



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE ALIMENTOS

MARIANY CRUZ ALVES DA SILVA

QUALIDADE E POTENCIAL FUNCIONAL DE MAMÃO ‘GOLDEN’
MINIMAMENTE PROCESSADO E RECOBERTO COM FÉCULA DE
INHAME, MUCILAGEM DE CHIA E ÓLEO ESSENCIAL DE
LARANJA DOCE

JOÃO PESSOA – PB

2016

MARIANY CRUZ ALVES DA SILVA

**QUALIDADE E POTENCIAL FUNCIONAL DE MAMÃO ‘GOLDEN’
MINIMAMENTE PROCESSADO E RECOBERTO COM FÉCULA DE
INHAME, MUCILAGEM DE CHIA E ÓLEO ESSENCIAL DE
LARANJA DOCE**

JOÃO PESSOA – PB

2016

MARIANY CRUZ ALVES DA SILVA

**QUALIDADE E POTENCIAL FUNCIONAL DE MAMÃO ‘GOLDEN’
MINIMAMENTE PROCESSADO E RECOBERTO COM FÉCULA DE
INHAME, MUCILAGEM DE CHIA E ÓLEO ESSENCIAL DE
LARANJA DOCE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Tecnologia, da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Silvanda de Melo Silva, PhD.

JOÃO PESSOA – PB

2016

S586q Silva, Mariany Cruz Alves da.
Qualidade e potencial funcional de mamão Golden
minimamente processado e recoberto com fécula de inhame,
mucilagem de chia e óleo essencial de laranja doce / Mariany
Cruz Alves da Silva.- João Pessoa, 2016.
126f. : il.
Orientadora: Silvanda de Melo Silva
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT
1. Tecnologia de alimentos. 2. *Carica papaya*.
3. Processamento mínimo. 4. Recobrimento comestível.
5. Amido e mucilagem. 6. *Dioscorea* spp. 7. *Salvia hispanica*.

UFPB/BC

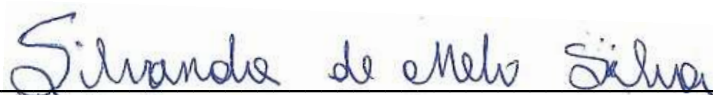
CDU: 664(043)

MARIANY CRUZ ALVES DA SILVA

**QUALIDADE E POTENCIAL FUNCIONAL DE MAMÃO ‘GOLDEN’
MINIMAMENTE PROCESSADO E RECOBERTO COM FÉCULA DE INHAME,
MUCILAGEM DE CHIA E ÓLEO ESSENCIAL DE LARANJA DOCE**

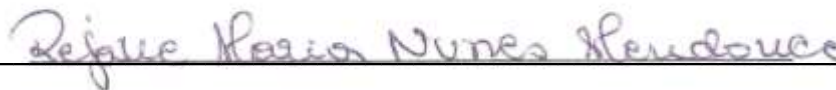
Dissertação Aprovada em 30/03/2016

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Silvana de Melo Silva, PhD. – CCA/UFPB

Coordenadora da Banca Examinadora



Prof.^a Dra. Rejane Maria Nunes Mendonça – DFCA/CCA/UFPB

Examinadora Externa



Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira - DCFS/CCA/UFPB

Examinador Externo

A Deus, pelo seu infinito amor

*Aos meus pais Maria José Cruz Silva e José Alves da Silva e
irmã Rafaela Cruz Alves da Silva, minhas motivações*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e proteção em todos os momentos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de alimentos, todos os docentes que o compõe e a secretária Lindalva, sempre solícita e gentil.

A minha orientadora, Prof.^a, Dr.^a Silvanda de Melo Silva, pela oportunidade, confiança, paciência, atenção, exemplo profissional e toda orientação. Muito obrigada.

Aos meus pais, José e Maria, e à minha irmã, Rafaela, pelo amor e apoio incondicionais e essenciais em mais uma jornada. A quem eu devo tudo de melhor em mim. Família, amor eterno.

Aos meus demais familiares que, torceram e oraram por mim sem cessar. Minha avó, Augusta, minha grande referência de simplicidade e amor e minhas tias e primas (os) todas (os).

Ao meu noivo, Darlan Barreto, pela paciência, carinho e companheirismo, mesmo à distância, ao nosso modo. Obrigada por não desistir de mim e por todos os “vai dar tudo certo”. Amo você.

As colegas de mestrado, Ana Carolina, Caroline, Danise e Mayra, pelo companheirismo durante a fase de disciplinas, e as colegas que fiz em Areia, Juliana, Lucimara e Luciana, pela acolhida e carinho. Foi muito importante contar com vocês.

A todos que compõe o LBTPC, pela amizade e colaboração fundamental em minha pesquisa. Sem diferenciação entre graduandos e pós-graduandos ou funcionários e estudantes, todos neste Laboratório formam um conjunto extremamente especial que proporciona o desenvolvimento de bons trabalhos e aprendizado. De modo particular, Alex, Expedito, Luciana, Gracinha, Matheus, Raylson, Thiane e Vanda, muitíssimo obrigada pela dedicação, ideias e todo esforço. Também aos pós-graduandos, Augusto, Assys, Fernando, George, Leonardo, Plácido, Renato Pereira, Ricardo e Valdênia muito obrigada pelo companheirismo, ideias e experiências, incentivo, inúmeros favores, paciência e compreensão. Vocês foram fundamentais.

De modo muito especial, Luciana, Vanda, Renato Pereira e Ricardo, obrigada por todo suporte e por me fortalecerem nos meus momentos mais frágeis. Vocês foram demais.

A sempre querida Dona Rozani, pelos cuidados primorosos, orações, abraços, amizade, carinho e companhia para o cafezinho, tão especial. Muitíssimo obrigada, jamais esquecerei.

Ao casal Ana e Renato Dantas pelo apoio crucial em diversas etapas de minha experiência no LBTPC. Mais do que colegas, foram grandes amigos e se doaram humildemente em todas as ajudas solicitadas. Obrigada por serem exímios modelos de integridade e trajetória de sucesso no LBTPC. Continuem sendo essas pessoas iluminadas.

Ao apoio técnico de Rosana Sousa como servidora sempre prestativa e compreensiva e como colega de Programa, com muitas experiências compartilhadas.

Aos professores, Rejane Mendonça e Walter Pereira pela participação nas bancas de qualificação e defesa e todas as sugestões de melhoria neste trabalho. Obrigada.

A Bartolomeu, Wladymyr e todos os demais membros do CERTBIO que auxiliaram nas análises complementares da pesquisa.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e a conclusão deste desafio.

RESUMO

O consumo fresco de mamão pode ser ampliado com a tecnologia de processamento mínimo, e sua vida pós-corte pode ser prolongada com uso adequado de recobrimentos comestíveis. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi prolongar a vida pós-corte de mamão 'Golden' minimamente processado sob recobrimentos comestíveis à base de fécula de inhame (F), combinado ou não com mucilagem de chia (M) e óleo essencial de laranja doce (O), foram aplicados em mamão 'Golden' minimamente processado seguido de armazenado por 12 dias à 5 °C, bem como, foram avaliados em formato de filmes quanto às propriedades estruturais físicas e químicas. Fatias de mamão foram imersas em soluções filmogênicas de 4% F, 2%F+2%M+O, 1%F+3%M+O e 1%F+3%M e comparados a MMP sem recobrimento (C) embaladas em bandeja de politereftalato de etileno - PET cobertas com filme policloreto de polivinila - PVC armazenadas a 5 °C por 12 dias. A cada 2 dias, realizaram-se análises físico-químicas (perda de massa, pH, firmeza, sólidos solúveis - SS, acidez titulável - AT, relação SS/AT e permeabilidade de membrana, ácido ascórbico, licopeno, β -caroteno, flavonoides amarelos, polifenóis extraíveis totais, e atividade antioxidante total pelos métodos DPPH• e ABTS•⁺ e a cada 4 dias mediu-se a qualidade sensorial. Filmes obtidos de 4F e 2F2MO foram analisados por microscopia eletrônica de varredura - MEV, espectroscopia dispersiva de raios X - EDS, difração de raios X - DRX e espectroscopia da região de infravermelho com transformada de Fourier - FTIR. As variações de firmeza e acidez titulável foram as mais expressivas para a diferenciação dos recobrimentos nos períodos. O recobrimento 2F2MO destacou-se como único que manteve a qualidade sensorial dos MMP igual à do período inicial até o décimo segundo dia de armazenamento. O filme 4F apresentou padrão de difração de raios X mais cristalino que 2F2MO, que por sua vez, diminuiu a rugosidade e porosidade da superfície do filme, embora tenha demonstrado poros maiores. Em termos de conformação molecular, não se observou alterações expressivas no espectro FTIR do filme 2F2MO em relação ao 4F. A fase cristalina mais intensa do filme 4F o tornou menos permeável, como consequência, os MMP sob tal recobrimento mantiveram os SS mais preservados entre os mamões MP recobertos. O caráter mais amorfo conferido pela adição de mucilagem foi desfavorável quando o percentual desta foi maior na formulação, visto que, os MMP sob 1F3M apresentaram perda de massa equivalente à de C. Após oito dias de armazenamento todos os recobrimentos demonstraram influência na redução da síntese de polifenóis e a degradação de ácido ascórbico. Os recobrimentos 2F2MO e 1F3MO diferenciaram-se de 4F e 1F3M, a partir do décimo dia de armazenamento, pela maior retenção dos teores de ácido ascórbico e maiores atividades antioxidantes (DPPH• E ABTS•⁺). Evidenciou-se que a proporção 2:2 entre amido de inhame e mucilagem de chia com adição de óleo essencial de laranja doce promoveu manutenção da qualidade de MMP de forma mais vantajosa, sendo capaz de manter os MMP, acima do limite mínimo de aceitação, 8 dias a mais que o controle.

Palavras-chave: *Carica papaya*, processamento mínimo, recobrimento comestível, amido, mucilagem, *Dioscorea* spp., *Salvia hispanica*.

ABSTRACT

The consumption of fresh papaya can be expanded by minimal processing, and its post-cutting life can be prolonged with proper use of edible coatings. In this sense, the objective of this work was to extend the post-cut life of minimally processed (MP) 'Golden' papaya under edible coatings based on yam starch (S), combined or not with chia mucilage (M), and sweet orange essential oil (O), kept under cold storage. The coating formed were evaluated for the physical, chemical and structural properties. Papaya slices were immersed in filmogenic solution of 4% S (4S), 2% S + 2% M + O (2S2MO), 1% S + 3% M + O (1S3MO), 1% S + 3% M (1F3M), and uncoated papaya (C). Afterward, slices were placed into polyethylene terephthalate trays, wrapped with 13 μ m thick polyvinyl chloride (PVC) film, and stored at 5 °C for 12 days. Weight loss, pH, firmness, soluble solids - SS, titratable acidity - AT, SS/TA ratio, membrane permeability, ascorbic acid, lycopene, β -carotene, yellow flavonoids, total extractable polyphenols, and antioxidant activity by DPPH $\bullet$ and ABTS $\bullet^+$ methods were evaluated each two days, and the sensory quality each four days. Coatings obtained from 4S and 2S2MO were analyzed by scanning electron microscopy - SEM, Energy Dispersive X-ray Spectroscopy - EDS, X-ray diffraction - XRD, and fourier transform infrared region - FTIR, variations in the fruit firmness and titratable acidity were the most significant for the differentiation of the coatings during storage. The 2S2MO coating stood out as one which maintained the sensory quality of MP papaya equal to the initial period until the twelfth day of storage. 4S film showed pattern of X-ray diffraction more crystalline than 2S2MO, which in turn decreased the roughness and porosity of the film surface, although shown larger pores. In terms of molecular conformation, there were no significant changes in the FTIR spectrum of the 2S2MO film in relation to 4S. The most intense crystalline phase of the 4S film resulted in its low permeability. Under such coating, MP papaya maintained SS better preserved among the coated MP papayas. The most amorphous character conferred by the addition of mucilage was unfavorable when this percentage was increased in the formulation, since MP papaya in 1S3M showed weight loss close to slices from the C. 2S2MO coating delayed the increase of the contents of ascorbic acid, lycopene, and β -carotene, maintaining antioxidant activity. Therefore, the combination of 2% yam starch, 2% chia mucilage, and 0.025% sweet orange essential oil resulted in the maintenance of the bioactive compounds and the functional potential of MP 'Golden' papaya during cold storage. It was showed that the proportion 2:2 between yam starch and mucilage chia with addition of sweet orange essential oil promoted maintenance of the quality of MMP more advantageously, being able to maintain MMP above the minimum acceptance threshold, for more than 8 days as related to the control.

Keywords: *Carica papaya*; minimally processed; edible coating; mucilage; starch. *Dioscorea* spp., *Salvia hispanica*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Concentração de fécula de inhame e mucilagem de chia nos recobrimentos elaborados para aplicação em mamão ‘Golden’ minimamente processado.....	28
-----------------	--	----

ARTIGO 1

Tabela 1	Concentração de fécula de inhame e mucilagem de chia nos recobrimentos elaborados para aplicação em mamão ‘Golden’ minimamente processado.....	52
Tabela 2	Autovetores de dois componentes principais (CP1 e CP2) de características de qualidade sensorial de mamões minimamente processados sob recobrimentos comestíveis à base de fécula de inhame isolado ou em combinação com mucilagem de chia e óleo essencial de laranja doce após 4, 8 e 12 dias de armazenamento refrigerado ($5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ e $80 \pm 2\%\text{UR}$)	78

ARTIGO 2

Table 1	Yam starch, chia seed mucilage, and sweet orange essential oil concentrations in edible coatings developed for application in the slices of minimally processed ‘Golden’ papaya.....	118
Table 2	Pairwise correlation among antioxidant compounds (Ascorbic acid - As. Acid, Lycopene, Yellow flavonoid, β -carotene, and Total Extractable Polyphenols-TEP) and antioxidant properties (DPPH $^{\bullet}$ and ABTS $^{\bullet+}$) in fresh-cut ‘Golden’ papaya, edible coated with combinations of yam starch, mucilage of chia, and essential oil of orange and cold-stored under modified atmosphere at $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ and $80 \pm 2\%$ RH for 12 days.....	118
Table 3	Eigenvectors of PC1 and PC2 corresponding to a full-data PCA model for fresh-cut ‘Golden’ papaya edible coated with combinations of yam starch, mucilage of chia, and essential oil of orange and cold-stored under modified atmosphere at $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ and $80 \pm 2\%$ RH for 12 days.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fluxograma de processamento mínimo.....	31
-----------------	---	----

ARTIGO 1

Fig. 1.	Perda de massa de mamões ‘Golden’ minimamente processados mantidos por 12 dias sob refrigeração ($5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ e $80 \pm 2\%\text{UR}$), sob recobrimentos à base de 4% fécula de inhame (4F), 2% de fécula de inhame + 2% mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (2F2MO), 1% de fécula de inhame + 3% de mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (1F3MO), 1% de fécula de inhame + 3% mucilagem de chia (1F3M) e controle – sem recobrimento (C). Médias seguidas pela mesma letra, nas linhas, não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)	57
Fig. 2.	Firmeza (a), sólidos solúveis – SS (b), acidez titulável – AT (c), SS/AT (d), pH (e) e permeabilidade de membrana (A) de mamões ‘Golden’ minimamente processados mantidos por 12 dias sob refrigeração ($5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ e $80 \pm 2\%\text{UR}$), sob recobrimentos à base de 4% fécula de inhame (4F), 2% de fécula de inhame + 2% mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (2F2MO), 1% de fécula de inhame + 3% de mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (1F3MO), 1% de fécula de inhame + 3% mucilagem de chia (1F3M) e testemunha – sem recobrimento (C). Médias seguidas pela mesma letra, nas linhas, não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)	59
Fig. 3.	Notas para aspecto desidratado (a), aspecto esbranquiçado (b), aspecto exsudato (c), aspecto escurecido (d), danos graves (e) e intensidade da cor (A) de mamões ‘Golden’ minimamente processados mantidos por 12 dias sob refrigeração ($5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ e $80 \pm 2\%\text{UR}$), sob recobrimentos à base de 4% fécula de inhame (4F), 2% de fécula de inhame + 2% mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (2F2MO), 1% de fécula de inhame + 3% de mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (1F3MO), 1% de fécula de inhame + 3% mucilagem de chia (1F3M) e testemunha – sem recobrimento (C). Médias seguidas pela mesma letra, nas linhas, não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)	65
Fig. 4.	Notas de aceitação da cor (a), aparência (b), avaliação Global (c) e intenção de compra (d) de mamões ‘Golden’ minimamente processados mantidos por 12 dias sob refrigeração ($5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ e $80 \pm 2\%\text{UR}$), sob recobrimentos à base de 4% fécula de inhame (4F), 2% de fécula de inhame + 2% mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (2F2MO), 1% de fécula de inhame + 3% de mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (1F3MO), 1% de fécula de inhame + 3% mucilagem de chia (1F3M) e testemunha – sem recobrimento (C).....	68

Fig. 5.	Micrografias (MEV) a 5kV dos filmes constituídos de 4% de fécula de inhame (a) e 2% de fécula de inhame + 2% de mucilagem de chia + 0,025% de óleo essencial de laranja doce (b) reveladas por aumentos de 1500×	71
Fig. 6.	Microanálise elementar por espectroscopia dispersiva de raios X – EDS dos filmes constituídos com 4% de fécula de inhame - 4F (a) e 2% de fécula com 2% de mucilagem de chia + 0,025% de óleo essencial de laranja doce - 2F2MO (b) em aumento de 5000×; Difrátogramas de dispersão de raios X - DRX dos filmes 4F (c) e 2F2MO (d) e Espectros de infravermelho com transformada de Fourier – FTIR dos filmes 4F (e) e 2F2MO (f).....	73
Fig. 7.	Agrupamentos e projeções bidimensionais dos autovetores de dois componentes principais (CP1 e CP2) de características de qualidade físico-química e sensorial de mamões minimamente processados sob recobrimentos comestíveis à base de 4% fécula de inhame (4F), 2% de fécula de inhame + 2% mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (2F2MO), 1% de fécula de inhame + 3% de mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (1F3MO), 1% de fécula de inhame + 3% mucilagem de chia (1F3M) e controle – sem recobrimento (C) após 4 (a), 8 (b) e 12 (c) dias de armazenamento refrigerado ($5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ e $80 \pm 2\%\text{UR}$).	79

ARTIGO 2

Figure 1	Ascorbic acid content in fresh-cut ‘Golden’ papaya during storage (a) and under different coatings (b) cold-stored under modified atmosphere at $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ and $80 \pm 2\%\text{RH}$ for 12 days.....	119
Figure 2	Lycopene (a) and β -carotene (b) content in fresh-cut ‘Golden’ papaya edible coated with combinations of yam starch, mucilage of chia, and essential oil of orange and cold-stored under modified atmosphere at $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ and $80 \pm 2\%\text{RH}$ for 12 days.....	119
Figure 3	Yellow flavonoid (a) and Total Extractable Polyphenols - TEP (b) content in fresh-cut ‘Golden’ papaya edible coated with combinations of yam starch, mucilage of chia, and essential oil of orange and cold-stored under modified atmosphere at $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ and $80 \pm 2\%\text{RH}$ for 12 days.....	120
Figure 4	Total antioxidant activity by scavenging the DDPH $^{\bullet}$ free radical (a) and from capturing the ABTS $^{\bullet+}$ radical (b) in fresh-cut ‘Golden’ papaya edible coated with combinations of yam starch, mucilage of chia, and essential oil of orange and cold-stored under modified atmosphere at $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ and $80 \pm 2\%\text{RH}$ for 12 days.....	120

- Figure 5** Biplot (loadings and scores) of PC1 vs. PC2 corresponding to a full-data PCA model for fresh-cut ‘Golden’ papaya edible coated with combinations of yam starch, mucilage of chia, and essential oil of orange and cold-stored under modified atmosphere at $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ and $80 \pm 2\%$ RH for 12 days..... 121
- Figure 6** Hierarchical color map clustering of five edible coatings (4% yam starch - 4S, 2% starch + 2% chia mucilage + essential oil - 2S2MO, 1% starch and 3% chia mucilage - 1S3MO, 1% starch and 3% chia mucilage - 1S3M and control - C) and the relevance of the variables (Ascorbic acid - Asc. Acid, Lycopene, Yellow flavonoid, β -carotene, and Total extractable polyphenols-TEP) and antioxidant properties (DPPH $\bullet$ and ABTS $\bullet^{+}$) in fresh cut ‘Golden’ papaya edible cold-stored with coatings based on yam starch, mucilage of chia and essential oil of orange..... 121

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
	2.1 MAMÃO.....	16
	2.2 PROCESSAMENTO MÍNIMO.....	17
	2.3 RECOBRIMENTOS COMESTÍVEIS.....	19
	2.3.1 Principais matérias-primas.....	20
	2.4 RECOBRIMENTOS EM PRODUTOS MINIMAMENTE PROCESSADOS...	21
	2.5 FÉCULA DE INHAME.....	23
	2.6 MUCILAGEM DE CHIA.....	24
	2.7 ÓLEOS ESSENCIAIS EM RECOBRIMENTOS COMESTÍVEIS.....	26
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
	3.1 MATERIAL.....	27
	3.1.1 Material vegetal.....	27
	3.2 MÉTODOS.....	28
	3.2.1 Delineamento experimental.....	28
	3.2.2 Preparo e aplicação dos recobrimentos.....	28
	<i>Obtenção da fécula de inhame.....</i>	<i>28</i>
	<i>Extração da mucilagem de chia.....</i>	<i>29</i>
	<i>Obtenção das soluções de recobrimento.....</i>	<i>29</i>
	3.2.3 Processamento mínimo.....	30
	3.2.4 Avaliações de qualidade.....	32
	<i>Perda de massa fresca (%).....</i>	<i>32</i>
	<i>Firmeza (N).....</i>	<i>32</i>
	<i>Potencial hidrogeniônico – pH.....</i>	<i>32</i>
	<i>Sólidos solúveis – SS.....</i>	<i>32</i>
	<i>Acidez titulável – AT (g ácido cítrico.100g⁻¹)</i>	<i>32</i>
	<i>Relação SS/AT.....</i>	<i>33</i>
	<i>Permeabilidade de membrana – (%)</i>	<i>33</i>
	3.2.5 Qualidade funcional.....	33
	<i>Ácido ascórbico (mg.100g⁻¹)</i>	<i>33</i>
	<i>Licopeno e β-caroteno (mg.100g⁻¹)</i>	<i>33</i>
	<i>Flavonoides Amarelos (mg.100g⁻¹)</i>	<i>34</i>

<i>Obtenção do extrato para determinação dos polifenóis extraíveis totais e da atividade antioxidante</i>	34
<i>Polifenóis Extraíveis Totais – PET (mg.100g⁻¹)</i>	34
<i>Atividade Antioxidante Total – AAT (g de polpa. g DPPH⁻¹).....</i>	34
<i>Atividade Antioxidante Total – AAT (μM de Trolox. g de polpa⁻¹)</i>	35
3.2.6 Análise sensorial.....	35
3.2.7 Caracterização dos filmes.....	36
<i>Preparo dos filmes.....</i>	36
<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia Dispersiva de raios X (EDS).....</i>	36
<i>Difração de raios X (DRX) – Para determinar o grau de cristalinidade</i>	37
<i>Espectroscopia na Região de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....</i>	37
3.2.8 Análises estatísticas.....	37
REFERÊNCIAS.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
<i>ARTIGO 1.....</i>	49
<i>ARTIGO 2.....</i>	89
5 CONCLUSÕES.....	125
APÊNDICE.....	126

1 INTRODUÇÃO

O mamão figura entre as dez frutas nacionais de maior presença no mercado internacional, culturas que movimentam a economia, geram emprego e renda, e impulsionam o desenvolvimento regional (REETZ et al., 2015). O fruto do mamoeiro se valoriza pela polpa delicada e saborosa, cuja textura, cor, baixa acidez e bom equilíbrio entre açúcares e ácidos orgânicos, aliados ao sabor e aroma além das propriedades digestivas tornam esta fruta um alimento adequado e saudável para pessoas de todas as idades e justificam o fato de que trata-se de uma das mais importantes culturas de frutas tropicais do mundo apesar de apresentarem vida útil pós-colheita curta (VIANA et al., 2015; WAGHMARE; ANNAPURE, 2013).

