatórios para ambos os solventes utilizados no estudo. Porém, é necessário continuar os estudos visando a elaboração de filmes, com a mucilagem obtida de ambos os extratores. Assim, verificar a potencialidade de uso desses filmes na indústria de alimentos. Além disso, possibilitar o uso, em maiores escalas, de um dos extratores usados, que possivelmente geram menores impactos ambientais e econômicos durante a produção de mucilagem.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ambos os extratores usados, resultaram em rendimentos de mucilagem semelhantes, embora o extrator 2 apresentasse uma pigmentação levemente diferenciada. Além disso, o extrator 2 apresentou maiores valores médios de vitamina C e ácido cítrico, pH dentro da faixa ideal, menores valores médios de condutividade elétrica e teor de  $K^+$ .

O armazenamento refrigerado manteve a estabilidade do pH, proteínas solúveis totais, teor de  $Na^+$ , carboidratos solúveis totais, compostos fenólicos totais, ácido cítrico e sólidos solúveis obtidos com uso do extrator 2. A extração alternativa, por meio do extrator 2, mostrou-se com potencial para uso na obtenção de mucilagem para fins industriais. Porém, são necessários mais estudos físico-químicos e estruturais de futuros filmes que poderão ser produzidos, para uma mais precisa recomendação e aplicações para fins agroindustriais.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, B. R. A.; DUTRA, E. D; SAMPAIO, E. V. S. B; MENEZES, R. S. C; MORAIS JÚNIOR, M. A. Enzymatic hydrolysis of cactus pear varieties with high solids loading for bioethanol production. **Bioresource Technology**, v. 250, p. 273-280, 2018.

ALLEGRA, A.; SORTINO, G.; INGLESE, P.; SETTANNI, L.; TODARO, A.; GALLOTTA, A. A eficácia do revestimento comestível de mucilagem de *Opuntia ficus-indica* na manutenção pós-colheita de frutos de figo 'Dottato' (*Ficus carica* L.). **Embalagem de Alimentos e Validade**, v. 12, p. 135-141, 2017.

ALI, A.; AHMED, S. Recent advances in edible polymer based hydrogels as a sustainable alternative to conventional polymers. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 66, n. 27, p. 6940-6967, 2018.

ALMANZA, R. A. Recetario guanajuatense del Xoconostle. **Culturas Populares. México DF Págs**, p. 17-20, 1999.

AMMAR, Imene et al. Anti-inflammatory activity and phenolic composition of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) flowers. **Industrial Crops and Products**, v. 112, p. 313-319, 2018.

ANDRADE, C. T. S.; MARQUES, J. G. W.; ZAPPI, D. C. Utilização de cactáceas por sertanejos baianos. Tipos conexivos para definir categorias utilitárias. **Sitientibus. Série Ciências Biológicas (Etnobiologia)**, v. 6, p. 3-12, 2006.

ARVANITTOYANNIS, I., PSOMIADOU, E. & NAKAYAMA, A. Edible films made from sodium caseinate, starches, sugars or glycerol. Part 1. **Carbohydrate Polymers**, 31:179-92, 1996.

ASTELLO-GARCÍA, Marizel 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.

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.

BAYAR, Nadia; KRIAA, Mouna; KAMMOUN, Radhouane. Extração e caracterização de três polissacarídeos extraídos de cladódios de *Opuntia ficus indica*. **Revista internacional de macromoléculas biológicas**, v. 92, p. 441-450, 2016.

BRAVO FILHO, E. S. et al. Levantamento etnobotânico da família Cactaceae no estado de Sergipe. **Revista Fitos Eletrônica**, 2018.

BRANDÃO, Edimir M.; ANDRADE, Cristina 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.

BUENROSTRO, Marco; BARROS, Cristina; PARRA, Isabel Méndez. **Recetario del nopal de Milpa Alta, DF, y Colima**. CONACULTA, Culturas Populares, 2000.

CAMPOS, Bruno Eduardo et al. Optimization of the mucilage extraction process from chia seeds and application in ice cream as a stabilizer and emulsifier. **LWT-Food Science and Technology**, v. 65, p. 874-883, 2016.