O consumo fresco de mamão, no entanto, é limitado pela necessidade de maior tempo para descasque e corte além de embalagem adequada, para contê-lo e consumi-lo, portanto, pode ser ampliado com pedaços adequadamente cortados embalados prontos para o consumo nas mais diferentes ocasiões e que facilitem sua utilização nos mais diferentes serviços de alimentação (KUWAR, et al., 2015; TRIGO et al., 2012; CHIEN et al., 2013).

Os produtos minimamente processados (PMP) podem ser definidos como qualquer fruto ou hortaliça, ou combinação destas, que tenha sido fisicamente alterada, mas permanece em seu estado fresco (CENCI, 2011). O mercado de PMP tem crescido significativamente nos últimos anos em virtude da conveniência que oferecem, aliada a um menor desperdício de alimentos e ao maior interesse dos consumidores por alimentos mais saudáveis (PATRIGNANI et al., 2015).

Rojas-Grau et al. (2009) apontam como questão de maior interesse para todos os envolvidos na produção e distribuição de PMP a busca de tecnologias que visam retardar os efeitos negativos a que estão sujeitos esses produtos, tais como, aumento da perecibilidade, aceleração processos de senescência, crescimento microbiano, mudanças de cor e textura, entre outras, que são responsáveis pela perda da qualidade desses produtos (CORTEZ-VEGA et al., 2014).

O uso de recobrimentos comestíveis é uma das alternativas para o aumento da vida pós-corte de PMP pois, pelo seu caráter natural e não tóxico, se adequam perfeitamente. Segundo Assis, Britto e Forato (2009), no controle da qualidade de PMP, essa tecnologia emergente tem sido fundamental na manutenção da aparência e qualidade nutricional.

Recobrimentos comestíveis podem ser elaborados a partir de matérias-primas de diferentes composições (proteínas, lipídeos e hidrocolóides/ polissacarídeos), ou ainda, de combinações entre compostos distintos, de modo que a escolha dessas matérias-primas e suas

concentrações deve levar em conta as características específicas de amadurecimento de cada espécie, bem como a permeabilidade dos gases da matriz, a fim de que se desenvolva o recobrimento que melhor favoreça a extensão da vida de prateleira do fruto (LUVIELMO; LAMAS, 2012).

Diversos estudos tem investigado o uso de amido como base para a formulação de películas comestíveis, pelas suas propriedades de formar películas transparentes, translúcidas, inodoras e insípidas (SKURTYS et al., 2010). As principais fontes deste polissacarídeo são milho, batata, arroz, trigo e mandioca. Contudo, muitas outras fontes de amido são promissoras para extração desse polissacarídeo, as quais ainda são subutilizadas para este fim, a exemplo do inhame (*Dioscorea* spp.) que apresenta teor médio de amilose, fração do amido importante para elaboração de filmes, superior à das principais fontes (MALI et al., 2010).

Entre os hidrocolóides com potencial para elaboração de recobrimentos comestíveis, além de inúmeras outras aplicações de interesse para a indústria de alimentos, encontram-se as mucilagens (ALIKHANI, 2014). De acordo com Dell-Valle et al. (2005), mucilagens são carboidratos complexos, com grande capacidade em reter água, formando coloides viscosos ou gelatinosos. Uma excelente fonte de mucilagem é a semente de chia (*Salvia hispânica*), considerada como alimento funcional, rico em ácidos graxos poli-insaturados e alto teor de fibras e até mesmo atividade antioxidante (CAPITANI et al., 2015; MUÑOZ et al., 2012a; MUÑOZ et al., 2012b;).

Estudos envolvendo amido de inhame, mucilagem de chia e óleos essenciais, como o de laranja doce, na elaboração de filmes comestíveis são escassos e incipientes em relação aquelas referentes a outros materiais explorados a mais tempo, sugerindo novas possibilidades de exploração desses materiais.

Dada a crescente a busca por novos biomateriais que possam substituir moléculas sintéticas utilizadas nas formulação de emulsões para consumo humano, os recobrimentos, comestíveis podem contribuir para estender a vida pós-corte de PMP, reduzindo a perda de umidade, migração de solutos, trocas gasosa, taxa respiratória e reações oxidativas, proporcionando a redução ou mesmo a supressão de distúrbios fisiológicos (AVILA-DE LA ROSA et al., 2015; ROJAS-GRAU et al., 2009).

A literatura especializada apresenta trabalhos com mamão inteiro ou na forma minimamente processada sob recobrimentos com agentes gelificantes como fécula de mandioca, alginato, gelana, amido de arroz e goma xantana (PEREIRA et al., 2006; TAPIA-TUSSELL et al., 2008; BESINELA JUNIOR et al., 2010; TRIGO et al., 2012; CORTEZ-VEGA et al., 2013), agentes espessantes, como carboximetilcelulose (BESINELA JUNIOR et

al., 2010; TRIGO et al., 2012), agente antimicrobiano, a exemplo da quitosana (BESINELA JUNIOR et al., 2010; BRASIL et al., 2012; AYÓN-REYNA et al., 2015) também com isolado proteico do peixe *Micropogonias furnieri* (CORTEZ-VEGA, et al., 2014) e ainda com gel de *Aloe vera* e mel (KUWAR et al., 2015).

Considerando que os recobrimentos comestíveis obtidos de polímeros naturais, são atóxicos e biodegradáveis, se apresentado como uma alternativa tecnológica sustentável na conservação para frutas e hortaliças minimamente processadas, objetivou-se com esta pesquisa encontrar a formulação de recobrimento, a partir de fécula de inhame combinada ou não com mucilagem de chia e óleo essencial de laranja doce, que proporcione o maior aumento da vida pós-corte e a preservação dos atributos de qualidade nutricional e sensorial de mamão minimamente processado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MAMÃO

O fruto do mamoeiro, o mamão, pertence à espécie *Carica papaya* L. que dentre as espécies do gênero *Carica*, é a mais cultivada no mundo. O mamoeiro é uma planta tipicamente tropical de provável centro de origem na América do Sul – vertente oriental dos Andes, ou mais precisamente a Bacia Amazônica Superior, local onde é máxima a sua diversidade genética (DANTAS; LIMA, 2001; OLIVEIRA et al. 1994).

De acordo com a estimativa global de produção de mamão de 2013, o continente asiático detêm 47,3% devido à produção mundial de mamão o que se dá devido, em grande parte, devido a produção de 5.544.000,00 t. da Índia, maior produtor. (FAOSTAT, 2015).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de mamão, com produção anual de 1.582.638,00 toneladas em 2013 (FAOSTAT, 2015). O cultivo deste fruto gera ao país renda de 1,2 bilhão, com estabilidade, apesar de ter ocorrido uma leve diminuição nos números oficiais de área destinada à colheita no ano de 2013, em relação ao ano de 2012 (REETZ et al., 2015). Em 2012, a região Nordeste contribuiu com 60 ,44 % da produção de mamão do país colhendo 917.380 toneladas, ocupando o 1º lugar no ranking nacional e a Paraíba ocupou o 6º lugar no ranking tendo colhido 43.831 toneladas de mamão e uma produtividade de 43,96 toneladas por hectare estando abaixo da média nacional que é de 48,47 tonelada (IBGE, 2014).

Apesar da importância da cultura do mamão para a fruticultura nacional, basicamente toda a produção, 80% dos pomares comerciais, se concentra no cultivo de três ou quatro cultivares, sendo estas pertencentes ao grupo Solo, a exemplo dos mamões ‘Golden’ e ‘Sunrise Solo’ comercialmente conhecidas como mamão papaya ou Havaí (LUZ et al., 2015).

Udomkun et al. (2015) destacam a elevada procura por mamão nos mercados internacionais e o aumento nas importações desse fruto que têm movimentado cerca 243 milhões de dólares, mas atentam para o fato de que a cultura é sujeita à perdas pós-colheita, em toda sua cadeia produtiva, devido à rápida deterioração dos componentes deste fruto climatérico de curta vida útil. Ainda assim, é considerada uma das fruteiras mais cultivadas e consumidas nas regiões tropicais e subtropicais do mundo, com frutos do mamoeiro que são excelentes fontes de cálcio, pró-vitamina A e vitamina C (ácido ascórbico), por isso são amplamente utilizados em dietas alimentares (SERRANO; CATTANEO, 2010).

De acordo com Durigan e Durigan (2011), as características de suculência, aroma e sabor da polpa do mamão garantem a boa aceitação pelos consumidores os quais, geralmente,

consomem a fruta em sua forma fresca, algo que, de certo modo, é inconveniente pois requer descasque delicado e remoção de sementes além de manuseio adequado para embalar o fruto e consumi-lo. Esta inconveniência é também relatada por Brunini e Silva (2009) que apontam para o processamento mínimo como uma forma de oferta prática e conveniente para os consumidores e de agregação de valor para a fruta.

2.2 PROCESSAMENTO MÍNIMO

De acordo com a International Fresh-Cut Association (Associação Internacional de Minimamente Processados), frutas e hortaliças minimamente processadas são definidos como qualquer fruto ou hortaliça, ou até mesmo qualquer combinação destas, que tenha sido alteradas fisicamente a partir de sua forma original, mas permanece em um estado fresco (IFPA, 2002).

A demanda por alimentos minimamente processados vem aumentando consideravelmente nas últimas décadas principalmente em virtude do interesse em alimentos frescos e práticos, requeridos devido às tendências sociais modernas, às famílias unipessoais, e do interesse em investir em produtos de qualidade que podem perfeitamente constituir uma refeição completa ou parte significativa de uma (WANI et al., 2015). Dessa forma, frutos e hortaliças minimamente processadas são consideradas alternativas às opções de *fast-food* e mercado institucional demais produtos prontos-para-o-consumo ultraprocessados, além de permitirem melhor utilização das matérias-primas e aumentar o seu valor agregado (CHIUMARELLI et al., 2010).

As vantagens práticas dos produtos minimamente processados aliadas ao crescente interesse dos consumidores por alimentos saudáveis e bem-estar, torna este mercado atualmente o subsetor de crescimento mais rápido na indústria de alimentos, e que tem ainda um elevado potencial de crescimento em todo o mundo (ALARCÓN-FLORES et al., 2014).

No Brasil, Sato et al. (2007) constataram que o perfil do consumidor de minimamente processados da cidade de São Paulo – SP era composto em maioria por pessoas do sexo feminino, de idade superior a 36 anos com 1 a 3 filhos, que preferem os legumes e verduras às frutas nesta forma de comercialização. Este grupo de consumidores adquire tais produtos em supermercados, são desestimuladas a comprar devido aos preços elevados e é estimulado a comprar pela praticidade.

Em Belo Horizonte - MG, Perez et al. (2008) entrevistaram 246 pessoas, das quais apenas 23% consumiam minimamente processados, citando como principais motivos para consumo, a comodidade e praticidade (46%) e o pouco tempo para o preparo (21%) e para não

consumir, o preço elevado (31,9%), a preferência por preparar e/ou escolher (23%) e a desconfiança (17,8%) dos produtos ofertados. Entretanto, os maiores consumidores possuíam maior escolaridade e nível de renda mais elevado.

Em Brasília – DF, Almeida (2013) verificou entre 400 pessoas entrevistadas que 66% se dispunham a pagar mais por hortaliças minimamente processadas. A maioria destes consumidores pertence ao gênero feminino motivadas para a compra principalmente pela qualidade e comodidade. O mesmo autor registrou também o reconhecimento, por parte dos gerentes de venda do setor, do avanço nas vendas desses produtos e das exigências dos consumidores o que é motivação para implementação de ferramentas de garantia de qualidade, aumentando a confiança do consumidor na empresa e a credibilidade nos produtos.

Segundo Baseline et al. (2014), o mercado de frutos e hortaliças minimamente processadas representou, no ano de 2010, 1% de toda comercialização de frutas no continente Europeu, onde as saladas embaladas lideram às vendas e os consumidores consideram a embalagem um atributo de prioridade para a escolha além de apreciaram novas tecnologias empregadas na conservação desses produtos valorizando meios de conservação naturais.

As operações que constituem o processamento mínimo de frutos e hortaliças, como remoção de cascas e fracionamento tornam os produtos muito mais perecíveis, do que se mantidos intactos, uma vez que os tecidos vivos são expostos à deterioração enzimática, a exemplo das respostas metabólicas ao fermento como escurecimento enzimático, desenvolvimento de *off-flavors* e alterações de firmeza, além do favorecimento de condições para o desenvolvimento de microrganismos (SHIPAI et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2011; CENCI, 2011). Adicionalmente, Ramos et al. (2013) mencionam como fatores de diminuição da vida pós-corte dos produtos minimamente processados, em especial nos frutos climatéricos, o aumento da atividade respiratória bem como da produção de etileno.

A fim de melhorar os atributos de qualidade e segurança dos produtos minimamente processados, pesquisadores das áreas de microbiologia, química e engenharia de alimentos tem trabalhado no fornecimento de novas soluções que resultam de um amplo conjunto de métodos / tecnologias, sobre as quais deve-se investigar as impressões e preferências dos consumidores (BASELICE et al., 2014).

Frutas e hortaliças frescas ou embalados, fracionados, refrigerados ou congelados, após serem submetidos a processos de limpeza, remoção de partes não comestíveis ou indesejáveis e fracionamento, são exemplos de alimentos minimamente processados, segundo o Guia Alimentar Para a População Brasileira (BRASIL, 2014), publicado pelo Ministério da Saúde com objetivo de promover uma alimentação adequada e saudável e consequente melhoria da

saúde da população e que enfatiza, em todo o seu texto, a importância do consumo de minimamente processados para uma alimentação saudável.

De acordo com Cortez-Vega et al. (2014), o mamão é muito apreciado sob a forma minimamente processada. Entretanto, Chien et al. (2013) apontam que a alta perecibilidade deste produto confere ao mesmo vida útil em torno de 2 dias quando se observa polpa muito amolecida e surgem odores desagradáveis. Além disso, a perda de água é determinante na diminuição da qualidade deste produto de polpa muito vulnerável à desidratação, descoloração e crescimento microbiano (CHIEN et al., 2013).

2.3 RECOBRIMENTOS COMESTÍVEIS

Os recobrimentos ou coberturas comestíveis são uma das mais recentes alternativas para auxiliar na conservação de alimentos. O interesse no desenvolvimento de coberturas comestíveis ou degradáveis biologicamente tem crescido principalmente por satisfazerem preocupações ambientais e responderem à demanda dos consumidores por alimentos de alta qualidade (ARNON et al., 2015; FAKHOURI et al., 2007).

O caráter renovável e biodegradável dos filmes e coberturas comestíveis os fazem particularmente adequados a aplicações em alimentos (TAVASSOLI-KAFRANI et al., 2016). Sua aplicação como películas comestíveis em alimentos representa uma nova abordagem para resolver os problemas decorrentes do efeito deletério exercido pelo oxigênio sobre os alimentos, uma vez que estes são capazes de reduzir trocas gasosas superficiais, bem como, a perda ou ganho excessivo de água, contribuindo com a manutenção de atributos de qualidade como a textura (BONILLA et al. 2012; ASSIS; BRITTO, 2014; ORIANI et al., 2014).

A tecnologia de polímeros comestíveis ajuda a indústrias de alimentos a tornar seus produtos mais atraentes e seguros (SHIT; SHAH, 2014). Além disso, podem inserir nas matrizes ingredientes ou coadjuvantes de tecnologia alimentícios como: antioxidantes, antimicrobianos e flavorizantes, e/ou melhorar a integridade mecânica ou as características de manuseio do alimento (TAVASSOLI-KAFRANI et al., 2016; FAKHOURI et al., 2007).

Em relação à nomenclatura, a maioria dos pesquisadores usam os termos “filme” e “cobertura” indiscriminadamente. No entanto, cobertura consiste de uma fina camada de material aplicado e formado diretamente na superfície do produto, enquanto que filme é pré-formado separadamente e aplicado posteriormente sobre o produto (AZEREDO, 2003).

Dhanapal et al. (2012) acrescentam que as coberturas comestíveis podem melhorar a propriedades organolépticas dos alimentos embalados desde que contenham vários

componentes (aromas, corantes, adoçantes), tanto que seu uso, com base em polímeros naturais e aditivos de grau alimentar tem crescido de forma constante na indústria de alimentos.

Em virtude de no Brasil não haver legislação específica para recobrimentos comestíveis, estes são considerados como ingredientes, quando são utilizados agregando valor nutricional ao produto que recobrem, e como aditivos, quando não acrescentam valor nutricional aos frutos (LUVIELMO; LAMAS, 2012). Nesse caso, devem obedecer ao Decreto 55.871, de 26 de março de 1965 (BRASIL, 1965); à Portaria nº 540 – SVS/MS, de 27 de outubro de 1997 (BRASIL, 1997) e à Resolução CNS/MS nº 04, de 24 novembro 1988 (BRASIL, 1988), referentes ao regulamento sobre aditivos e coadjuvante de tecnologia e também às considerações do Codex Alimentarius, do Food and Drugs Administration (FDA) e todas suas atualizações pertinentes.

2.3.1 Principais matérias-primas

Polissacarídeos, ceras (lipídios) e proteínas são as classes de materiais mais empregados na elaboração de coberturas comestíveis, e a escolha entre esses componentes dependerá das características do produto a ser recoberto e do principal objetivo almejado com o recobrimento aplicado (ASSIS; BRITTO, 2014). As matérias-primas podem ter origem animal ou vegetal, ou formarem um composto com a combinação de ambas.

As ceras naturais e os monoglicerídeos acetilados estão entre as substâncias lipídicas mais empregadas e são consideradas às matérias-primas lipídicas mais eficientes para frutas não somente por reduzir a perda de água, a taxa respiratória e a atividade metabólica, mas também por proporcionar brilho e retardar o enrugamento (NAYIK, et al., 2015; LUVIELMO; LAMAS, 2012). A cera de carnaúba, uma palmeira brasileira, tem sido usada como recobrimento em frutas e hortaliças alcançando bons resultados (BLUM et al., 2008).

As proteínas mais exploradas para elaboração de coberturas comestíveis pertencem à classe das zeínas, proteínas de reserva do milho. Podem ser citadas também a gelatina, o colágeno o glúten e até as proteínas do soro do leite (GALUS; KADZINSKA, 2015; LUVIELMO; LAMAS, 2012). Proteínas por si só formam filmes frágeis e com baixa flexibilidade, tornando-se quebradiços principalmente com alterações de umidade e temperatura, por isso, há quase sempre a necessidade da adição de plastificantes como os poli álcoois (glicerol, propileno glicol) e ácidos graxos insaturados ou saturados (ácidos caprílico, palmítico esteárico, etc.) para elevar a plasticidade, gerando um material com maior alongamento e flexibilidade (ASSIS et al., 2009).

Quanto aos hidrocolóides, Dhanapal et al. (2012) apontam que, hoje em dia, são amplamente usados como base de solução formadora de película para dar e controlar a textura, sabor e prazo de validade dos alimentos. Capitani et al. (2015) definem hidrocolóides como polímeros de alto peso molecular que tem uma grande afinidade com a água, onde se dispersam formar soluções coloidais de grande viscosidade.

São exemplos de hidrocolóides os polissacarídeos extraídos de plantas (celulose, pectinas, amido), sementes (goma guar, goma de alfarroba, goma de tara), algas (ágar, carragena, alginato) e fontes microbianas (goma xantana, goma gelana), bem como de gomas exsudadas de planta gomas (goma arábica, goma karaya, goma adragante) (CAPITANI, et al. 2015; SKURTYS et al., 2010; GUILBERT et al., 1995).

Entre os hidrocolóides, o amido, em particular, tem sido usado para produzir películas biodegradáveis para substituir parcialmente ou totalmente polímeros plásticos devido ao seu baixo custo, disponibilidade e capacidade renovável (biodegradável), além de apresentar boas propriedades mecânicas (NAYÍK, et al., 2015).

O amido o principal carboidrato de reserva em raízes e tubérculos e no endosperma de sementes onde está presente na forma de grânulos constituídos, cada um, de vários milhões de moléculas de amilopectina e amilose (SKURTYS et al., 2010). É a amilose a responsável pela capacidade de formação de película do amido (DHANAPAL et al., 2012) e por isso, a aplicação de amido na produção de filmes deve se basear nas propriedades químicas, físicas e funcionais da amilose para formação de géis e na capacidade de formar filmes que podem variar em função da fonte de amido utilizada (MALI et al., 2010).

Filmes baseados em amido são transparentes ou translúcidos, insípidos e incolores. No entanto, podem ter suas propriedades alteradas em funções de mudanças na umidade relativa do ambiente, uma vez que são de caráter hidrofílico (NAYIK et al., 2015).

2.4 RECOBRIMENTOS EM PRODUTOS MINIMAMENTE PROCESSADOS

Frutos minimamente processadas são um dos seguimentos de mercado que mais têm crescido. Contudo, a grande dificuldade da comercialização destes produtos e deve a limitada vida pós corte que se encerra quando, por exemplo, há perda de água excessiva e escurecimento da superfície dos cortes (ROBLES-SANCHEZ, et al., 2013; XIAO et al., 2010). De acordo com Brasil et al. (2012), o processamento mínimo altera a integridade dos frutos e induz danos na superfície que aumenta a taxa de respiração dos tecidos e alterações bioquímicas prejudiciais, como o desenvolvimento de sabores e textura indesejáveis. Além disso, a contaminação

microbiana da polpa pode ocorrer devido a maior exposição da superfície e liberação dos conteúdos celulares, aumentando a deterioração de frutos.

Para preservar os produtos frescos dos efeitos do metabolismo acelerado, diversas tecnologias de conservação podem ser empregadas como a embalagem sob atmosfera modificada, obtida pelo uso de recobrimentos comestíveis e que tem sido bastante usada em frutos e hortaliças minimamente processadas. (SANDHYA, 2010).

Recobrimentos comestíveis tem ganhado importância como uma alternativa para reduzir a deterioração de frutos minimamente processados, assim como para frutos inteiros, pois formam uma barreira semipermeável capaz de estender a vida útil por reduzir a migração de solutos, a troca de gases, a respiração e as reações oxidativas (ROBLES-SANCHES et al., 2013).

Chiu e Lai (2010) alertam para o fato de que como o processamento mínimo envolve etapas de preparação em que há muito manuseio dos produtos (descascamento, corte e retalhamento, por exemplo) podendo ocorrer aumento na contaminação por microrganismos que podem ser combatidos quando agentes anti-microbianos forem incorporados aos recobrimentos comestíveis. Botrel et al. (2007) constataram em alho minimamente processado tratado com revestimento comestível antimicrobianos a base de quitosana que, em até 15 dias de estocagem a 10 °C, a contagem de fungos não ultrapassou 105 UFC.g⁻¹.

Recobrimento à base de fécula de mandioca aplicado em abacaxis minimamente processados colaborou com a redução da taxa respiração, da perda de massa e da perda de suco (BEIERHALS et al., 2011). Queiroz et al. (2010), observaram eficiência de recobrimento à base de fécula de mandioca em minimilho minimamente processado armazenado a 5 °C.

Em mamões do tipo ‘Formosa’ minimamente processados recobertos com películas à base de goma xantana, aplicada isoladamente ou em combinações com quitosana e goma guar, foi observada melhoria na conservação, em relação ao controle e também que a adição de quitosana influenciou benéficamente na redução da perda de massa, manutenção da luminosidade e menor redução nos parâmetros a^* e b^* . Entretanto, não foi observado efeito antimicrobiano (CORTEZ-VEGA et al., 2013).

Recobrimentos à base de quitosana aplicados em mamões ‘Tainung No. 2’ fatiados e armazenados à 4 °C foram eficientes em prolongar a vida pós-corte e manter a qualidade dos produtos ao influenciar nos atributos de cor, sólidos solúveis, perda de umidade e crescimento de microrganismos (CHIEN et al., 2013).

Em mangas ‘Kent’ minimamente processadas foi observado manutenção da cor e incremento da atividade antioxidante quando aplicado recobrimento da base de alginato combinado a agentes anti-escurecimento (ROBLES-SANCHES et al., 2013).

2.5 FÉCULA DE INHAME

O inhame (*Dioscorea sp.*) é uma planta herbácea do gênero *Dioscorea* com hábito de crescimento anual ou perene, propagada por meio da fragmentação de tubérculos, produtora de rizóforos alimentícios. No Brasil, especialmente nos estados da Paraíba e Pernambuco, as espécies mais difundidas são *D. alata*, *D. caynensis* e *D. rotundata*, direcionadas ao consumo após cocção, principalmente devido à falta de processos de industrialização, que se dá pelo alto nível de mucilagem que dificulta a liberação do amido do tecido vegetal e à falta de popularização das suas qualidades nutricionais (DANTAS et al., 2013; REIS et al., 2010; LIPROACCI et al., 2005)

O inhame é apontado como uma fonte promissora para extração de amido para fins comerciais devido ao fato de conter teor médio de amilose mais elevado que aqueles das principais fontes exploradas com destinação comercial, como o milho a batata, o arroz, o trigo e a mandioca (MALI et al., 2010). Reis et al. (2010) complementam com o argumento de que o potencial para produção de fécula que o inhame possui se dá também em função do rendimento agrícola da cultura.

Zhu (2015) e Kouamé et al. (2011) destacam a importância do inhame enquanto alimento básico e cultura de importância econômica em regiões tropicais e subtropicais do mundo e fazem observações quanto à baixa exploração desses tubérculos como fonte de amido mesmo já sendo conhecido o seu teor de carboidrato com potencial para agente espessante e geleificante.

De acordo com Gutiérrez et al. (2014), entre as numerosas culturas com órgãos de armazenamento amiláceos, contendo quase 30% de amido, a mandioca destaca-se sendo explorada comercialmente para a produção de amido no Brasil, Tailândia e China. No entanto, a maioria das fontes de amido, a exemplo do inhame, ainda não foi explorada apesar das suas propriedades funcionais e nutricionais.

Estudos referentes a extração de amido a partir de inhame (REIS et al., 2010; LIPORACCI et al., 2005; CEREDA et al., 2003) bem como da caracterização e composição físico-química deste amido (OTEGBAYO et al., 2014; MALI et al., 2002; 2004; 2005) além do potencial para o desenvolvimento de géis e filmes na forma nativa (GUTIÉRREZ et al., 2015a;

2015b; KOUAMÉ et al., 2011) e após modificação do amido (PEREZ et al., 2012), em geral, verificam o potencial promissor devido às boas propriedades da fécula de inhame e indicam diversas possibilidades de aplicação deste material, entre elas a elaboração de filmes comestíveis.

Trabalhos com aplicação de filmes à base de fécula de inhame na pós-colheita de frutas hortaliças são escassos, tendo sido encontrados poucas publicações nesse contexto na presente revisão de literatura. Entre os artigos científicos que explorassem a aplicação de coberturas comestíveis de fécula de inhame em vegetais frescos, encontram-se o de Mali e Grossmann (2003) e o de Durango et al. (2006).

Mali e Grossmann (2003) testaram filmes elaborados à 4% de fécula de inhame com diferentes proporções de glicerol sobre a qualidade de morangos frescos durante 30 dias a 4 °C e 85% UR. Os filmes foram testados envoltos (selados) em bandejas de polipropileno contendo 10 frutos, em comparação com filme de policloreto de vinila (PVC) aplicado da mesma maneira. Os autores concluíram com base nas análises globais, que os filmes seriam viáveis na retenção da qualidade dos frutos.

Durango et al. (2006) analisaram os efeitos sobre o desenvolvimento de microrganismos em cenouras minimamente processadas sob recobrimentos comestíveis à base de 4% de fécula de inhame e 2% de glicerol com e sem adição de quitosana a 1,5% e constataram eficiência antimicrobiana do tratamento que continha quitosana.

2.6 MUCILAGEM DE CHIA

Atualmente, a semente de chia (*Salvia hispanica* L.) é tida como uma fonte potencial de nutrientes para a indústria alimentícia e de ração animal. Devido às suas propriedades funcionais e popularidade, a produção mundial de chia tem crescido e sua utilização tem-se dado na fabricação de barras de cereais e bolos em locais como Estados Unidos e Austrália, além de países da América Latina (MUÑOZ et al., 2012a).

Velásquez-Gutiérrez et al. (2015), apresentam a semente de chia como uma importante matéria-prima para a obtenção de alimentos funcionais e mencionam que vários aspectos da semente têm sido alvo de estudos na ciência e tecnologia de alimentos.

Salgado-Cruz et al. (2013) destacam que o teor de fibras dietéticas solúveis confere às sementes de chia propriedades de utilidade para a indústria de alimentos por originar um gel mucilaginoso, com elevada capacidade de retenção de água e viscosidade, que pode substituir

agentes estabilizante, emulsionante, adesivo ou de ligação (VÁZQUEZ-OVANDO et al., 2009).

A semente de chia pode ser considerada um alimento funcional por ser fonte de importantes nutrientes como ácidos graxos poli-insaturados, a exemplo o ômega-3, fibras solúveis e insolúveis, bem como proteínas e alta atividade antioxidantes naturais tendo sido comprovada sua influência em aumento de saciedade, na prevenção de doenças cardiovasculares e inflamatórias e até mesmo diabetes (MUÑOZ et al., 2013; VÁZQUEZ-OVANDO et al., 2009; REYES-CAUDILLO et al., 2008).

Quando hidratada, a semente de chia secreta mucilagem que a envolve como um halo transparente (CAPITANI et al., 2015). A mucilagem de semente de chia está localizada em estruturas celulares nas três primeiras camadas do revestimento da semente e, uma vez hidratados, as fibras de mucilagem tornam-se transparentes e assumem uma conformação de cápsula transparente anexada à semente (MUÑOZ et al. 2012a).

A estrutura da mucilagem de chia foi descrita por Lin et al. (1994) como sendo um tetrassacarídeo de cadeia principal constituída por unidades de $(1 \rightarrow 4)\text{-}\beta\text{-D-xilopiranosil-(1} \rightarrow 4)\text{-}\alpha\text{-D-glucopranosil-(1} \rightarrow 4)\text{-}\beta\text{-D-xilopiranosil}$ com ramificações de ácido 4-O-methyl- $\alpha\text{-D-glucopiranosidurônico}$ na posição O-2 do $\beta\text{-D-xilopiranosil}$ na cadeia principal. Os carboidratos que compõe a mucilagem de chia possuem alta solubilidade (AVILA-DE LA ROSA et al., 2015). A produção de mucilagens hidrofílicas pelo revestimento da semente ou pericarpo, liberadas após contato das sementes com água, trata-se de uma adaptação comum em angiospermas (WESTERN, 2012).

Com a crescente busca por novos biomateriais que possam substituir moléculas sintéticas utilizadas nas formulação de emulsões, a mucilagem obtida da semente de chia pode ser uma nova fonte de polissacarídeos com potencial de gerar diferentes polímeros combinados para produção de filmes e recobrimentos com propriedades melhoradas (AVILA-DE LA ROSA et al., 2015; MUÑOZ et al. 2012b).

Informações à respeito de filmes comestíveis elaborados com mucilagem de chia parcial ou integralmente são incipientes, tendo sido publicados até aqui os trabalhos de Dick et al. (2015), com a utilização de mucilagem de chia como componente majoritário de diferentes formulações de película nas quais o hidrocolóide (a 1%) foi combinado com diferentes concentrações do plastificante glicerol, e Muñoz et al. (2012b) combinaram a mucilagem de chia ao concentrado proteico de soro de leite em diferentes proporções que totalizavam 1,6% de sólidos. Não há trabalhos publicados, ainda, de experimentos sobre a aplicação em alimentos de filmes contendo mucilagem de chia.

2.7 ÓLEOS ESSENCIAIS EM RECOBRIMENTOS COMESTÍVEIS

Óleos essenciais podem ser definidos como líquidos aromáticos, que constituem-se em misturas complexas de compostos voláteis de forte impacto sensorial, extraídos de materiais vegetais, nos quais são produzidos em consequência do metabolismo secundário e que podem ser sintetizados em qualquer órgão da planta, como folhas, flores, sementes, caules ou cascas (ACEVEDO-FANI, 2015; PATRIGNANI et al., 2015).

Esses óleos aromáticos tem recebido cada vez mais atenção da comunidade científica e da indústria alimentícia por estarem associados a possíveis atividades antimicrobianas contra diversos microrganismos (ALBERTINI et al., 2016; REYS-JURADO et al., 2015).

O emprego de óleos essenciais em filmes comestíveis têm sido proposto como alternativa de incremento da atividade antimicrobiana destas películas, quando aplicadas aos alimentos, para manter a qualidade e a segurança dos produtos alimentares (ROJAS-GRAU et al., 2009).

A adição de óleos essenciais em matrizes de filmes comestíveis se faz adequada, uma vez que, a grande maioria das películas comestíveis permite veicular compostos ativos, tais como agentes antimicrobianos, antiescurecimento, antioxidantes e intensificadores de textura, entre outros (GUERREIRO et al., 2015; QUIRÓS-SAUCEDA et al., 2014; ROJAS-GRAU et al., 2009).

No caso de frutas e hortaliças minimamente processadas, que devido ao processamento tornam-se ainda mais expostos e suscetíveis a deterioração microbiana, a aplicação de recobrimentos comestíveis adicionados de óleo essencial torna-se uma alternativa de conservação promissora e condizente com o conceito no qual se inserem os produtos minimamente processados, de produto saudável, natural e sem aditivos químicos sintéticos.

Produtos minimamente processados recobertos com películas comestíveis de diferentes bases contendo óleos essenciais (OEs), a exemplo: maçãs recobertas com filme de alginato de sódio acrescido de OE de capim-limão (SALVIA-TRUJILLO et al., 2015) e películas à base de fécula e mandioca e OEs de canela e erva-doce (ORIANI et al., 2014); manga com recobrimentos à base de mucilagem e OE de alecrim (ALIKHANI, 2014); abacaxi sob recobrimentos de alginato e óleo essencial de capim-limão (AZARAKHSH et al., 2014) e mamões sob recobrimentos à base de quitosana e pectina com adição de OE de canela (BRASIL et al., 2012) tem sido explorados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

3.1.1 Material vegetal

Os frutos foram colhidos manualmente, na Fazenda Santa Terezinha, empresa Frutas Doce Mel, localizada no município de Mamanguape-PB, Mesorregião da Mata Paraibana, com altitude de 35m, situada entre as coordenadas geográficas 06° 50' 19'' S de latitude e 35° 07' 34'' W de longitude, no estágio de maturidade 1 (10% da cor da casca amarela), ausência de danos físicos ou fisiológicos e de doenças. Após a colheita, os frutos foram levados ao *packing house*, lavados com água clorada (100 mg.L⁻¹ de cloro livre) em tanque de lavagem, em seguida, selecionados manualmente por maturidade e presença de danos, sendo acondicionados em caixas plásticas forradas com plástico bolha e transportados ao Laboratório de Biologia e Tecnologia Pós-Colheita - LBTPC do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB).

No laboratório os frutos foram selecionados e limpos com borrifadas de solução de hipoclorito de sódio a 100 mg.L⁻¹ e colocados em bancadas para secar ao ar (24±2 °C e 75±4% U.R). Sendo mantidos nesta condição durante 24 horas até que atingirem o estágio 3 de maturação (coloração amarela em 26 a 40% da casca). Antes do processamento mínimo, os frutos foram pré-resfriados, em câmara fria (12±1 °C e 80±2% U.R) para redução do metabolismo e temperatura da polpa.

Inhames (*Dioscorea* spp.), selecionados quanto à uniformidade de maturação, ausência de danos e doenças, foram adquiridos na Empresa Paraibana de Abastecimento - EMPASA de Campina Grande – PB e em seguida transportados ao Laboratório de Biologia e Tecnologia Pós-Colheita do CCA/UFPB.

Sementes de chia integrais (Vitalin Integral – Vitalin Alimentos) foram adquiridas no comércio local de Areia – PB e levadas ao Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita.

O óleo essencial de laranja doce foi obtido do fabricante Ferquima Ind. e Com. Ltd.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5×7 , sendo 5 tratamentos (4F- 4% de fécula de inhame; 2F2MO - 2% de fécula + 2% de mucilagem + 0,025% de óleo essencial de laranja doce; 1F3MO - 1% de fécula + 3% de mucilagem + 0,025% de óleo essencial de laranja doce; 1F3M - 1% de fécula + 3% de mucilagem e C – frutos sem recobrimento) e 7 períodos de avaliação (0, 2, 4, 6, 8, 10 e 12 dias). Para a perda de massa foi utilizado esquema em parcelas subdivididas no tempo. Cada tratamento com três repetições, e cada repetição composta por unidade experimental de 1 bandeja.

3.2.2 Preparo e aplicação dos recobrimentos

Determinou-se, após testes prévios, elaborar soluções de recobrimento, considerando a concentração total de 4% sendo selecionadas as formulações, conforme Tabela 1. As formulações eram constituídas de fécula de inhame isolada e em diferentes combinações com mucilagem de chia. Optou-se por utilizar 0,025% (AZARAKHSK et al., 2014; ROJAS-GRAÜ et al., 2007) de óleo essencial de laranja doce em duas formulações em combinação com fécula e a mucilagem.

Tabela 1. Concentração de fécula de inhame e mucilagem de chia nos recobrimentos elaborados para aplicação em mamão ‘Golden’ minimamente processado.

Recobrimento	Concentração	Código
Fécula de inhame (F)	4% de F	4F
Fécula de inhame (F) e mucilagem de chia (M) 1:1 + óleo essencial (O)	2% de F e 2% de M + 0,025% de O	2F2MO
Fécula de inhame (F) e mucilagem de chia (M) 1:3 + óleo essencial (O)	1% de F e 3% de MC + 0,025% de O	1F3MO
Fécula de inhame e mucilagem de chia 1:3	1% de F e 3% de MC	1F3M
Controle absoluto	Frutos sem recobrimentos	C

Obtenção da fécula de inhame

No Laboratório, os inhames foram limpos inicialmente com auxílio de escovas de cerdas suaves para remoção de sujidades vindas do campo. Em seguida, foram lavados em água corrente e mergulhados em solução de hipoclorito de sódio a 100 mg.L^{-1} .

Os rizomas foram descascados manualmente com uso de facas de lâminas de aço inoxidável. Após descascados, foram cortados em rodela, trituradas em multiprocessador e em seguida homogeneizadas com água destilada, em liquidificador industrial, até a formação de uma pasta. A pasta obtida foi coada, utilizando-se 1m² de tecido (voil), de modo que o líquido resultante fosse depositado em um recipiente plástico de cor preta para facilitar a visualização da decantação do material amiláceo.

O líquido filtrado permaneceu por 12 horas em repouso (24±2 °C e 75±4% U.R) até que se observasse uma massa fina acumulada no fundo do recipiente e se pudesse descartar a água sobrenadante, concluindo-se a primeira lavagem. Após a retirada do sobrenadante, foi realizada uma nova lavagem e aguardou-se nova decantação para drenagem da água. Concluída a última drenagem, a massa acumulada no recipiente escuro foi enxuta com uso de papel toalha macio, em seguida foi raspada do fundo do recipiente e peneirada em peneiras de nylon. Os utensílios de raspagem e as peneiras foram previamente sanificados sob luz ultravioleta em câmara asséptica de fluxo laminar.

O material peneirado foi levado para estufa à 70 °C onde permaneceu até a obtenção da fécula, ou seja, até que apresentasse solidez e consistência semelhante à de amido de milho comercial. A verificação do ponto de fécula ocorria a cada dois minutos após a entrada do material na estufa, misturando-se a cada verificação. Ao fim da secagem, três amostras da fécula foram separadas para determinação da umidade, método 012/IV (IAL, 2005) e o restante foi embalado à vácuo em sacos plásticos apropriados e armazenado em dessecador contendo sílica-gel em temperatura ambiente.

Extração da mucilagem de chia

A extração da mucilagem se deu conforme Muñhoz et al. (2012b), com algumas adaptações. Foram pesados 20 g de sementes para hidratação com 1L de água destilada e ultrapurificada. As sementes foram colocadas num Becker, dispersas em água e levadas à agitação por 2 h em agitador magnético à temperatura ambiente. Em seguida, as sementes foram separadas da suspensão de mucilagem por filtração à vácuo e a porção filtrada foi concentrado em rotaevaporador sob temperatura de 65 °C por 1 h.

Obtenção das soluções de recobrimentos

As dispersões de fécula de inhame foram preparadas através da geleificação do amido, que consistiu no aquecimento da solução até a temperatura de 70°C, sob constante agitação. As

quantidades a serem pesadas de fécula, para se obter os percentuais propostos nas formulações da Tabela 1, foram calculadas, conforme Equação 1, com base no teor de matéria seca da mesma (53,23%) verificado após determinação da umidade.

$$P = \frac{C \times 100}{MS}$$

Equação 1. Fórmula para cálculo do peso de fécula a se utilizar nos recobrimentos.

Em que: P é a quantidade a ser pesada de fécula de inhame para elaboração de 100 mL de solução de recobrimento, C é a concentração (em percentual) de fécula necessária na solução de recobrimento, e MS é o teor de matéria seca de fécula.

A adição da mucilagem de chia nas formulações 2, 3 e 4% se deu em sequência da obtenção das soluções de amido geleificado. Em baldes plásticos, previamente higienizados com solução de hipoclorito de sódio a 200 mg.L⁻¹, a mucilagem foi adicionada à solução de fécula de inhame e incorporada a esta com auxílio de homogeneizadores de aço inoxidável.