CHAVES, Marcia A. et al. Extraction and application of chia mucilage (*Salvia hispanica* L.) and locust bean gum (*Ceratonia siliqua* L.) in goat milk frozen dessert. **Journal of food science and technology**, v. 55, n. 10, p. 4148-4158, 2018.

CONTRERAS-PADILLA, Margarita 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.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, M. E.; GUTIÉRREZ-CORTEZ, E.; DEL CARMEN VALDERRAMA-BRAVO, M.; ROJAS-MOLINA, J. I.; RIVERA-MUÑOZ, E. M. Physicochemical and rheological characterization of *Opuntia ficus* mucilage at three different maturity stages of cladode. **European Polymer Journal**, v. 78, p. 226-234, 2016.

CRUZ, Brisa Mascarenhas et al. Estudos de longevidade e germinação em sementes de espécies do gênero *Melocactus* (Cactaceae) de Morro do Chapéu, Chapada Diamantina, Bahia. 2011.

CUQ, B.; GONTARD, N.; CUQ, J.L.; GUILBERT, S. Selected functional properties of fish myofibrillar protein-based films as affected by hydrophilic plasticizers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 622-626, 1997.

CUSHMAN, John C.; BOHNERT, Hans J. Crassulacean acid metabolism: molecular genetics. **Annual review of plant biology**, v. 50, n. 1, p. 305-332, 1999.

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. 45223, 2017.

DEL-VALLE, V., MUÑOZ, P.H., GUARDA, A., GALOTTO, M.J. 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, Melina et al. Mucilage and cladode flour from cactus (*Opuntia monacantha*) as alternative ingredients in gluten-free crackers. **Food Chemistry**, p. 126178, 2020.

DUQUE, José Guimarães. **O Nordeste e as lavouras xerófilas**. Escola Superior de Agricultura de Mossoró, 1980.

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, p. E347-E352, 2010.

FAKHOURI, Farayde Matta et al. Edible films made from blends of manioc starch and gelatin– Influence of different types of plasticizer and different levels of macromolecules on their properties. **LWT**, v. 49, n. 1, p. 149-154, 2012.

FERREIRA, M. A.; PESSOA, R. A. S.; SILVA, F. M. Produção e utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes. In: **memorias del I Congresso Brasileiro de Nutrição Animal**. 2008. p. 21-24.

FELKAI-HADDACHE, Lamia et al. Microwave optimization of mucilage extraction from *Opuntia ficus indica* Cladodes. **International journal of biological macromolecules**, v. 84, p. 24-30, 2016.

FLORES VALDEZ, Claudio Armando. Produção, industrialização e comercialização de nopalitos. 2001.

GENNADIOS, A.; BRANDENBURG, A. H.; WELLER, C. L.; TESTIN, R. F. Effect of pH on properties of wheat gluten and soy protein isolate films. **J. Agric. and Food Chem.**, v. 41, p. 1835-1839, 1993.

GHERIBI, R.; PUCHOT, L.; VERGE, P.; GRAYAA, N. J.; MEZNI, M.; HABIBI, W.; KHWALDIA, K. Development of plasticized edible films from *Opuntia ficus indica* mucilage: A comparative study of various polyol plasticizers. **Carbohydrate Polymers**, v. 190, n. 15, p. 204-211, 2018.

GHERIBI, Rim; KHWALDIA, Khaoula. Cactus Mucilage for Food Packaging Applications. **Coatings**, v. 9, n. 10, p. 655, 2019.

GONZÁLEZ, S. R 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.

GONZÁLEZ SANDOVAL, Dulce C. et al. Formulation and Characterization of Edible Films Based on Organic Mucilage from Mexican *Opuntia ficus-indica*. **Coatings**, v. 9, n. 8, p. 506, 2019.

GOLDSTEIN, Guillermo et al. Diel patterns of water potential components for the crassulacean acid metabolism plant *Opuntia ficus-indica* when well-watered or droughted. **Plant Physiology**, v. 95, n. 1, p+. 274-280, 1991.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ, Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, 2008.

JAKOBEK, Lidija. Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. **Food chemistry**, v. 175, p. 556-567, 2015.

JANI, G. K.; SHAH, D. P.; PRAJAPATI, V. D.; JAIN, V. C. Gums and mucilages: versatile excipients for pharmaceutical formulations. **Asian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 4, n. 5, p. 309-323, 2009.