Em todos os recobrimentos formulados adicionou-se 1,2 % de glicerol como plastificante. Na adição do glicerol também se fez uso dos homogeneizadores de aço inoxidável.

Nos recobrimentos 2F2MO e 1F3MO a adição do óleo essencial de laranja doce se deu após a homogeneização da mucilagem de chia e do glicerol, tendo sido feita previamente uma mistura da quantidade equivalente ao percentual proposto do óleo essencial (0,025%) com Tween 40 como espalhante na proporção 1:1 v/v. A mistura de óleo e Tween se deu em homogeneizador analógico.

3.2.3 Processamento mínimo

O processamento mínimo (PM) foi realizado integralmente dentro da câmara fria, à 12 °C, no laboratório de Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças do LBTPC – CCA/UFPB, sob Boas Práticas de Fabricação. As instalações, utensílios e equipamentos utilizados foram sanitizados com solução a 200 mg.L⁻¹ de hipoclorito de sódio. Os operadores e manipuladores fizeram o uso adequado de vestimentas brancas, máscaras, luvas e toucas descartáveis, que foram substituídas à medida que se fez necessário, além de proteção para os calçados. O PM seguiu as etapas representadas no Fluxograma (Figura 1).

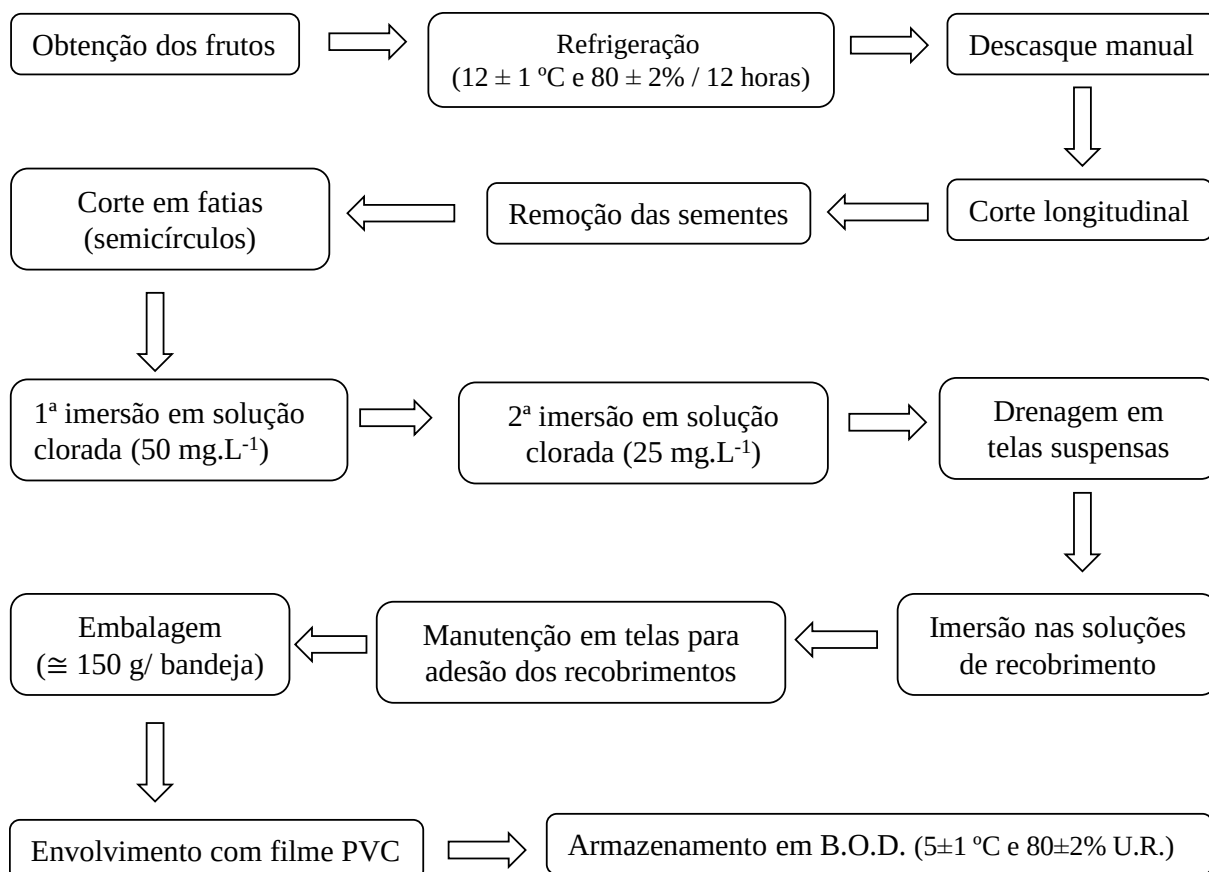


Figura 1 - Fluxograma de processamento mínimo.

No PM, os mamões que foram mantidos sob refrigeração durante as doze horas que antecederam as operações, foram descascados manualmente com lâminas em aço inoxidável. Após a remoção da casca, os mamões foram partidos ao meio longitudinalmente e deu-se então a retirada das sementes. As metades de mamão sem sementes foram então cortadas, com cavidade voltada para baixo, em semicírculos de espessura aproximada de 2,0 cm. Os semicírculos foram imersos em duas soluções de hipoclorito de sódio (50 e 25 mg.L⁻¹), por 30 segundos. Ao serem retirados da última solução sanitificante, as fatias foram dispostas em telas de aço inox sanitificadas suspensas para drenagem. Uma vez drenados, os semicírculos estavam aptos para aplicação dos recobrimentos.

A aplicação dos recobrimentos foi realizada pela imersão dos semicírculos durante 30 segundos nas soluções, exceto para o controle. Após retirados das soluções, as fatias molhadas eram dispostas em telas para a formação e adesão dos recobrimentos às suas superfícies.

Em seguida, as fatias recobertas foram embaladas. Os mamões MP foram acondicionados em bandejas retangulares de politereftalato de etileno (PET) transparente da PSG-Embalagens®, modelo GA 10, de dimensões internas de 166×85×57mm, que foram

envolvidas com filme de policloreto de vinila (PVC), Lusafilm, da Dispafilm© com espessura de 14µm.

Em cada bandeja foram dispostos, em média, seis semicírculos de mamão, resultando em aproximadamente 150g cada. Após o acondicionamento, as bandejas foram armazenadas a 5 ± 1 °C e $80\pm 2\%$ de umidade relativa, em câmaras incubadoras tipo BOD durante 12 dias, sendo analisadas a cada 2 dias.

3.2.4 Avaliações de qualidade

Perda de massa fresca (%)

Através da pesagem diária de três repetições de cada período de referência em balança semi-analítica, considerando-se a massa inicial, o percentual foi obtido por diferença durante o armazenamento em relação ao peso inicial.

Firmeza (N)

Determinada através do penetrômetro Magness Taylor Pressure Tester, região de inserção de 2/16 polegadas de diâmetro, sendo feita 1 leitura por semicírculo contido na bandeja.

Potencial Hidrogeniônico – pH

Utilizando potenciômetro digital, conforme método 017/IV do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2005).

Sólido Solúveis (SS - %)

Por leitura direta com refratômetro tipo Abbe com controle de temperatura (20 °C) conforme metodologia da Association of Official Analytical Chemistry – AOAC (1984);

Acidez Titulável (AT – g ácido cítrico.100g⁻¹)

Determinada por titulometria com uso de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1M e indicador fenolftaleína até obtenção de coloração róseo claro permanente, utilizando-se 10 g da amostra em 50 mL de água destilada conforme método 016/IV do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2005). O cálculo para expressão dos resultados foi feito conforme a fórmula:

$(V \times F \times M \times PM)/(10 \times P \times n)$, em que V = volume, em mL, gasto de NaOH na titulação; F = fator de correção da solução de hidróxido de sódio; M = molaridade da solução de NaOH; PM = peso molecular do ácido correspondente em g; P = massa da amostra em g e n = o número de hidrogênios ionizáveis do ácido predominante na amostra;

Relação SS/AT

Obtida mediante divisão dos índices de SS pelos resultados de AT (CHITARRA e CHITARRA, 2005);

Permeabilidade de membrana – (%)

Por meio de condutivímetro de bancada, utilizando-se 10 g da amostra em 75 mL de água deionizadas (PALMA et al., 1995), segundo ajustes propostos por Zhao (2006), utilizando para expressão dos resultados a relação dos valores da primeira medição de condutividade (após 30 minutos a 24 °C) pela segunda medição de condutividade (após 15 minutos a 95 °C seguido de resfriamento) multiplicado por 100.

3.2.5 Qualidade funcional

Ácido ascórbico (mg.100g⁻¹)

Determinado por titulometria, utilizando-se solução de DFI (2,6-dicloro-fenol-indofenol 0,002%) em 50 mL de ácido oxálico 0,5%, conforme Strohecker e Henning (1967).

Licopeno e β -caroteno (mg.100g⁻¹)

Determinados de acordo Nagata e Yamashita (1992), com algumas adaptações. Macerou-se, durante 2 minutos, 1 g de amostra com 5 mL de solução 2:3 de acetona + hexano. Após a maceração, o volume do extrato foi completado para 10 mL em tubos Falcon de 15 mL que, em seguida, foram agitados por 1 minuto e centrifugados a 25 °C em 9.000 rpm para que se efetuassem as leituras em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 453, 505, 645 e 663 nm. Os resultados foram expressos em mg.100g⁻¹.

Flavonoides Amarelos (mg.100g⁻¹)

Quantificados, com adaptações, conforme Francis (1982), em que utilizou-se 7 mL de solução extratora de etanol 95% + HCl 1,5 mol.L⁻¹ (85:15) em 7 g de amostra pesados em tubo Falcon de 15 mL. Homogeneizou-se a mistura entre amostra e solução extratora por 2 minutos em agitador de tubos e manteve-se reservada, por 12 horas, ao abrigo da luz e sob refrigeração para extração. Após esse período, os extratos foram filtrados e a absorbância a 374 nm pode ser determinada. Todos os procedimentos desta determinação ocorreram no escuro.

Obtenção do extrato para determinação dos polifenóis extraíveis totais e da atividade antioxidante

Os extratos foram obtidos conforme Dantas (2015). Resumidamente, em tubos tipo Falcon de 15 mL, pesaram-se 3g de cada amostra e adicionaram-se 4 mL de metanol 50%. Os tubos foram agitados por 1 minuto e mantidos em repouso, no escuro, durante 1 hora. O extrato foi centrifugado a 4 ° C em 15.000 rpm, durante 15 minutos. O sobrenadante foi reservado e ao resíduo foram adicionados 4 mL de acetona 70%, deixando-se extrair por 1 hora, sendo centrifugado em seguida por 15 minutos em 15.000, a 4 ° C. Os dois sobrenadantes foram reunidos e o volume final do tudo ajustado para 10 mL com água destilada. Os extratos foram mantidos a -20 ° C até serem analisados. Todo o procedimento foi realizado no escuro.

Polifenóis Extraíveis Totais – PET (mg.100g⁻¹)

O conteúdo total de polifenóis extraíveis foram determinados por espectrofotometria pelo método de Folin-Ciocalteu, com modificações (DANTAS et al., 2015). Foi tomada uma alíquota do extrato de 150 µL, a qual foi diluída para 1000 mL com água destilada. A essa diluição acrescentou-se 1,0 mL de reagente de Folin-Ciocalteu, 2,0 mL de carbonato de sódio 20% e 2,0 mL de água destilada. Agitou-se o tubo de ensaio, manteve-se em repouso, ao abrigo da luz, por 30 minutos e realizou-se a leitura em espectrofotômetro a 700 nm. O teor estimado de compostos fenólicos foi obtido utilizando-se uma curva padrão de ácido gálico (R = 0,9983) e os resultados expressos em mg de ácido gálico por 100g de peso fresco.

Atividade Antioxidante Total – AAT (g de polpa. g DPPH⁻¹)

Determinada mediante sequestro do radical livre DDPH (1,1'-diphenil-2-picrilhidrazil) (BRAND-WILIAMS et al., 1995). A partir do extrato fenólico, foram preparadas as diluições de 200, 400 e 600 µL.mL⁻¹, das quais utilizou-se um alíquota de 100 µL para 3,9 mL do radical

DPPH (0,06 mM). Como controle utilizou-se 100 μ L da solução controle (álcool metílico 50% + acetona 70%) ao invés do extrato fenólico. Álcool metílico PA foi utilizado para a calibração do espectrofotômetro, no comprimento de onda de 515 nm. Todas as etapas desta determinação foram realizadas no escuro. O cálculo da AAT (g de fruta/ g DPPH) levou em conta a equação da reta, a partir da absorbância das três diluições, substituindo-se em seguida na equação a absorbância equivalente a 50% da concentração do DPPH (absorbância inicial do controle/2), encontrando-se a quantidade da amostra necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do radical DPPH (EC50). Para esta determinação, todo procedimento foi realizado na ausência de luz.

Atividade Antioxidante Total – AAT (μ M de Trolox. g de polpa⁻¹)

Avaliada pela captura do radical livre ABTS^{•+}. A preparação do radical consistiu de mistura de 5 ml da solução de ABTS^{•+} a concentração de 7 mM, com 88 μ L da solução de persulfato de potássio a 140 mM, deixando em repouso à temperatura ambiente durante 16 horas na ausência de luz. Antes do ensaio, o radical foi diluída com etanol até a absorbância de $0,700 \pm 0,05$, medido a 734 nm. A partir dos extratos fenólicos, foram preparadas três diluições de 50, 150 e 300 mg.mL⁻¹. A uma alíquota de 3,0 ml do radical ABTS^{•+} (absorbância de 0,700) foram adicionados 30 μ L de cada diluição e, após 6 minutos, a absorbância foi lida a 734 nm. O Trolox foi utilizado como padrão, com uma curva padrão de 100 a 2000 μ M (R = 0,997). Os resultados foram expressos em μ M de Trolox. g de peso fresco (DANTAS et al., 2015).

3.2.6 Análise sensorial

Os mamões minimamente processados foram avaliados através de testes de aceitação com escala hedônica, por intermédio de ficha sensorial seccionada em três partes (Apêndice):

I – Avaliação da intensidade dos aspectos desidratado, esbranquiçado, escurecido e exsudato além de danos graves (mofos e/ou podridões) e da cor por escala de 9 pontos, com 1 = ausente/ extremamente fraco e 9 = extremamente forte;

II – Avaliação afetiva do grau entre gostar e desgostar dos aspectos de cor, aparência e avaliação global, com escala de 9 pontos, sendo 1 = desgostei extremamente e 9 = gostei extremamente;

III – Avaliação da intenção de compra através de escala de 5 pontos, com 1 = certamente não compraria e 5 = certamente compraria.

Para os parâmetros avaliados pela escala II, scores ≥ 6 , que correspondia a "gostei ligeiramente", foi usada para indicar aceitabilidade mínima (ALBERTINI et al., 2016; MARTIÑON et al., 2014). Para a intenção de compra, o score limite considerado foi 3 (talvez comprasse/ talvez não comprasse).

Os testes foram realizados a cada quatro dias, durante o armazenamento (0, 4, 8 e 12 dias), por 11 julgadores treinados, com média de idade de 27 anos, incluindo homens e mulheres, consumidores de mamão e com disponibilidade e interesse em realizar os testes. As amostras foram apresentadas simultaneamente aos julgadores, identificadas com códigos de três dígitos aleatórios. A presente pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFPB, sob o nº CAAE: 45784315.9.0000.5188.

3.2.7 Caracterização dos filmes

Amostras dos recobrimentos 4F a 2F2MO na forma de filme, foram enviadas para análises no Laboratório de Desenvolvimento e Avaliação de Biomateriais do Nordeste–CERTBIO da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em Campina Grande – PB.

Preparo dos filmes

No LBTPC, antes da imersão dos mamões minimamente processados, foram transferidos 20 mL de cada uma das referidas formulações para placas de Petri de 15 cm de diâmetro. As placas permaneceram durante 24 horas em ambiente climatizado à 18 ° C, com circulação de ar, até que se formassem as películas.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia Dispersiva de raios X (EDS)

A análise microestrutural da morfologia e topografia das superfícies e identificação dos elementos químicos presentes foi realizada em microscópio eletrônico de varredura de bancada Phenom Pro-X, Phenom Word aumento máximo de 40000x, profundidade de foco 1mm, resolução de 30nm, tensão de 5 e 15 KV, baixo vácuo e pressão variada (1 a 270 Pa), sem recobrimento metálico, mesmo em amostras não condutoras. Acoplado, internamente, ao MEV existe um detector de raios X característicos que permitiu a realização da microanálise química por Espectroscopia Dispersiva de raios X (EDS).

Difração de raios X (DRX) – Para determinar o grau de cristalinidade

As análises foram conduzidas a temperatura ambiente em aparelho XRD-7000 Shimadzu, utilizando radiação $K\alpha$ do cobre (1,5418 Å), tensão de 40kv e corrente 30mA. Os filmes de fécula de inhame e fécula associada à mucilagem de chia foram examinados sob ângulo 2θ variando de 5,0 e 70,0 graus a uma velocidade de 2°/min.

Espectroscopia na Região de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A técnica FTIR foi usada para identificar as bandas características dos grupos funcionais, utilizando um equipamento Spectrum 400 da Perkin Elmer, presentes nos materiais desenvolvidos nesta pesquisa utilizando a faixa de varredura de 4000 a 650 cm^{-1} .

3.2.8 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$). Para a fonte de variação período de armazenamento (dias), aplicou-se análise de regressão polinomial até segundo grau; para a fonte tratamentos (recobrimentos) foi aplicado teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) para avaliações de qualidade e sensoriais e teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para avaliações de bioativos.

Realizou-se análise de componentes principais (ACP) para identificar as variáveis com maior contribuição na variabilidade dos dados, bem como análise de cluster para agrupar os recobrimentos nos dias que apresentam similaridade em relação às características estudadas. Para a escolha das variáveis significativas dentro de cada componente principal, o maior autovetor foi multiplicado por 0,7. O resultado dessa operação foi considerado como limite de inclusão das variáveis, em que autovetores abaixo do mesmo não contribuem significativamente para a variância do componente principal. Utilizou-se o software MVSP *version 3.13n* (Kovach, 2006) para as análises de componentes principais e o SAS 9.3 (2011) para cluster.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO-FANI, A.; SALVIA-TRUJILLO, L.; ROJAS-GRAU, M. A.; MARTIN-BELLOSO, O. Edible films from essential-oil-loaded nanoemulsions: Physicochemical characterization and antimicrobial properties. **Food Hydrocolloids**. V. 47, p. 168 – 177. 2015.
- ALARCÓN-FLORES, M. I.; ROMERO-GONZÁLEZ, R.; VIDAL, J. L. M.; GONZÁLEZ, F. J. E.; FRENICH, A. G. Monitoring of phytochemicals in fresh and fresh-cut vegetables: A comparison. **Food Chemistry**. v. 142, p. 392 – 399. 2014.
- ALBERTINI, S.; REYES, A. E.; TRIGO, J. M.; SARRIÉS, G. A.; SPOTO, M. H. F. Effects of chemical treatments on fresh-cut papaya. **Food Chemistry**. v. 190, p. 1182 – 1189. 2016.
- ALIKHANI, M. Enhancing safety and shelf life of fresh-cut mango by application of edible coatings and microencapsulation technique. **Food Science & Nutrition**. v. 2, p. 210 – 217. 2014.
- ALMEIDA, A. **Hortaliças minimamente processadas: percepção dos consumidores sobre os atributos de qualidade e evolução do mercado**. 2013. 137 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Universidade de Brasília, Brasília.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 17th ed. Washington: AOAC, 2005. 1115p.
- AVILA-DE LA ROSA G., ALVAREZ-RAMIREZ J., VERNON-CARTER E. J., CARRILO-NAVAS H., PÉREZ-ALONSO C. Viscoelasticity of chia (*Salvia hispanica* L) seed mucilage dispersion in the vicinity of an oil-water interface. **Food Hydrocolloids**. v. 49, p. 200 – 207. 2015.
- ARNON, H., GRANIT, R., PORAT, R., POVERENOV, E. Development of polysaccharides-based edible coatings for citrus fruits: A layer-by-layer approach. **Food Chemistry**. v. 166, p. 465 – 472. 2015.
- ASSIS, O. B. G.; BRITTO, D. Revisão: coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 17, n. 2, p. 87 – 97. 2014.
- ASSIS, O. B. G., BRITTO, D., FORATO, L. A. O uso de biopolímeros como revestimentos comestíveis protetores para conservação de frutas in natura e minimamente processadas. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 29. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 23 p. 2009.
- AYÓN-REYNA, L. E.; TAMAYO-LIMÓN, R.; CÁRDENAS-TORRES, F.; LÓPEZ-LÓPEZ, M. E.; LÓPEZ-ANGULO, G.; LÓPEZ-MORENO, H. S.; LÓPEZ-CERVANTES, J.; LÓPEZ-VALENZUELA, J. A.; VEGA-GARCIA, M. O. Effectiveness of hydrothermal-calcium chloride treatment and chitosan on quality retention and microbial growth during storage of fresh-cut papaya. **Journal of Food Science**. v.80, n.3, p.C594 – C601. 2015.

AZEREDO, H. M. C. Películas comestíveis em frutas conservadas por métodos combinados: potencial da aplicação. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba. v. 21, n. 2. 2003.

AZARAKHSH, N.; OSMAN, A.; GHAZAIL, H. M.; TAN, C. P.; ADZAHAN, N. M. Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. **Postharvest Biology and Technology**. v. 88, p. 1 – 7. 2014.

BASELICE, A.; COLANTOUNI, F.; LASS, D. A.; GIANLUCA, N.; SASTI, A. EU Consumers' Perceptions of Fresh-cut Fruit and Vegetables Attributes: A Choice Experiment Model. In: Agricultural & Applied Economics Association's 2014 AAEA **Annual Meeting**, Minneapolis, MN, July 27-29, p. 1 – 23. 2014.

BESINELA JUNIOR, E., MONARIM, M.M.S., CAMARGO, M., MAHL, C.R.A., SIMÕES, M.R.; SILVA, C.F. Efeito de diferentes biopolímeros no revestimento de mamão (*Carica papaya* L.) minimamente processado. *Revista Varia Scientia Agrárias*, v.01, p.131 – 142. 2010

BIERHALS, V. S.; CHIUMARELLI, M.; HUBINGER, M. D. Effect of cassava starch coating o quality and shelf life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus* L. Merril cv 'Pérola'). **Journal of Food Science**. v. 76, n. 1, p. E62 – E72. 2011.

BLUM, J.; HOFFMANN, F. B.; AYUB, R. A.; JUNG, D. L.; MALGARIM, M. B. Uso de cera na conservação pós-colheita do caqui cv. Giombo. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.30, n. 3, p.830 – 833. 2008.

BONILLA, J.; ATARÉS, L.; VARGAS, M.; CHIRALT, A. Edible films and coatings to prevent the detrimental effect of oxygen on food quality: Possibilities and limitations. **Journal of Food Engineering**, v.110, n.2, p.208 – 213. 2012.

BOTREL, D. A., SOARES, N. F. F., GERALDINE, R. M., PEREIRA, R. M., FONTES, E. A. F. Qualidade de alho (*Allium sativum*) minimamente processado envolvido com revestimento comestível antimicrobiano. **Food Science and Technology**. v.27, n.1, p. 32 – 38. 2007.

BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, 28, 25 – 30. 1995.

BRASIL, I. M.; GOMES, C.; PUERTA-GOMEZ, A. CASTELL-PEREZ, M. E.; MOREIRA, R. G. Polysaccharide-based multilayered antimicrobial edible coating enhances quality of fresh-cut papaya. **LWT - Food Science and Technology**. v. 47, p. 39 – 45.2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Guia alimentar para população brasileira / Ministério da Saúde. Departamento de Atenção Básica** – 2 ed. - Brasília: Ministério da Saúde, 2014. 136 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria no 540, **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 out. 1997. Aprova o Regulamento Técnico: Aditivos alimentares.

BRASIL. Ministério da Saúde, Conselho Nacional de Saúde; Resolução nº 04, de 24 de novembro de 1988; Aprovar a revisão das Tabelas I, III, IV e V referente a Aditivos Intencionais, bem como os Anexos I, II, III, IV e VII, todas do Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965, **Diário Oficial da União**, Brasília, 19 de dezembro de 1988, Seção I.

BRASIL, Leis e Decretos, Dec. Lei 55871. Regulamenta normas de aditivos intencionais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF 29 Abril 1965.

BRUNINI, M. A.; SILVA, J. D. R. Qualidade e vida útil de mamão ‘Formosa’ minimamente processado submetido a diferentes tratamentos. **Nucleus**. v. 6, n. 1., p.187 – 202. 2009

CAPITANI, M. I.; CORZO-RIOS, L. J.; CHEL-GUERRERO, L. A. BETANCUR-ANCONA, D. A.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M. C. Rheological properties of aqueous dispersions of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage. **Journal of Food Engineering**. v. 149, p 70 – 77. 2015.

CENCI, S. A. **Processamento mínimo de frutas e hortaliças: tecnologia, qualidade e sistemas de embalagem**. — Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011. 144p.

CHIEN, P. J.; LIN, H. R.; SU, M. S. Effects of edible micronized chitosan coating on quality and shelf life of sliced papaya. **Food and Nutrition Sciences**. v. 4, p. 9 – 13. 2013.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: Fisiologia e Manuseio**. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005. 785p.

CHIU, P. E., LAI, L. S. Antimicrobial activities of tapioca starch/decolorized hsian-tsao leaf gum coatings containing green tea extracts in fruit-based salads, romaine hearts and pork slices. **International Journal of Food Microbiology**. v.139, p.23 – 30. 2010.

CHIUMARELLI, M.; PEREIRA, L. M.; FERRARI, C. C.; SARANTÓPOULUS, C. I. G. L.; HUBINGER, M. D. Cassava Starch Coating and Citric Acid to Preserve Quality Parameters of Fresh-Cut “Tommy Atkins” Mango. **Journal of Food Science**. v. 75, n. 5, p. E297 – E304. 2010.

CORTEZ-VEGA, W. R.; PIOTROWICZ, I. B. B.; PRENTICE, C.; BORGES, C. D. Conservação de mamão minimamente processado com uso de revestimento comestível à base de goma xantana. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 34, n. 4, p. 1753 – 1764. 2013

CORTEZ-VEGA, W. R.; PIZATO, S.; DE SOUZA, J. T. A.; PRENTICE, C. Using edible coatings from Whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) protein isolate and organo-clay nanocomposite for improve the conservation properties of fresh-cut 'Formosa' papaya. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. v. 22, p. 197 – 202. 2014.

DANTAS, J. L. L.; LIMA, J. F. Seleção e recomendação de variedades de mamoeiro avaliação de linhagens e híbridos. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 23, n. 3, p. 617 – 621. 2001.

DANTAS, T. A. G.; OLIVEIRA, A. P. C.; LOURIVAL, F.; DANTAS, D. F. S.; BANDEIRA, N. V. S.; DANTAS, S. A. G. Produção do inhame em solo adubado com fontes e doses de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 17, n.10, p. 1061 – 1065. 2013.

- DANTAS, R. L., SILVA, S. M., BRITO PRIMO, D. M., SOUSA, A. S. B., BRITO, E. S.; MACEDO, E. M. S. Changes during maturation in the bioactive compounds and antioxidant activity of *Opuntia stricta* (haw.) Fruits. **Acta Horticulturae**. v. 1067, p. 159 – 165. 2015.
- DEL-VALLE, V., HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P., 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.
- DHANAPAL, A.; SASIKALA, P., RAJAMANI, L.; KAVITHA, V.; YAZHINI, G.; BANU, M. S. Edible films from Polysaccharides. **Food Science and Quality Management**. v. 3, p. 9 – 18, 2012.
- DICK, M.; COSTA, T. M. H.; GOMAA, A.; SUBIRADE, A.; SUBIRADE, M.; RIOS, A. O.; FLÔRES, S. H. Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties; **Carbohydrate Polymers**. v. 130, p. 198 – 205. 2015.
- DURANGO, A. M.; SOARES, N. F. F.; ANDRADE, N. J. Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally pressed carrots. **Food Control**. v.17, n. 5, p. 336 – 341. 2006.
- DURIGAN, J. F.; DURIGAN, M. F. B. Processamento de mamão: Mercado nacional e Técnicas de produção. **SIMPÓSIO DO PAPAYA BRASILEIRO**, 5., 2011, Porto Seguro. Inovação e sustentabilidade: anais. Porto Seguro: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2011. <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/918206>> Acesso em: 13 ago. 2014.
- FAKHOURI, F. M.; FONTES, L.C.B.; GONÇALVES, P. V. M.; MILANEZ, C. R. M.; STEEL, C. J.; COLLARES-QUEIROZ, F.P. Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 369 – 375. 2007.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division: Browse Data, Production, Crops. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>> Acesso em: 17 nov. 2015.
- FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (Ed.), **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, p. 181 – 207. 1982.
- GALUS, S.; KADZINSKA, J. Food applications of emulsion-based edible films and coatings. **Trends in Food Science & Technology**. v. 45. p. 273 – 283. 2015.
- GUERREIRO, A. C.; GAGO, M. L. G.; FALEIRO, M. L.; MIGUEL, M. C. G.; ANTUNES, M. D. C. The use of polysaccharide-based edible coatings enriched with essential oils to improve shelf life of strawberries. **Postharvest Biology and Technology**. v. 110, p. 51 – 60. 2015.
- GUILBERT, S.; GONTARD, N.; CUQ, B. Technology and applications of edible protective films. **Packaging Technology**. v. 8, n. 6, p. 339 – 346. 1995.

GUTIÉRREZ, T. J., MORALES, N. J.; PÉREZ, E.; TAPIA, M. S.; FAMÁ, L. Physico-chemical properties of edible films derived from native and phosphated cush-cush yam and cassava starches. **Food Packaging and Shelf Life**. v. 3, p. 1 – 8. 2015a.

GUTIÉRREZ, T. J.; TAPIA, M. S.; PÉREZ, E.; FAMÁ, L. Structural and mechanical properties of edible films made from native and modified cush-cush yam and cassava starch. **Food Hydrocolloids** v. 45, p. 211 – 217. 2015b.

GUTIÉRREZ, T. J., PÉREZ, E., GUZMÁN, R., TAPIA, M. S., FAMÁ, L. Physicochemical and Functional Properties of Native and Modified by Crosslinking, Dark-Cush-Cush Yam (*Dioscorea trifida*) and Cassava (*Manihot esculenta*) Starch. **Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry**. v. 2, n.1, p. 1 – 5. 2014.

IAL - Instituto Adolfo Lutz. Procedimentos e Determinações Gerais. In: **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. 2005. p. 98 – 105.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal: Quantidade e valor da produção, área plantada e colhida**. Disponível em: <<http://sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 07 nov. 2014.

IFPA. Online reference included from the International Fresh-cut Association home page. Disponível em: <<http://www.creativew.com/sites/ifpa/fcf.html>>. 2002. Acesso em: 18 nov. 2015.

KOUAMÉ, V. N.; HANDSCHIN, S.; DERUNGS, M.; AMANI, G. G.; CONDE-PETIT, B. Thermal properties of new varieties of yam starches. **Starch/ Stärke**. v.63, p. 747 – 753. 2011.

KUWAR, U.; SHARMA, S.; TADAPANENI, V. R. *Aloe vera* Gel and Honey-Based Edible Coatings Combined with Chemical Dip as a Safe Means for Quality Maintenance and Shelf Life Extension of Fresh-Cut Papaya. **Journal of Food Quality**. v. 38; n.5, p. 347 – 358. 2015.

LAI, T.Y.; CHEN, C. H.; LAI, L. S. Effects of tapioca starch/decolorized hsian-tsao leaf gum-based active coatings on the quality of minimally processed carrots. **Food and Bioprocess Technology**. v. 6, n. 1, p. 249 – 258. 2013.

LIN, K. Y., DANIEL, J. R., WHISTLER, R. L. Structure of chia seed polysaccharide exudate. **Carbohydrate Polymers**. 23. 1994. p 13 – 18.

LIPORACCI, J. S. N; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Efeito do método de extração na composição química e nas propriedades funcionais do amido de inhame (*Dioscorea alata*). **Semina: Ciências Agrárias**. v. 26, n. 3, p. 345 – 352. 2005.

LUVIELMO, M. M.; LAMAS, S. V. Revestimentos comestíveis em frutas. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 8, n. 1, p. 8 – 15, 2012.

LUZ, L. N.; PEREIRA, M. G.; BARROS, F. R.; BARROS, G. B.; FERREGUETTI, G. A. Novos híbridos de mamoeiro avaliados nas condições de cultivo tradicional e no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*. v. 37, n. 1, p. 159 – 171. 2015.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Starch films: production, properties and potential of utilization. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 31, n. 1, p. 137 – 156. 2010.

MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., GARCÍA, M. A., MARTINO, M. M.; ZARITZKY, N. E. Mechanical and thermal properties of yam starch films. **Food Hydrocolloids**. Oxford, v. 19, n. 1, p. 157 – 164, 2005

MALI, S.; KARAM, L. B.; RAMOS, L. P.; GROSSMANN, M. V. E. Relationships among the composition and physicochemical properties of starches with the characteristics of their films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 52, n. 25, p. 7720 – 7725, 2004.

MALI, S. GROSSMANN, M. V. E. Effects of yam starch films on storability and quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 51, p. 7005 – 7011. 2003.

MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., GARCÍA, M. A., MARTINO, M. M.; ZARITZKY, N. E. Microstructural characterization of yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 50, n. 2, p. 379 – 386, 2002.

MARTIÑON, M.E.; MOREIRA, R.G., CASTELL-PEREZ, M.E., GOMES, C. Development of a multilayered antimicrobial edible coating for shelf-life extension of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo* L.) stored at 4 °C. **LWT - Food Science and Technology**. v.56, n.2, p. 341 – 350. 2014

MUÑOZ, L. A.; COBOS, A.; DIAZA, O.; AGUILERA, J. A. Chia Seed (*Salvia hispanica*): An Ancient Grain and a New Functional Food. **Food Reviews International**. v. 29, n. 4, p. 394 – 408. 2013.

MUÑOZ, L. A.; COBOS, A.; DIAZ, O.; AGUILERA, J.M. Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. **Journal of Food Engineering**. n.108, p. 216 – 224. 2012a.

MUÑOZ, L.A.; AGULERA, J.M.; RODRIGUEZ-TURIENZO, L.; COBOS, A.; DIAZ, O. Characterization and microstructure of films made from mucilage of *Salvia hispanica* and whey protein concentrate. **Journal of Food Engineering**. v. 111, p. 511 – 518. 2012b.

NAGATA, M.; YAMASHITA, I. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. **Journal of Japanese Society of Food Science and Technology**, v. 39, p. 925 – 928. 1992.

NAYIK, G. A.; MAJID, I.; KUMAR, V. Developments in edible films and coatings for the extension of shelf life of fresh fruits. **American Journal of Nutrition and Food Science**. v. 2, n. 1, p. 16 – 20. 2015.

OLIVEIRA, A. M. G.; FARIAS, A. R. N.; SANTOS FILHO, H. P.; OLIVEIRA, J. L. L.; SANTOS, L. B.; OLIVEIRA, M. A.; SOUZA JÚNIOR, M.T.; SILVA, M. L.; ALMEIDA, O. A.; NICKEL, O.; MEDINA, V. M.; CORDEIRO, Z. J. M. **Mamão para exportação: aspectos técnicos da produção**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 52p. (FRUPEX. Série de publicação técnica, 9) 1994.

- OLIVEIRA, M. A.; SOUZA, V. M.; BERGAMINI, A. M. M.; MARTINIS, E. C. P. Microbiological quality of ready-to-eat minimally processed vegetables consumed in Brazil. **Food Control**. v. 22, n. 8, p. 1400 – 1403. 2011.
- ORIANI, V.B.; MOLINA, G.; CHIUMARELLI, M.; PASTORE, G.M.; HUBINGER, M.D. Properties of cassava starch-based edible coating containing essential oils. **Journal of Food Science**. v. 79, p. E189 – E194. 2014.
- PALMA, T.; MARANGONI, A. G.; STANLEY, D. W. Environmental stresses affect tomato microsomal membrane function differently than natural ripening and senescence. **Postharvest Biology and Technology**. v. 6, n. 3, p. 257 – 273. 1995.
- PATRIGNANI, F.; SIROLI, L. ; SERRAZANETTI, D.I.; GARDINI, F.; LANCIOTTI, R. Innovative strategies based on the use of essential oils and their components to improve safety, shelf-life and quality of minimally processed fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**. v. 46, n. 2, p. 302 – 310. 2015.
- PEREIRA, M. E. C.; SILVA, A. S.; BISPO, A. S. R.; SANTOS, D. B.; SANTOS, S.B.; SANTOS, V. J. Amadurecimento de mamão Formosa com revestimento comestível à base de fécula de mandioca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1116 – 1119, 2006
- PEREZ R; RAMOS A. M.; BINOTI, M. L; SOUSA, P.H.M.; MACHADO, G.M.; CRUZ, I.B. Perfil dos consumidores de hortaliças minimamente processadas de Belo Horizonte. **Horticultura Brasileira**. v. 26, p. 441 – 446. 2008.
- PÉREZ, E.; SEGOVIA, X.; TAPIS, M. S.; SCHROEDER, M. Native and cross-linked modified *Dioscorea trifida* (cush-cush yam) starches as bio-matrices for edible films. **Journal of Cellular Plastics**. v. 48, n. 6, p. 545 – 556. 2012.
- QUEIROZ, V. A. V., MORAES, E. A., QUEIROZ, L. R., TARDIN, F. D., GUEDES, E. O., FILHO, I. A. P, LOMBARDI, C. T. Utilização de cobertura comestível na conservação pós-colheita de minimilho minimamente processado. **Food Science and Technology**. Campinas, v. 30, n.4, p. 910 – 916. 2010.
- QUIRÓS-SAUCEDA, A. E.; AYALA-ZAVALA, J. F.; OLIVAS, G. I.; GONZÁLEZ-AUILAR, G. A. Edible coatings as encapsulating matrices for bioactive compounds: a review. **Journal of Food Science and Technology**. v. 51, n. 9, p 1674 – 1685. 2014.
- RAMAZZINA, I.; BERARDINELLI, A.; RIZZI, F.; TAPPI, S.; RAGNI, L.; SACCHETTI, G.; ROCCULI, P. Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant activity of minimally processed kiwifruit. **Postharvest Biology and Technology**. v.107, p.55 – 65. 2015.
- RAMOS, B.; MILLER, F. A.; BRANDÃO, T. R. S.; TEIXEIRA, P.; SILVA, C. L. M. Fresh fruits and vegetables – An overview on applied methodologies to improve its quality and safety. **Inovative Food Science and Emerging Technologies**. v. 20, p. 1 – 15, 2013.
- REETZ, E. R.; KIST, B. B.; SANTOS, E.; CARVALHO, C.; DRUM, M. **ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2015**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 104p. 2015.

REIS, R. C.; ASCHERI, D. P. R.; DEVILLA, I. A. Propriedades físicas do tubérculo e propriedades químicas e funcionais do amido de inhame (*Dioscorea* sp.) cultivar São Bento. **Revista Agrotecnologia**, v.1, p.72 – 88, 2010.

REYES-CAUDILLO, E.; TECANTE, A.; VALDIVIA-LÓPEZ, M. A. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. **Food Chemistry** v. 107, n. 2, p. 656 – 663. 2008.

REYS-JURADO, F.; FRANCO-VEJA, A.; RAMIREZ-CORONA, N.; PALOU, E.; LÓPEZ-MALO, A. Essential oils: antimicrobial activities, extraction methods and their modeling. **Food Engineering Reviews**. v. 7, n. 3, p. 275 – 297. 2015.

ROBLES-SANCHEZ, R. M.; ROJAS-GRAÜ, M.A.; ODRIOZOLA-SERRANO, I.; GONZALEZ-AGUILAR, G.; MARTIN-BELLOSO, O. Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes. **LWT – Food Science and Technology**. v. 50. Pp. 240 – 246. 2013.

ROJAS-GRAU, M. A.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Edible coating to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. **Trends in Food Science & Technology**. v. 20, p. 438 – 447. 2009.

SALVIA-TRUJILLO, L., ROJAS-GRAÜ, M. A., SOLIVA-FORTUNY, R., MARTÍN-BELLOSO, O. Use of antimicrobial nanoemulsions as edible coatings: Impact on safety and quality attributes of fresh-cut Fuji apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 105, p. 8 – 16. 2015.

SANDHYA. Review. Modified atmosphere packing of fresh produce: Current status and future needs. **LWT – Food Science and Technology**. v. 43. Pp. 381– 392. 2010.

SATO, G. S.; MARTINS, V. A.; BUENO, C. R. F. Análise exploratória do perfil do consumidor de produtos minimamente processados na cidade de São Paulo. **Informações Econômicas**. v. 37, n. 6, p. 62 – 71. 2007.

SCHABENBERGER, O. PIERCE, F.J. **Contemporary statistical models for the plant and soil sciences**. SB91 – S36, 2001.

SERRANO, L. A. L.; CATTANEO, L. F. O cultivo do mamoeiro no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 3, p. 657 – 959, 2010.

SHIPAI, R. E.; CASTELL-PEREZ M. E.; MOREIRA, R. G.; GOMES, C.; CASTILLO, A. Improved multilayered antimicrobial alginate-based edible coating extends the shelf life of fresh-cut watermelon (*Citrullus lanatus*). **Food science & technology**. v. 51, n. 1, p. 9 – 15. 2012.

SHIT, S.; SHAH, P.M. Edible Polymers: Challenges and Opportunities. **Journal of Polymers**. v. 2014, 13p. 2014.

SKURTYYS, O.; ACEVEDO, C.; PEDRESCHI, F.; ENRONOE, J.; OSORIO, F.; AGUILERA, J. M. **Food hydrocolloid edible films and coatings**. Food Sci. Technol. 2010; XX: p.41 – 80.

STROHECKER, R.; HENNING, H.M. Análises de vitaminas: métodos comprovados, Madrid: Paz Montolvo, 428 p. 1967.

TAPIA-TUSSELL, R.; QUIJANO-RAMAYO, A.; CORTES-VELAZQUEZ, A.; LAPPE, P.; LARQUE-SAAVEDRA, A.; PEREZ-BRITO, D. PCR-based detection and characterization of the fungal pathogens *Colletotrichum gloeosporioides* and *Colletotrichum capsici* causing anthracnose in papaya (*Carica papaya* L.) in the Yucatan peninsula. *Molecular Biorechnology*. 2008; 40, 293 – 298.

TAVASSOLI-KAFRANI, E.; SHEKARCHIZADEH, H.; MASOUDPOUR-BEHABADI, M. Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans - Review Article. **Carbohydrate Polymers**. v. 137, n. 10, p. 360 – 374. 2016.

TRIGO, J. M.; ALBERTINI, S.; SPOTO, M. H. F.; SARMENTO, S. B. S.; REYES, A. E. L.; SARRIÉS, G.A. Efeito de revestimentos comestíveis na conservação de mamões minimamente processados. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 15, n. 2, p. 125 – 133.

UDOMKUN, P.; NAGLE, M.; MAHAYOTHEE, B.; NOHR, D.; KOZA, A.; MULLER, J. Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya. **LWT - Food Science and Technology**, n. 60, p.914 – 922, 2015.

VÁZQUEZ-OVANDO, A.; ROSADO-RUBIO, G.; CHEL-GUERRERO, L.; BETANCUR-ANCONA D. Physicochemical properties of a fibrous fraction chia (*Salvia hispanica* L.) **LTW – Food Science and Technology**. v. 42, n.1, p.168 – 173. 2009.