JARAMILLO-FLORES, Maria Eugenia et al. Effect of thermal treatment on the antioxidant activity and content of carotenoids and phenolic compounds of cactus pear cladodes (*Opuntia ficus-indica*). **Food science and technology international**, v. 9, n. 4, p. 271-278, 2003.

JIANG, Gaosong; RAMSDEN, Lawrence. Characterisation and yield of the arabinogalactan-protein mucilage of taro corms. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 79, n. 5, p. 671-674, 1999.

KENNEDY, John F. et al. **Carboidratos bioativos: em química, bioquímica e biologia**. Ellis Horwood Ltd., 1983.

KREVELEN, D. W. V. Properties of polymers. 3 ed. São Paulo: **Elsevier**, 1990.

KROCHTA, J. M. Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current status, and opportunities. **Protein-based films and coatings**, p.1-41, 2002.

LUCENA, Camilla Marques 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.

LUDERS, L.; MCMAHON, G. The pitaya or dragon fruit (*Hylocereus undatus*). **Darwin: university of Darwin**, 2004.

LÜTTGE, Ulrich. 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.

MALAININE, M. E. et al. Structure and morphology of cladodes and spines of *Opuntia ficus-indica*. Cellulose extraction and characterisation. **Carbohydrate Polymers**, v. 51, n. 1, p. 77–83, 2003.

MATSUHIRO, Betty et al. Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. **Carbohydrate polymers**, v. 63, n. 2, p. 263-267, 2006.

MAURER, Hans W.; KEARNEY, Robert L. Oportunidades e desafios para o amido na indústria de papel. **Starch-Stärke** , v. 50, n. 9, pág. 396-402, 1998.

MEDINA-TORRES, L. et al. Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). **Food Hydrocolloids**, v. 14, n. 5, p. 417–424, 2000.

MEDINA-TORRES, L. et al. Mechanical properties of gels formed by mixtures of mucilage gum (*Opuntia ficus indica*) and carrageenans. **Carbohydrate polymers**, v. 52, n. 2, p. 143-150, 2003.

MIZRAHI, Yosef; NERD, Avinoam; SITRIT, Yaron. New fruits for arid climates. **Trends in new crops and new uses**. ASHS Press, Alexandria, VA, p. 378-384, 2002.

MONRROY, M. et al. Extraction and Physicochemical Characterization of Mucilage from *Opuntia cochenillifera* (L.) Miller. **Journal of Chemistry**, v. 2017, 2017.

MORAIS, M. A. 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.

MOHAMED, Salah AA; EL-SAKHAWY, Mohamed; EL-SAKHAWY, Mohamed Abdel-Monem. Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review. **Carbohydrate Polymers**, p. 116178, 2020.

NHARINGO, Tichaona; MOYO, Mambo. Application of *Opuntia ficus-indica* in bioremediation of wastewaters. A critical review. **Journal of environmental management**, v. 166, p. 55-72, 2016.

OLIVEIRA, F. R. **Rendimento e Estabilidade Físico-Química de Mucilagem de Clones de Palma Forrageira obtida de Diferentes Condições Agronômicas**. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada. Serra talhada, p. 61. 2018.

ORIFICI, S. C.; CAPITANI, M. I.; TOMÁS, M. C.; NOLASCO, S. M. Optimization of mucilage extraction from chia seeds (*Salvia hispanica* L.) using response surface methodology. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 12, p. 4495-4500, 2018.

ORTEGA-BAES, P. et al. Global diversity and conservation priorities in the Cactaceae. **Biodiversity & Conservation**, v. 15, n. 3, p. 817-827, 2006.

ORTIZ, S. P.; ARCE, M. M. Producción y Caracterización de Películas de Biopolímero de Nopal *Opuntia ficus-indica* (L.). 2019.

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.

PRAJAPATI, V. D; JANI, G. K; MORADIYA, N. G; RANDERIA, N. P. Pharmaceutical application of various natural gums, mucilages and their modified forms. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, ed. 2, p. 1685-1699, 2013.

REYES-OCAMPO, I. et al. Solvent-free mechanical extraction of *Opuntia ficus-indica* mucilage. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 1, p. e12954, 2019.