VELÁZQUEZ-GUTIÉRREZ, S. K.; FIGUEIRA, A. C.; RODRÍGUEZ-HUEZO, M.E.; ROMÁN-GUERRERO, A.; CARRILLO-NAVAS, H.; PÉREZ-ALONSO, C. Sorption isotherms, thermodynamic properties and glass transition temperature of mucilage extracts from chia seeds (*Salvia hispanica* L.) **Carbohydrate Polymers**. v.121, n. 5, p.411 – 419. 2015.

VIANA, E. S.; REIS, R. C.; SILVA, S. C. S.; NEVES, T. T.; JESUS, J. L. Avaliação físico-química e sensorial de frutos e genótipos melhorados de mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v.45, n. 3, p. 297 – 303. 2015.

WAGHMARE, R. B.; ANNAPURE, U. S. Combined effect of chemical treatment and/or modified atmosphere packaging (MAP) on quality of fresh-cut papaya. **Postharvest Biology and Technology** v. 85, p.147 – 153. 2013.

WANI, A. A.; SINGH, P.; PANT, A.; LANGOWSKI, H. C. Packaging Methods for Minimally Processed Foods. In: **Minimally Processed Foods**, ed. M.W. Siddiqui, M.S. Rahman, pp. 35 – 55. Switzerland: Springer International Publishing. 2015.

WESTERN, T. L. The sticky tale of seed coat mucilage: production, genetics, and role in seed germination and dispersal. **Seed Science Research**, v. 22, n. 01, p 1 – 25. 2012.

XIAO, C.; ZHU, L.; LUO, W.; SONG, X.; DENG, Y. Combined action of pure oxygen pretreatment and chitosan coating incorporated with rosemary extracts on the quality of fresh-cut pears. **Food Chemistry**. v. 121, n. 4, p. 1003 – 1009 2010.

ZHAO, Z.; JUNG, W.; CAO, J.; ZHAO, Y.; GU, Y. Effect of cold-chock treatment on chilling injury in mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Wacheng') fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. n.86, p. 2458 – 2462. 2006.

ZHU, F. Isolation, Composition, Structure, Properties, Modifications, and Uses of Yam Starch. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, p. 357 – 386. 2015.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

ARTIGO 1

QUALIDADE DE MAMÃO ‘GOLDEN’ MINIMAMENTE PROCESSADO RECOBERTOS COM FÉCULA DE INHAME, MUCILAGEM DE CHIA E ÓLEO ESSENCIAL DE LARANJA DOCE

Qualidade de mamão ‘Golden’ minimamente processado recobertos com fécula de inhame, mucilagem de chia e óleo essencial de laranja doce

Resumo

Recobrimentos comestíveis à base de amido de inhame (F), combinado ou não com mucilagem de chia (M) e óleo essencial de laranja doce (O), foram aplicados em mamão ‘Golden’ minimamente processado em fatias e armazenado por 12 dias à 5 °C. Os biofilmes testados foram avaliados quanto às propriedades estruturais. Mamões minimamente processados (MMP) foram imersos em soluções filmogênicas de 4% F, 2%F+2%M+O, 1%F+3%M+O e 1%F+3%M e comparados a MMP sem recobrimento (C) embalados em bandeja de politereftalato de etileno (PET) envolvidas com filme cloreto de polivinila (PVC) armazenadas a 5 °C por 12 dias. A cada 2 dias foram avaliados perda de massa, pH, firmeza, sólidos solúveis - SS, acidez titulável - AT, relação SS/AT e permeabilidade de membrana e a cada 4 dias a qualidade sensorial. Conforme desempenho dos recobrimentos, filmes de 4F e 2F2MO foram avaliados por microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia dispersiva de raios X (EDS), difração de raios X (DRX) e espectroscopia da região de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). O recobrimento 2F2MO se destacou como único a manter a qualidade sensorial dos MMP muito similar ao período inicial até o décimo segundo dia de armazenamento. O filme 4F apresentou padrão de difração de raios X mais cristalino que 2F2M, que teve menor rugosidade e porosidade da superfície do filme, o que refletiu nas trocas gasosas e, por consequência, na firmeza, SS, AT e permeabilidade de membrana. Em termos de conformação molecular, não houveram alterações expressivas no espectro FTIR do filme 2F2M em relação ao 4F. A fase cristalina mais intensa do filme 4F o tornou menos permeável, como consequência, os MMP sob tal recobrimento mantiveram os SS mais preservados entre os recobrimentos. O caráter mais amorfo conferido pela adição de mucilagem foi desfavorável quando o percentual desta foi maior na formulação, visto que, MMP sob 1F3MO apresentaram perda de massa igual a de C. Assim, evidencia-se que a proporção equilibrada entre amido de inhame e mucilagem de chia promoveu manutenção da qualidade de MMP de forma mais vantajosa.

Palavras chave: Recobrimentos comestíveis, *Dioscorea* spp, *Salvia hispanica*, *Citrus aurantium* L. MEV, FTIR, DRX

1. Introdução

Considerada uma das frutas mais cultivadas e apreciadas em todo o mundo, o mamão (*Carica papaya* L.) é uma excelente fontes de cálcio, pró-vitamina A e vitamina C (ácido ascórbico), por isso amplamente consumido. No entanto, apresenta curta vida-útil em virtude do acelerado metabolismo respiratório o que contribui para um alto índice de perdas pós-colheita (Serrano e Cattaneo, 2010; Udomkun et al., 2015).

Nas últimas décadas, o interesse por alimentos frescos e convenientes às demandas sociais modernas de famílias pouco numerosas e pessoas com menos tempo livre que são consumidores que, ainda assim, buscam cada vez mais uma alimentação saudável, aumentando consideravelmente a demanda por frutas minimamente processados (MP). Esses produtos são boas alternativas aos produtos ultraprocessados e ainda permitem melhor aproveitamento das matérias-primas e aumento do valor agregado (Chiumarelli et al., 2010; Wani et al., 2015).

O mamão é muito apreciado sob a forma minimamente processada, uma vez que os inconvenientes do consumo do fruto inteiro, como os cuidados para descasque e remoção das sementes, tornam-se desnecessários (Cortez-Vega et al., 2014; Brunini e Silva, 2009). Entretanto, devido à alta perecibilidade do fruto e os estresses resultantes das operações de processamento mínimo, a vida pós-corte de mamão MP é limitada em no máximo dois dias quando ocorrem alterações como amolecimento da polpa, desenvolvimento de odores desagradáveis e perda de água inviabilizam o consumo (Chien et al., 2013).

Muitas tecnologias tem sido empregadas para minimizar os efeitos deletérios do processamento mínimo em frutos e hortaliças, entre elas, destacam-se os recobrimentos comestíveis e biodegradáveis capazes de reduzir as trocas gasosas superficiais, bem como, a perda excessiva de água mantendo as características de qualidade das fatias recém-cortadas por mais tempo (Oriani et al., 2014; Shit e Shah, 2014).

As matérias-primas para formulação de recobrimentos comestíveis podem ser diversas, a exemplo: a cera de carnaúba (Chiumarelli e Hubinger, 2012), de caráter lipídico, proteína do soro do leite (Altunkaya, 2011), além da quitosana (Chong et al., 2015) e do amido (Beierhals et al., 2011), dois polissacarídeos entre muitos com ampla utilização na elaboração de filmes comestíveis.

O amido se destaca pelo baixo custo disponibilidade e capacidade renovável (biodegradável), além das boas propriedades mecânicas e de formação de filmes que apresenta (Nayik, et al., 2015). Este carboidrato é a principal fonte de reserva de raízes e tubérculos e no endosperma de sementes onde está presente na forma de grânulos constituídos, cada um, de vários milhões de moléculas de amilopectina e amilose (Skurtys et al., 2010).

As principais fontes de amido são milho, batata, arroz, trigo e mandioca, embora, muitas outras fontes sejam promissoras para sua extração. No entanto, alguns materiais ainda são subutilizadas para isto, a exemplo do inhame (*Dioscorea* spp) que apresenta teor médio de amilose, fração do amido importante para elaboração de filmes, superior à das principais fontes (MALI et al., 2010).

Entre os hidrocolóides com potencial para elaboração de recobrimentos comestíveis, encontram-se as mucilagens (Alikhani, 2014). De acordo com Dell-Valle et al. (2005), mucilagens são carboidratos complexos, com grande capacidade em reter água, formando coloides viscosos ou gelatinosos. Uma excelente fonte de mucilagem é a semente de chia (*Salvia hispânica*), considerada como alimento funcional, rico em ácidos graxos poli-insaturados e alto teor de fibras e até elevada atividade antioxidante (Capitani et al., 2015; Muñoz et al., 2012a; Muñoz et al., 2012b;).

Adicionalmente à tecnologia de recobrimentos comestíveis, tem-se estudado a adição de óleos essenciais (OE) principalmente como alternativa de incremento da atividade antimicrobiana e controle de doenças pós-colheita destas películas, para manter a qualidade e a segurança dos produtos alimentares (Rojas-Graü et al., 2007). Assim como todos os OE, o óleo essencial de laranja doce (*Citrus aurantium* L.) tem propriedades bioativas que lhe conferem potencial como conservante em alimentos (Suryawanshi, 2011).

Estudos envolvendo amido de inhame e mucilagem de chia na elaboração de filmes comestíveis são escassos e incipientes, não havendo registros da combinação destes dois materiais, em relação aqueles outros materiais explorados a mais tempo, sugerindo novas possibilidades de exploração desses materiais.

O objetivo deste trabalho foi elaborar recobrimentos comestíveis a partir de amido de inhame, combinado ou não com mucilagem de chia e óleo essencial de laranja doce, para ser aplicado em mamão ‘Golden’ minimamente processado, como tecnologia inovadora de manutenção prolongada da qualidade físico-química e sensorial, bem como, avaliar propriedades estruturais físicas e químicas de filmes resultantes de duas formulações destes recobrimentos.

2. Material e Métodos

2.1. Material

Mamões ‘Golden’ provenientes da Fazenda Santa Terezinha, empresa Frutas Doce Mel (Mamanguape – PB) foram colhidos manualmente no estágio de maturidade 1 (10% da cor da casca amarela) com ausência de danos físicos ou fisiológicos e levados ao Laboratório de

Biologia e Tecnologia Pós-Colheita - LBTPC do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB) onde foram selecionados, limpos com solução de hipoclorito de sódio a 100 mg.L⁻¹ e mantidos sob 24±2 °C e 75±4% U.R por 24 horas até atingir estágio 3 de maturação (coloração amarela em 26 a 40% da casca)..

Inhames (*Dioscorea* spp.), selecionados quanto à uniformidade de maturação, ausência de danos e doenças, foram adquiridos na Empresa Paraibana de Abastecimento - EMPASA de Campina Grande – PB e em seguida transportados ao Laboratório de Biologia e Tecnologia Pós-Colheita do CCA/UFPB.

Sementes de chia integrais (*Vitalin Integral* – *Vitalin Alimentos*) foram adquiridas no comércio local de Areia – PB e levadas ao Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita.

2.2. Métodos

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 × 7, sendo 5 recobrimentos e 7 períodos de avaliação (0, 2, 4, 6, 8, 10 e 12 dias), com três repetições, compostas por 1 bandeja cada.

Determinou-se, após testes prévios, formular soluções com concentração máxima total de 4%, conforme Tabela 1. Optou-se por utilizar 0,025% (Azarakhsh et al., 2014; Rojas-Graü et al., 2007) de óleo essencial de laranja doce em duas formulações em combinação com fécula e a mucilagem.

Tabela 1 Concentração de fécula de inhame e mucilagem de chia nos recobrimentos aplicados em mamão ‘Golden’ minimamente processado.

Recobrimento	Concentração	Código
Fécula de inhame (F)	4% de F	4F
Fécula de inhame (F) e mucilagem de chia (M) 1:1 + óleo essencial (O)	2% de F e 2% de M + 0,025% de O	2F2MO
Fécula de inhame (F) e mucilagem de chia (M) 1:3 + óleo essencial (O)	1% de F e 3% de MC + 0,025% de O	1F3MO
Fécula de inhame e mucilagem de chia 1:3	1% de F e 3% de MC	1F3M
Controle absoluto	Frutos sem recobrimentos	C

2.2.1. Obtenção da fécula de inhame

Os inhames foram limpos inicialmente com auxílio de escovas de cerdas suaves para remoção de sujidades vindas do campo. Em seguida, foram lavados em água corrente e mergulhados em solução de hipoclorito de sódio a 100 mg.L⁻¹. Os rizomas foram descascados manualmente com uso de facas de lâminas de aço inoxidável. Em seguida, foram cortados em rodela, trituradas em multiprocessador e em seguida homogeneizadas com água destilada, em

liquidificador industrial, até a formação de uma pasta que foi coada, utilizando-se 1m² de tecido (voil), de modo que o líquido resultante fosse depositado em um recipiente plástico.

O líquido filtrado permaneceu por 12 horas em repouso até que se observasse uma massa fina acumulada no fundo do recipiente e se pudesse descartar a água sobrenadante, concluindo-se a primeira lavagem. Após a retirada do sobrenadante, foi realizada uma nova lavagem e aguardou-se nova decantação para drenagem da água. Concluída a última drenagem, a massa acumulada raspada do fundo do recipiente e peneirada em peneiras de nylon. Os utensílios de raspagem e as peneiras foram previamente sanificados sob luz ultravioleta em câmara asséptica de fluxo laminar. O material peneirado foi levado para estufa à 70 °C onde permaneceu até que apresentasse solidez e consistência semelhante à de amido de milho comercial.

2.2.2. *Extração da mucilagem de chia*

A extração da mucilagem se deu conforme Muñhoz et al. (2012), com algumas adaptações. Foram pesados 20 g de sementes para hidratação com 1L de água destilada e ultrapurificada. As sementes foram colocadas num Becker, dispersas em água e levadas à agitação por 2 h em agitador magnético à temperatura ambiente. Em seguida, as sementes foram separadas da suspensão de mucilagem por filtração à vácuo e a porção filtrada foi concentrado em rotaevaporador sob temperatura de 65 °C por 1 h.

2.2.3. *Obtenção das soluções de recobrimentos*

As dispersões de fécula de inhame foram preparadas através da geleificação do amido, que consistiu no aquecimento da solução até a temperatura de 70 °C, sob constante agitação. As quantidades a serem pesadas de fécula, para se obter os percentuais propostos nas formulações da Tabela 1, foram calculadas com base no seu teor de matéria seca, verificado após determinação da umidade, conforme equação:

$$P = \frac{C \times 100}{MS}$$

Em que: *P* é a quantidade a ser pesada de fécula de inhame para elaboração de 100 mL de solução de recobrimento, *C* é a concentração (em percentual) de fécula necessária na solução de recobrimento, e *MS* é o teor de matéria seca de fécula.

A adição da mucilagem de chia nas formulações 2, 3 e 4% se deu em sequência da obtenção das soluções de amido geleificado. Em baldes plásticos, previamente higienizados com solução de hipoclorito de sódio a 200 mg.L⁻¹, a mucilagem foi adicionada à solução de fécula de inhame e incorporada a esta com auxílio de homogeneizadores de aço inoxidável.

Em todos os recobrimentos formulados adicionou-se 1,2 % de glicerol como plastificante. Na adição do glicerol também se fez uso dos homogeneizadores de aço inoxidável.

Nos recobrimentos 2F2MO e 1F3MO a adição do óleo essencial de laranja doce se deu após a homogeneização da mucilagem de chia e do glicerol, tendo sido feita previamente uma mistura da quantidade equivalente ao percentual proposto do óleo essencial (0,025%) com Tween 40 como espalhante na proporção 1:1 v/v. A mistura de óleo e Tween se deu em homogeneizador analógico.

2.2.3. *Processamento mínimo*

O processamento mínimo (PM) foi realizado integralmente à 12 °C, no laboratório de Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças do LBTTC – CCA/UFPB, sob Boas Práticas de Fabricação. As instalações, utensílios e equipamentos utilizados foram sanitizados com solução a 200 mg.L⁻¹ de hipoclorito de sódio.

Os mamões foram mantidos a 12±1 °C e 80±2% U.R durante doze horas, antes do processamento, em seguida, foram descascados manualmente com lâminas em aço inoxidável e cortados longitudinalmente para remoção das sementes. As metades de mamão sem sementes foram então cortadas, com cavidade voltada para baixo, em semicírculos de espessura aproximada de 2,0 cm. As fatias foram imersas em duas soluções de hipoclorito de sódio (50 e 25 mg.L⁻¹), por 30 segundos e dispostas em telas de aço inox sanificadas suspensas para drenagem para posterior imersão nos recobrimentos. A imersão das fatias nas soluções de recobrimento durou 30 segundos, exceto para o controle, sendo as fatias molhadas dispostas em telas para a formação e adesão dos recobrimentos às suas superfícies.

Para cada recobrimento, bandejas de politereftalato de etileno - PET transparentes (PSG-Embalagens®, dimensões internas de 166×85×57mm) foram formadas com seis fatias (aproximadamente 150g) e envolvidas com filme de policloreto de vinila - PVC (Lusafilm, da DispaFilm®, espessura de 14µm). As bandejas foram armazenadas a 5±1 °C e 80±2% de umidade relativa, em câmaras incubadoras tipo BOD durante 12 dias, sendo analisadas a cada 2 dias.

2.2.4. *Avaliações de qualidade*

Foram determinados a perda de massa (%), através da pesagem diária das amostras em balança semi-analítica, considerando-se a massa inicial, sendo o percentual foi obtido em cada período de análise em relação ao peso inicial; a firmeza, determinada através de penetrômetro manual Magness Taylor Pressure Tester, região de inserção de 2/16 polegadas de diâmetro, em 2 leituras por fatia; o teor de sólidos solúveis (SS) por leitura direta com refratômetro tipo Abbe

digital, ATAGO N1 (AOAC, 2005); a acidez titulável (AT – g ácido cítrico. 100 g⁻¹ de polpa) foi determinada por titulometria com solução de NaOH 0,1M (IAL, 2005); relação SS/AT, determinada mediante divisão de SS por AT; o pH determinado utilizando potenciômetro digital e a permeabilidade de membrana (%) por meio de condutivímetro de bancada, utilizando-se 10 g da amostra em 75 mL de água deionizadas (Palma et al., 1995), segundo ajustes propostos por Zhao (2006), utilizando para expressão dos resultados a relação dos valores da primeira medição de condutividade (após 30 minutos a 24 °C) pela segunda medição de condutividade (após 15 minutos a 95 °C seguido de resfriamento) multiplicado por 100.

2.2.5. *Análise sensorial*

Foram realizados testes de aceitação com escala hedônica de nove pontos quanto à intensidade (1 = ausente/ extremamente fraco e 9 = extremamente forte) dos aspectos desidratado, esbranquiçado, escurecido e exsudato além de danos graves (mofos e/ou podridões) e da cor.

Também por escala estruturada de 9 pontos (1 = desgostei extremamente e 9 = gostei extremamente) ocorreu avaliação afetiva dos aspectos de cor, aparência e avaliação global e por escala de 5 pontos (1 = certamente não compraria e 5 = certamente compraria) a avaliação da intenção de compra.

Para os parâmetros avaliados pela escala II, scores ≥ 6 ("gostei ligeiramente") indicavam boa aceitabilidade (Albertini et al., 2016; Martiñon et al., 2014). Para a intenção de compra, considerou-se 3 (talvez comprasse/ talvez não comprasse) como score limite.

Os testes foram realizados a cada quatro dias, durante o armazenamento (0, 4, 8 e 12 dias), por 11 julgadores treinados, com média de idade de 27 anos, incluindo homens e mulheres, consumidores de mamão e com disponibilidade e interesse em realizar os testes. As amostras foram apresentadas simultaneamente aos julgadores, identificadas com códigos de três dígitos aleatórios. A presente pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFPB, sob o nº CAAE: 45784315.9.0000.5188.

2.2.6. *Caracterização dos filmes*

Amostras dos recobrimentos 4F a 2F2MO na forma de filme, foram enviadas para análises no Laboratório de Desenvolvimento e Avaliação de Biomateriais do Nordeste–CERTBIO da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em Campina Grande – PB.

2.2.6.1. *Obtenção dos filmes*

No LBTPC, antes da imersão dos mamões minimamente processados, foram transferidos 20 mL de cada uma das referidas formulações para placas de Petri de 15 cm de diâmetro. As placas permaneceram durante 24 horas em ambiente climatizado à 18 ° C, com circulação de ar, até que se formassem as películas.

2.2.6.2. Caracterização

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia Dispersiva de raios X (EDS): Análise microestrutural da morfologia e topografia das superfícies e identificação dos elementos químicos presentes realizada em microscópio eletrônico de varredura de bancada Phenom Pro-X, Phenom Word aumento máximo de 40000x, profundidade de foco 1mm, resolução de 30nm, tensão de 5 e 15 KV, baixo vácuo e pressão variada (1 a 270 Pa), sem recobrimento metálico. Um detector de raios X característicos, acoplado ao MEV, realizou microanálise química por Espectroscopia Dispersiva de raios X (EDS).

Difração de raios X (DRX): Para determinar o grau de cristalinidade, a temperatura ambiente, em aparelho XRD-7000 Shimadzu, utilizando radiação $K\alpha$ do cobre (1,5418 Å), tensão de 40kv e corrente 30mA. Os filmes de fécula de inhame e fécula associada à mucilagem de chia foram examinados sob ângulo 2 θ variando de 5,0 e 70,0 graus a uma velocidade de 2°/min.

Espectroscopia na Região de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR): A técnica FTIR foi usada para identificar as bandas características dos grupos funcionais, utilizando um equipamento Spectrum 400 da Perkin Elmer, presentes nos materiais desenvolvidos nesta pesquisa utilizando a faixa de varredura de 4000 a 650 cm^{-1} .

2.2.7. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$). Para a fonte de variação período de armazenamento (dias), aplicou-se análise de regressão polinomial até segundo grau; para a fonte tratamentos (recobrimentos) foi aplicado teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Realizou-se análise de componentes principais (ACP) para identificar as variáveis com maior contribuição na variabilidade dos dados, bem como análise de *cluster* para agrupar os recobrimentos nos dias que apresentam similaridade em relação às características estudadas. Para a escolha das variáveis significativas dentro de cada componente principal, o maior autovetor foi multiplicado por 0,7. O resultado dessa operação foi considerado como limite de inclusão das variáveis, em que autovetores abaixo do mesmo não contribuem significativamente para a variância do componente principal. Utilizou-se o software MVSP

version 3.13n (Kovach, 2006) para as análises de componentes principais e o SAS 9.3 (2011) para cluster.

3. Resultados e discussão

3.1 Avaliações de qualidade

A menor perda de massa foi observada em mamão ‘Golden’ minimamente processados (MMP) sob o recobrimento 4F, indicando menor permeabilidade a vapor de água deste recobrimento (Figura 1). A maior perda de massa média, por sua vez, foi observada em MMP recoberto com amido de inhame e mucilagem e chia na proporção de 1:3 adicionado de óleo essencial, possivelmente devido um aumento da taxa metabólica favorecida pela provável maior permeabilidade deste recobrimento. Aliado a isso, uma elevada hidrofiliicidade (capacidade de hidratação) da mucilagem de chia é reportada por Capitani et al. (2013).

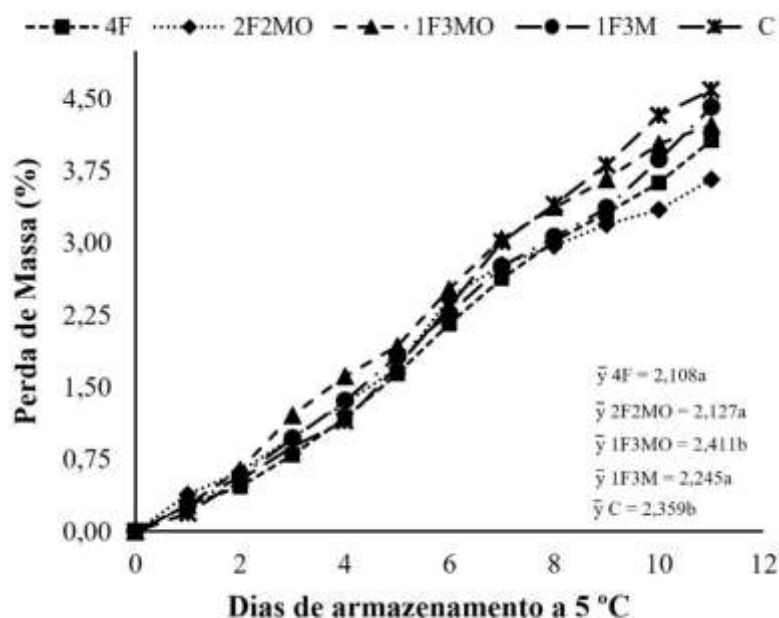


Fig. 1. Perda de massa de mamões ‘Golden’ minimamente processados mantidos por 12 dias sob refrigeração ($5 \pm 1^\circ\text{C}$ e $80 \pm 2\%\text{UR}$), sob recobrimentos à base de 4% fécula de inhame (4F), 2% de fécula de inhame + 2% mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (2F2MO), 1% de fécula de inhame + 3% de mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (1F3MO), 1% de fécula de inhame + 3% mucilagem de chia (1F3M) e controle – sem recobrimento (C). Médias seguidas pela mesma letra, não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

A avaliação da perda de massa é muito importante no armazenamento de produtos minimamente processados devido à elevada manipulação das etapas de processamento (Azarakhsh et al., 2012). Nesse sentido, Brasil et al. (2012), ao avaliarem a qualidade de

mamões ‘Maradol’ minimamente processados e recobertos com quitosana (2%) e pectina (2%), reportaram índices de perda de massa duas vezes superiores em amostras não recobertas (controle) armazenadas a 4 °C.

Elevada perda de massa (10,83%) também foi obtida para fatias de mamão ‘Formosa’ não-recobertas, em avaliação da qualidade minimamente processados sob recobrimentos à base de isolado proteico de Corvina com e sem organoargila montmorilonita durante 12 dias a 5°C (Cortez-Vega et al., 2104), bem como, em estudo desta mesma cultivar minimamente processada tratada com goma xantana (0,5%) isoladamente ou combinada com quitosana (1%) e goma guar (0,25%) observaram-se redução na perda de massa quando comparados ao controle durante 12 dias de armazenamento à 5 °C (Cortez-Vega et al., 2013).

Em abacaxis minimamente recobertos com alginato a 1,29% (com e sem adição de óleo essencial de capim-limão e 0,025% de óleo de girassol), Azarakhsh et al. (2014) observaram aumento significativo na perda de massa durante 16 dias armazenamento a 10 °C sem, no entanto, identificar diferenças significativas entre recobrimentos. Alikhani (2014) observou menores perdas de massa, ao longo de 9 dias em manga minimamente processadas sob recobrimentos de mucilagem de cactos (1%) combinados ou não com óleo essencial de alecrim (0,15%), em relação ao controle.

A firmeza de MMP diferiu entre fatias dos diferentes recobrimentos (Figura 2a) sendo no início do armazenamento da ordem de 7,43 N, no 4º dia todos os MMP atingiram a menor firmeza com valores médios de 0,27 a 1,55 N, seguido de aumento, atingindo aos 12 dias média geral de 2,9 N.

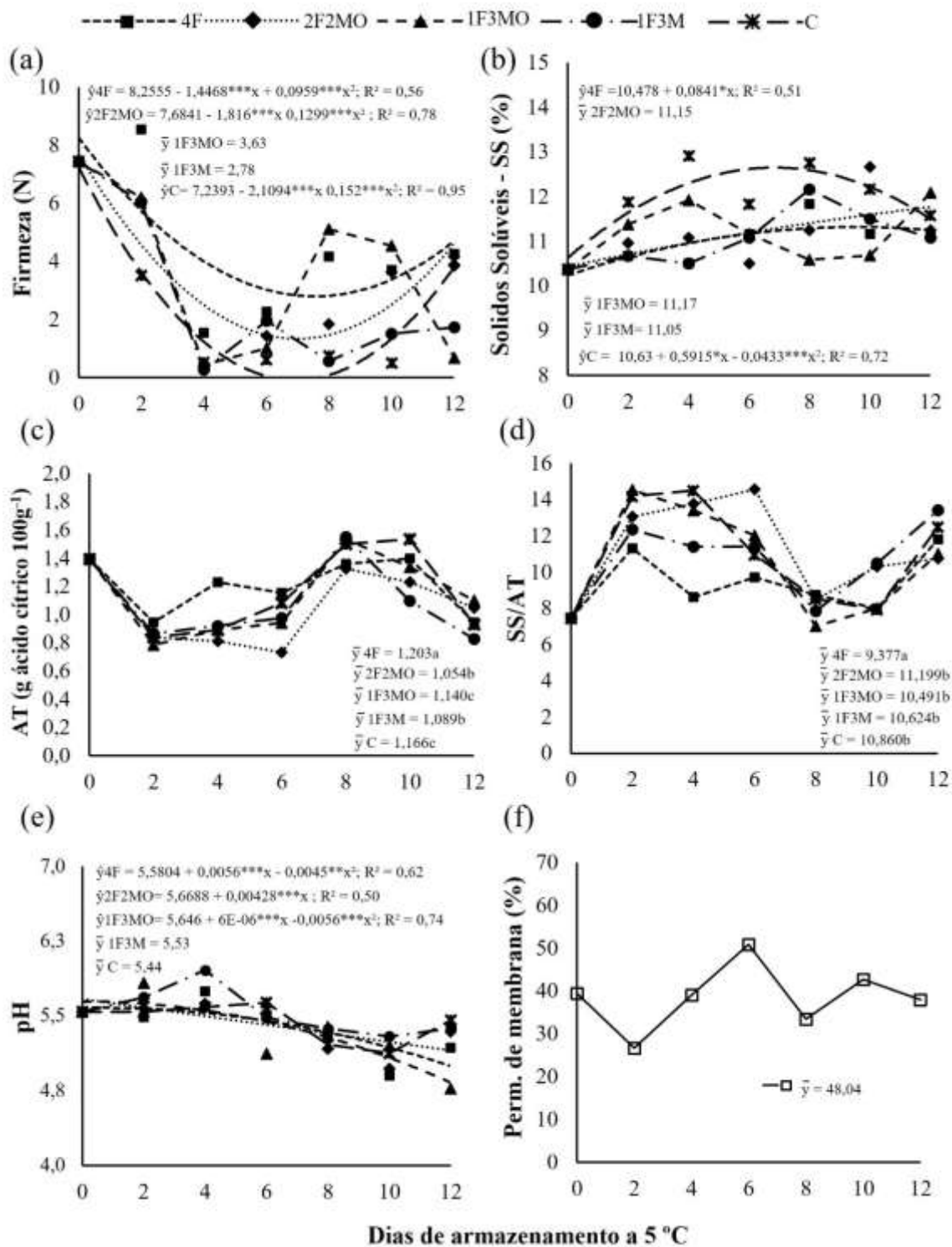


Fig. 2. Firmeza (a), sólidos solúveis – SS (b), acidez titulável – AT (c), SS/AT (d), pH (e) e permeabilidade de membrana (A) de mamões ‘Golden’ minimamente processados mantidos por 12 dias sob refrigeração ($5 \pm 1^\circ\text{C}$ e $80 \pm 2\%\text{UR}$), sob recobrimentos à base de 4% fécula de inhame (4F), 2% de fécula de inhame + 2% mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (2F2MO), 1% de fécula de inhame + 3% de mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (1F3MO), 1% de fécula de inhame + 3% mucilagem de chia (1F3M) e testemunha – sem recobrimento (C). Médias seguidas pela mesma letra, nas linhas, não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Conforme também observado neste trabalho, recobrimentos com quitosana e pectina adicionados de trans-cinamaldeído (2%) embalados em diferentes condições também mantiveram firmeza superior ao controle em MMP ‘Maradol’ (BRASIL et al., 2012), assim como tratamentos com imersões químicas (soluções de cloreto de cálcio a 1% e ácido ascórbico a 2%) e atmosfera controlada (5% de O₂, 10% CO₂ e 85% N₂) na conservação de mamões, a 5 °C por 25 dias (Waghmare e Annapure, 2013).

Em mamões ‘Formosa’ minimamente processados, armazenados durante 12 dias a 5 °C, Cortez-Vega et al. (2104) observaram influência do tempo e dos recobrimentos à base de isolado proteico de Corvina com e sem adição de organoargila montmorilonita na firmeza do produto, tendo sido mais severa a diminuição da firmeza no controle. No entanto, esses autores não registraram variação semelhante à aqui observada, de diminuição de firmeza seguida de acréscimo.

Trigo et al. (2012), verificaram médias oscilantes de firmeza ao longo de 15 dias de armazenamento a 5 °C de mamões ‘Formosa’ minimamente processados recobertos de amido de arroz (3%), alginato de sódio (0,5%) e carboximetilcelulose (0,25%). Esses autores argumentaram que pode-se atribuir o aumento da firmeza à perda de umidade das fatias, que provoca formação de tecido superficial mais resistente, bem como, à lignificação gerada pela “cicatrização da ferida” induzida pelas injúrias decorrentes do processamento mínimo, o que também pode justificar o comportamento observado no presente trabalho.

Alikhani (2014) defende que, apesar do caráter hidrofílico dos recobrimentos à base de polissacáridos, estes podem atuar como uma barreira e transferência de água, retardando a desidratação e, por conseguinte, reduzir a perda de firmeza da fruta recoberta.

Ao longo dos doze dias a tendência dos sólidos solúveis (SS) foi de aumento. O maior acúmulo ocorreu em fatias sem recobrimento (C), enquanto o menor se deu em fatias de MMP sob 4F (Figura 2b), indicando declínio na utilização de carboidratos e, portanto, retardo do metabolismo.

Semelhante ao observado neste estudo, Cortez-Vega et al. (2104) constataram, em mamões ‘Formosa’ minimamente processados sob recobrimentos à base de isolado proteico de Corvina com adição ou não-adição de organoargila montmorilonita na qualidade durante 12 dias sob 5 °C, aumento no teor de sólidos solúveis durante o armazenamento, sendo maior o acréscimo nas fatias sem recobrimento.

Waghmare e Annapure (2013), em mamões minimamente processados armazenados por 25 dias a 5 °C após imersões químicas em soluções de cloreto de cálcio a 1% e ácido ascórbico a 2% e embalagens em atmosfera controlada (5% de O₂, 10% CO₂ e 85% N₂), isoladamente e

em combinações, observaram acréscimo nos teores de sólidos solúveis de todas as amostras, independentemente do recobrimento, durante o armazenamento, embora as amostras não tratadas tenham atingido maiores índices.

Contrariamente, em mamões ‘Maradol’ minimamente processados, Brasil et al. (2012), verificaram após 15 dias de armazenamento que os teores de sólidos solúveis de fatias recobertas com quitosana e pectina adicionadas de trans-cinamaldeído eram superiores ($p < 0,5$) ao do controle.

Os valores de SS do mamão minimamente processado com e sem recobrimento aumentam à medida que a maturação avança em decorrência do aumento da degradação de polissacarídeos ou devido à perda de umidade que provoca acúmulo de açúcares nos tecidos (Cortez-Vega et al., 2014). Portanto, quando há aplicação de um recobrimento o retardo deste acúmulo é um indicativo de que os processos metabólicos estão diminuídos o que favorece, até certo ponto, a manutenção de melhor qualidade recém-cortada por mais tempo.

Decréscimo nos SS de minimamente processados sob recobrimentos foram registrados em fatias de mamão ‘Formosa’ recobertas com base de amido de arroz, alginato de sódio e carboximetilcelulose (Trigo et al., 2012) e em mangas recobertas com mucilagem de cacto e óleo essencial de alecrim, Alikhani (2014) ao longo do armazenamento, com maior declínio naquelas não recobertas.

Os MMP recobertos com 4F diferiram de 2F2MO e 1F3M, iguais entre si, que por sua vez também diferiram de 1F3MO e C em relação à acidez titulável (AT) (Figura 2c). De modo geral, houve aumento na AT dos MMP a partir do segundo dia ($0,854 \text{ g.100g}^{-1}$) até o oitavo dia ($1,453 \text{ g.100g}^{-1}$), tendo diminuído ao final dos doze dias para $0,969 \text{ g.100g}^{-1}$. Efeitos da interação entre recobrimentos e período de armazenamento foram observados, sem, no entanto se ajustarem modelos polinomiais de até 2º grau.

Semelhantemente ao observado neste estudo até o oitavo dia de armazenamento, Cortez-Vega et al. (2013), detectaram aumento de AT em mamão ‘Formosa’ minimamente processado, durante 12 dias, independentemente do recobrimento à base de goma xantana isolada ou em combinações com quitosana e goma guar, associando tal comportamento à síntese de ácidos orgânicos, como o málico e cítrico bem como o aumento no conteúdo de ácido galacturônico resultante da degradação da parede celular.

Também houve aumento, nos níveis de AT de mamões ‘Formosa’ minimamente processados e mantidos sob recobrimentos à base de isolado proteico de Corvina com e sem organoargila montmorilonita, armazenados por 12 dias a 5°C (Cortez-Vega et al., 2104).

Diversamente ao comportamento aqui observado, Mamões ‘Maradol’ minimamente processados recobertos com quitosana e pectina adicionados de óleo essencial trans-cinamaldeído mantiveram a acidez titulável constantes ao longo do armazenamento, ao passo que, as fatias controle apresentaram decréscimo na AT (Brasil et al., 2012), bem como, Mamões ‘Formosa’ minimamente processados (Trigo et al., 2012) tenderam a apresentar aumento na AT quando recobertos com amido de arroz, alginato e carboximetilcelulose, embora o aumento mais significativo tenha sido registrado para fatias controle, mamões ‘Pusa delicious’ minimamente processados recobertos de gel de *Aloe vera* e mel (10%) em combinação ou não com mergulho químico em solução de ácido ascórbico (1%) (Kuwar et al., 2015) e ainda em mamões ‘Ratne’ minimamente processados em dois estádios de maturação, lavados com 5% de peróxido de hidrogênio e armazenados em bandejas de PVC com 5, 7 e 10 micro perfurações por 19 dias a 4 °C apresentaram queda na AT independentemente do tratamento e condições da embalagem (Jayathunge et al., 2014).

A tendência ao declínio da AT indica a conversão de ácidos orgânicos em açúcares e sua posterior utilização no processo metabólico da respiração bem como outros processos bioquímicos (Kuwar et al., 2015; Jayathunge et al., 2014).

Em mangas minimamente processadas recobertas com mucilagem de cacto aliada à óleo essencial de alecrim microencapsulado e não microencapsuado, não foram reportadas diferenças significativas para a AT (Alikhani, 2014).

A relação entre os sólidos solúveis (SS) e a acidez titulável (AT) foi influenciada pelos recobrimentos (Figura 2d). De maneira geral, aos 2 dias de armazenamento mamões MP de todos os recobrimentos apresentaram a maior relação SS/AT, tendo iniciado no valor médio de 7,45 para 13,08 após dois dias, sendo os mamões minimamente processados recobertos com 2F2MO aqueles com maior valor médio de SS/AT (11,19).

O pH dos mamões minimamente processados diminuiu quadraticamente durante o armazenamento tendo iniciado em 5,54 e chegado ao fim dos doze dias com valor igual a 5,22. Foi verificada diferença significativa entre recobrimentos para o pH, assim como, efeito significativo da interação entre recobrimentos e período de armazenamento (Figura 2e). A maior queda de pH foi observada em fatias recobertas com fécula a 4% (de 5,54 no início do armazenamento a 5,18 ao fim de 12 dias) ao passo que as fatias controle apresentaram menor declínio no pH (de 5,54 a 5,45), seguidas das 2F2MO.

Declínio nos valores médios de pH de mamões minimamente processados sob recobrimentos comestíveis também foram registradas por Cortez-Vega et al. (2014) em mamão ‘Formosa’ minimamente processados os quais, quando submetidos à recobrimentos de isolado

proteico de peixe com organoargila montmorilonita, por 12 dias sob 5 °C, também por Cortez-Vega et al. (2013) em mamões ‘Formosa’ minimamente processados submetidos a recobrimentos de goma xantana isolada e combinada com quitosana e goma guar durante 12 dias, independentemente do recobrimento aplicado e ainda por Trigo et al. (2012) em mamões ‘Formosa’ minimamente processados recobertos com amido de arroz, alginato de sódio e carboximetilcelulose.

Diferente do observado no presente estudo, Brasil et al. (2012), não verificaram influências da aplicação de recobrimentos à base de quitosana e pectina adicionados de óleo essencial de canela no pH de mamões ‘Maradol’ minimamente processados. Mamões “Formosa” minimamente processado adicionado de antioxidante (ácido ascórbico e ácido cítrico) e armazenados durante 24, 48, 72 e 96 horas (Chaves et al., 2011) que apresentaram leve aumento no pH das amostras recobertas, ao passo que, no controle a tendência dessa característica foi de declínio.

A permeabilidade de membrana dos mamões minimamente processados variou com oscilações ao longo dos dias de armazenamento (Figura 2f). Entre o segundo e o sexto dia de armazenamento, observou-se um aumento considerável no vazamento de eletrólitos o que sugere uma maior vulnerabilidade das membranas celulares e pode estar relacionado à firmeza, que neste período demonstrou baixos valores, indicando maior degradação das paredes celulares.

Eventos físicos tais como feridas ou danos mecânicos ou ativação de enzimas envolvidas na senescência, decorrentes das operações os do processamento mínimo, afetam fortemente a integridade da membrana a qual pode ser mensurada pelo vazamento de eletrólitos, parâmetro físico determinado por leituras de condutividade elétrica (Natalini et al., 2014).

A perda de proteção epidérmica e tecidos subepidérmicos oriundas das lesões agudas, associadas ao processamento mínimo de frutas e hortaliças, contribuem para alta perecibilidade dos produtos minimamente processados (Karakurt e Huber, 2003). Natalini et al. (2014), constataram em tomates de mesa minimamente processados que os ferimentos do processamento aceleram a degradação dos tecidos pela ativação das fosfolipases durante o armazenamento.

3.2. Avaliação sensorial

A intensidade dos aspectos desidratado (Figura 3a) e esbranquiçado (Figura 3b) foi influenciada pelo tempo de armazenamento, enquanto o aspecto exsudato (Figura 3c) demonstrou-se uma característica inexpressiva. Por sua vez, o aspecto escurecido (Figura 3d), danos graves (Figura 3e) e intensidade da cor (Figura 3f) foram influenciados pelo período de armazenamento, pelos recobrimentos aplicados, bem como pela interação entre período e recobrimentos.