ROSTAMI, Hosein; GHARIBZAHEDI, Seyed Mohammad Taghi. Mathematical modeling of mucilage extraction kinetic from the waste hydrolysates of fruiting bodies of *Zizyphus jujuba* mill. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 4, p. e13064, 2017.

RUSSELL, Charles E.; FELKER, Peter. As peras-espinhosas (*Opuntia spp.*, Cactaceae): fonte de alimentação humana e animal nas regiões semiáridas. **Botânica econômica**, v. 41, n. 3, pág. 433-445, 1987.

SAAG, L. M. K.; SANDERSON, G. R.; MOYNA, P.; RAMOS, G. Cactaceae mucilage composition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 26, n. 7, p. 993-1000, 1975.

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

SAVOIE, D. L.; PROSPERO, J. M. Water-soluble potassium, calcium, and magnesium in the aerosols over the tropical North Atlantic. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 85, n. C1, p. 385-392, 1980.

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.

SHEDBALKAR, U.U.; ADKI, V.S.; JADHAV, J.P.; BAPAT, V.A. *Opuntia* and Other Cacti: Applications and Biotechnological Insights. **Tropical Plant Biol.**, v. 3, p.136-150, 2010.

SILVA, A. P. G.; SOUZA, C. C.E.; RIBEIRO, J. E. S.; SANTOS, M. C. G.; PONTES, A. L. S.; MADRUGA, M. S. 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.

SILVA, Cristina Cavalcante Félix; SANTOS, Luciana Carvalho. Palma Forrageira (*Opuntia Ficus-Indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria**, v. 7, n. 10, p. 1-13, 2006.

SILVA, Sérgio Henrique et al. Processos de extração e caracterização da mucilagem obtida de frutos verdes de *Pereskia aculeata* Miller. **Culturas e produtos industriais** , v. 140, p. 111716, 2019.

SILVERSTEIN, R. M.; WERSTER, F. X. Espectrometria no ultravioleta e infravermelho. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**, v. 6, p. 67-135, 2000.

SMEETS, Niels MB; IMBROGNO, Spencer; BLOEMBERGEN, Steven. Carbohydrate functionalized hybrid latex particles. **Carbohydrate polymers**, v. 173, p. 233-252, 2017.

SOUZA, Gabriela et al. Antioxidant activity, extraction and application of psyllium mucilage in chocolate drink. **Nutrition & Food Science**, 2020.

SOUZA, Gabriela Sena et al. Ultrasound-assisted extraction of Psyllium mucilage: Evaluation of functional and technological properties. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 238-244, 2020.

TAYLOR, N. P.; ZAPPI, D. Distribuição das espécies de Cactaceae na caatinga. **Vegetação & Flora da Caatinga. Recife: Associação de Plantas do Nordeste–APNE**, p. 123-125, 2002.

TRACHTENBERG, Shlomo; MAYER, Alfred M. Composição e propriedades da mucilagem de *Opuntia ficus-indica*. **Fitoquímica**, 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.

VALDÉS, A.; GARRIGÓS, M. C. Carbohydrate-based advanced biomaterials for food sustainability: A review. **Materials Science Forum**, v. 842, p. 182–195, 2016.

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

VENTOLÀ, 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.

VICETTI, Rodolfo et al. Use of alpha-tocopherol combined with synergists and compared to other antioxidants on the oxidative stability of sardine skin lipids. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, n. 2-3, p. 131-137, 2005.

VILLASEÑOR, M. A. A. **Efecto del método de extracción em las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible**. Valência: UPV, 2008. Tese (Doutorado), Universidade Politécnica de Valência. Departamento de Tecnologia de Alimentos, Valência, Espanha, 2008.

ZAPPI, D. Fitofisionomia da Caatinga associada à cadeia do Espinhaço. **Revista Megadiversidade**, v. 4, n. 1-2, p. 34-38, 2008.

ZAPPI, D.; TAYLOR, N.; LAROCCA, J. **Plano de Ação Nacional para a Conservação das Cactáceas** – Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, ICMBIO, p. 112, 2011.

ZHAO, Xianhai; QIAO, Lijun; WU, Ai-Min. Effective extraction of Arabidopsis adherent seed mucilage by ultrasonic treatment. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2017.