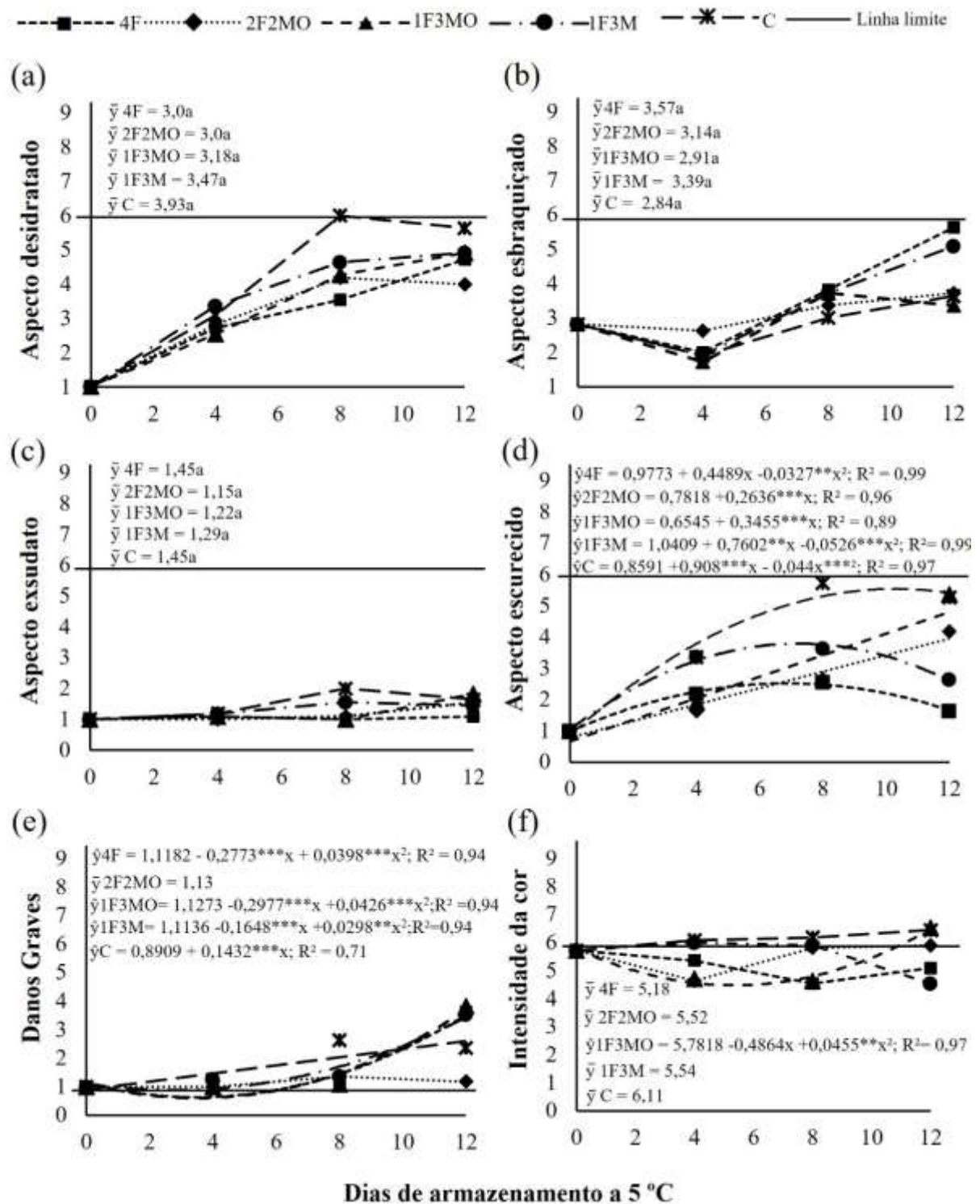


Fig. 3. Notas para aspecto desidratado (a), aspecto esbranquiçado (b), aspecto exsudato (c), aspecto escurecido (d), danos graves (e) e intensidade da cor (f) de mamões ‘Golden’ minimamente processados mantidos por 12 dias sob refrigeração ($5 \pm 1^\circ\text{C}$ e $80 \pm 2\%\text{UR}$), sob recobrimentos à base de 4% fécula de inhame (4F), 2% de fécula de inhame + 2% mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (2F2MO), 1% de fécula de inhame + 3% de mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (1F3MO), 1% de fécula de inhame + 3% mucilagem de chia (1F3M) e testemunha – sem recobrimento (C). Médias seguidas pela mesma letra, não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

À medida que os dias de armazenamento avançavam, as notas para intensidade do aspecto desidratado evoluíram do conceito 1 (ausente/extremamente fraco), no período inicial, para nota média de 4,67 ao final dos 12 dias de armazenamento. A nota 4 correspondia ao conceito de “ligeiramente fraco” e a nota 5 de “nem forte, nem fraco”. O aumento das notas de intensidade do aspecto desidratado indicam que os MMP perderam água ao longo do armazenamento, como observado na perda de massa, mas isso parece não ter sido decorrente da exsudação, visto que as notas do aspecto exsudato foram pouco alteradas.

Mamões ‘Formosa’ minimamente processados tratados por imersão em soluções de cinamaldeído e cloreto de cálcio combinados ou não, armazenados a 5 °C por 15 dias, obtiveram as maiores notas em relação à aparência devido ao aspecto ressecado observado na superfície dos frutos controle, semelhantemente ao aqui observado (Albertini et al., 2016).

De acordo com Carnelossi et al. (2002), o ressecamento de produtos minimamente processados é bastante crítico para a manutenção de sua qualidade e aparência, limitando seu valor de mercado.

Com base nas notas atribuídas pelos painelistas, observou-se um aumento de intensidade para o aspecto esbranquiçado. Ao final dos 12 dias de armazenamento, as amostras classificavam-se com nota média entre os conceitos de “ligeiramente fraco” e “nem forte, nem fraco” similar ao reportado por Trigo et al. (2012), em avaliação de fatias de mamões ‘Formosa’ MP, armazenados por 15 dias a 5 °C sob recobrimento de amido de arroz a 3%, indicadas como ligeiramente esbranquiçadas nos últimos períodos de avaliação.

Em cenouras minimamente processadas recobertas com fécula de mandioca (1,7%) e goma das folhas de *hsian-taso* (0,3%) contendo óleos essenciais de canela (0,1-0,3%) ou semente de uva (0,3-0,6%), armazenadas a 4 °C por 15 dias, foi observada influência dos recobrimentos sobre a diminuição do aspecto esbranquiçado das amostras tratadas, em relação ao controle (Lai et al., 2013).

Para o aspecto escurecido (Figura 3d), houve aumento nas notas médias atribuídas pelos provadores até o 8º dia seguido de declínio ao completarem-se os 12 dias de armazenamento, exceto nos recobrimentos 2F2MO e 1F3MO que aumentaram até o décimo segundo dia. MMP do controle foram os que apresentaram maior aspecto escurecido, enquanto as fatias recobertas com 4F, o menor, certamente em decorrência da menor permeabilidade deste recobrimento.

O controle diferiu ($p < 0,05$) dos demais por atingir notas mais elevadas após 12 dias, tendo apresentado no oitavo dia uma nota média de 5,72 (entre “nem forte, nem fraco” e “ligeiramente forte”). O tratamento com recobrimento à 4% de fécula de inhame, 4F, apresentou

menor média entre os recobrimentos ao final do período de armazenamento, sendo classificado como de aspecto escurecido “moderadamente fraco”.

Em mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas recobertas com fécula de mandioca adicionada ou não de glicerol, Chiumarelli et al. (2010), atribuíram o declínio nas notas médias de aceitação do controle ao escurecimento enzimático, observado nas fatias, o que provavelmente pode explicar o observado no presente trabalho para o controle, a partir do oitavo dia de armazenamento, e aos demais os recobrimentos no décimo segundo dia com exceção do 2F2MO.

As notas obtidas para danos graves, caracterizado por manchas que se resultante do crescimento de microrganismos, com a evolução do armazenamento (Figura 3e). O aumento ocorreu de modo que, quando houve manifestação de dano grave, esta alcançou notas de intensidade entre “moderadamente fraco” e “regularmente fraco”. Para esta característica adotou-se score = 1 ausente/ extremamente fraco como limite mínimo de aceitação.

Embora após o 6º dia de armazenamento todos os MMP tenham de fato ultrapassado a linha limite para danos, ancorada em 1 = ausente/ extremamente fraco, as fatias sob 2F2MO apresentaram os menores índices dessa característica, indicando a adequação dessa formulação para recobrimento.

Quanto a intensidade da cor, constatou-se efeito significativo da interação período × recobrimentos através da análise multivariada de probabilidade de frequência.

Para as características cor (Figura 4a), aparência (Figura 4b) e avaliação Global (Figura 4c) e intenção de compra (Figura 4d) avaliadas em grau de afetividade (gostar ou desgostar) verificaram-se diferenças significativas em relação a interação período × recobrimento.

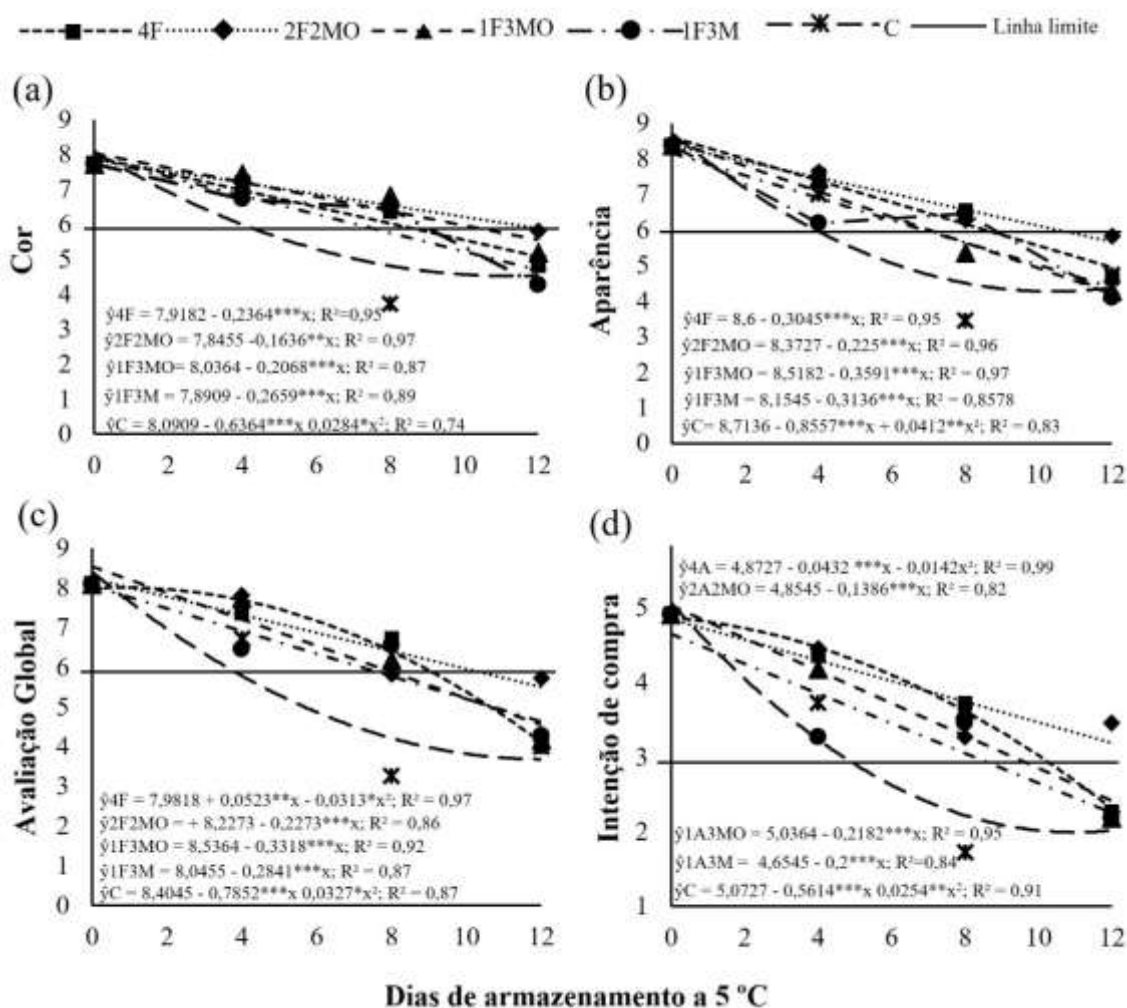


Fig. 4. Notas de aceitação da cor (a), aparência (b), avaliação Global (c) e intenção de compra (d) de mamões ‘Golden’ minimamente processados mantidos por 12 dias sob refrigeração ($5 \pm 1^\circ\text{C}$ e $80 \pm 2\%\text{UR}$), sob recobrimentos à base de 4% fécula de inhame (4F), 2% de fécula de inhame + 2% mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (2F2MO), 1% de fécula de inhame + 3% de mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (1F3MO), 1% de fécula de inhame + 3% mucilagem de chia (1F3M) e testemunha – sem recobrimento (C) (escala: 1 = desgostei extremamente; 5 = nem gostei/nem desgostei e 9 = gostei extremamente).

A aceitação da coloração apresentou declínio durante o armazenamento, tendo as fatias C apresentando notas abaixo da linha limite após o quarto dia e as demais mantendo-se acima até o oitavo, com destaque para 2F2MO e 1F3M.

Contrariamente ao aqui observado, não houve influência do tempo de armazenamento durante 8 dias de armazenamento, para a cor em melões ‘Piel de Sapo’ minimamente processados recobertos com película à base de alginato (2%) enriquecido com óleos essenciais de canela, palmarosa e capim-limão (0,3 - 0,7%) (Raybaudi-Massilia et al., 2008).

Em relação à aceitação da aparência, do período inicial ao final, as notas médias atribuídas as fatias declinaram durante o armazenamento mas MMP recobertos com fécula de inhame e mucilagem de chia na proporção 1:1 acrescido de óleo essencial, obteve maior aprovação da aparência, com nota média no conceito 7 - “gostei regularmente”, ao passo que C atingiu o menor índice desta avaliação com nota média de 6 (gostei ligeiramente). Mamões minimamente processados dos demais recobrimentos tiveram avaliações inferiores.

Mamões ‘Formosa’ minimamente processados e mantidos sob recobrimentos de alginato, amido de arroz e carboximetilcelulose foram melhor avaliados, similarmente aos do presente estudo quanto à aparência, com classificação entre os conceitos “gostei ligeiramente” e “gostei muito” em um armazenamento de 15 dias (Trigo et al., 2012).

Albertini et al. (2016) em avaliação da qualidade de mamões ‘Formosa’ minimamente processados imersos em soluções exclusivas ou combinadas de cinamaldeído e cloreto de cálcio, armazenados durante 9 dias a 5 °C, também observaram que o controle recebeu as menores médias para aceitação da aparência, apesar de não diferirem dos demais recobrimentos.

Para avaliação global, o recobrimento de fécula de inhame combinada à mucilagem de chia, na proporção 1:1 adicionado de óleo essencial obteve destaque com média geral de 6,86, após os 12 dias, diferenciando-se dos demais, situada entre “gostei ligeiramente” e “gostei regularmente”. Por sua vez, verificou-se que o controle obteve as menores médias ($p < 0,05$) indicando que o emprego dos recobrimentos propicia a manutenção da qualidade do MMP durante o armazenamento.

Em termos de aceitação global, os MMP recobertos com 2F2MO mantiveram-se durante 12 dias acima do limite de aceitação (score = 6), enquanto fatias do controle apresentaram-se abaixo deste nível ao 4º dia de armazenamento, evidenciando o benefício da utilização deste recobrimento na manutenção da qualidade com um ganho de 8 dias de vida pós-corte e comparação ao controle.

Contrariamente ao constatado neste estudo, na avaliação da aceitabilidade geral de mamões ‘Ratne’ minimamente processados em dois estádios de maturação, Jayathunge et al. (2014) constataram notas superiores para controle de em relação aos tratamentos com 5% de peróxido de hidrogênio e armazenados em bandejas de PVC com 5, 7 e 10 micro perfurações por 19 dias a 4 °C.

Quanto a intenção de compra (seção III da ficha de análise sensorial), pode-se observar influências do período de armazenamento, dos recobrimentos aplicados, bem como, da interação entre período e recobrimentos (Figura 4d).

No decorrer dos 12 dias de armazenamento, as médias de intenção de compra declinaram de modo que no décimo segundo dia obteve nota média de 2,6, entre os conceitos de “possivelmente não compraria” e “talvez comprasse, talvez não comprasse”.

Igualmente ao que fora observado na avaliação global, o recobrimento 2F2MO também se destacou por manter as melhores notas para intenção de compra, estando acima do limite até o 12º dia enquanto as fatias controle declinaram para baixo do limite ao 4º dia. Um ganho de 8 dias, em relação ao controle, na preferência do consumidor.

Vantagens da aplicação de recobrimento no maior interesse de compra de um minimamente processado também foram relatadas por Chiumarelli et al. (2010) quando observaram que a intenção de compra foi claramente maior, por parte dos avaliadores, para mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas sob recobrimentos constituídos de fécula de mandioca (1, 2 e 3%) unicamente em relação ao controle. Em contrapartida, para abacaxis ‘Perola’ minimamente processados sob recobrimento de fécula de mandioca e prévio tratamento com ácido ascórbico, ácido cítrico e lactato de cálcio, Beirhals et al. (2011), observaram preferência, quanto à intenção de compra dos consumidores, pelo controle, ainda que as mostras recobertas tivessem obtido cerca de boa aceitação por 75% dos consumidores.

3.3. Caracterização dos filmes

As figuras 5a e 5b apresentam as micrografias, em 15kV aumento de 1500×, dos filmes 4F e 2F2MO, respectivamente. Observam-se superfícies rugosas e com certa porosidade evidenciada por pequenos pontos escuros, sendo estes aspectos mais uniformes em 4F. Em 2F2MO áreas de aspecto liso e microporos de cavidade mais larga apareceram discretamente espalhadas na matriz rugosa.

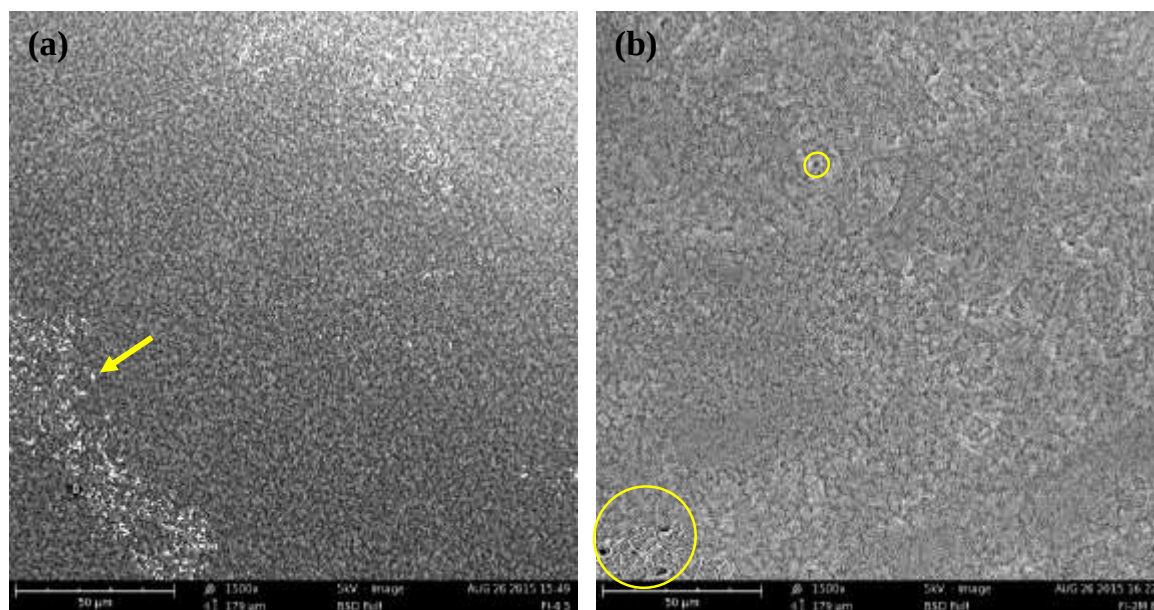


Fig. 5. Micrografias (MEV) a 5kV dos filmes constituídos de 4% de fécula de inhame (a) e 2% de fécula de inhame + 2% de mucilagem de chia + 0,025% de óleo essencial de laranja doce (b) reveladas por aumentos de 1500×

Na superfície de 4F observa-se também algumas partículas aderidas à matriz que provavelmente tratam-se de grânulos de amido não gelatinizados, semelhante ao que foi observado por Shirai et al. (2013) em película biodegradável de amido termoplástico de mandioca e ácido polilático. Observações quanto à rugosidade, porosidade e presença e grânulos não gelatinizados também foram feitas por Pushpadass et al. (2008) em filmes de amido de milho elaborados por extrusão com diferentes plastificantes.

Micrografias obtidas de microscopia eletrônica de varredura, realizadas a voltagem de 5kV, em filmes de fécula de inhame a 4% combinada com glicerol nas concentrações 1,3% e 2%, revelaram superfícies lisas, sem poros ou rachaduras de estrutura compacta as quais seriam alternativa viável para embalagens de morangos (Mali e Grossman, 2003).

Conforme Mali e Grossman (2003), a homogeneidade da matriz de filmes é um bom indicador de boas propriedades mecânicas existentes nele consequentes de sua integridade estrutural.

Filmes de amido, modificado e não modificado, de inhame tipo cush-cush (*Dioscorea trifida*) elaborados com 2% de fécula e 1,9% de glicerol apresentaram em micrografia de varredura, com amostras criocongeladas, superfície não porosas, estrutura compacta atribuída a elevada quantidade de amilose (Gutiérrez et al., 2015).

As micrografias eletrônicas de varredura, realizadas a 15 kV, mostraram que filmes de mucilagem de chia a 1% combinada às concentrações de 25, 50 e 75% de glicerol, tinham

aparência lisa, uniforme, sem rachaduras, quebras ou aberturas em suas superfícies, demonstrando que independentemente da concentração de glicerol, observa-se nos filmes de chia homogeneidade de matriz e integridade estrutural (Dick et al., 2015).

Muñoz et al. (2012b) ao analisar películas de mucilagem de chia e concentrado proteico de soro de leite nas proporções 1:3 e 1:4 de pHs ajustados para 7 e 10, observaram que, ao pH de 7,0, os filmes continham algumas fissuras originadas provavelmente de incorporação de ar durante a formação das películas além de pequenas partículas granulares não dissolvidas depositadas sobre a superfície da película, enquanto a pH 10, verificaram filmes de superfície suave, compacta e homogênea sem poros ou furos.

O Detector de EDS, interno ao microscópio de varredura, identificou a composição química presentes nos filmes através do espectro de raios X emitidos pela amostras. Foi utilizada a análise pontual em 5000× com 15kV (Figura 6a e b).

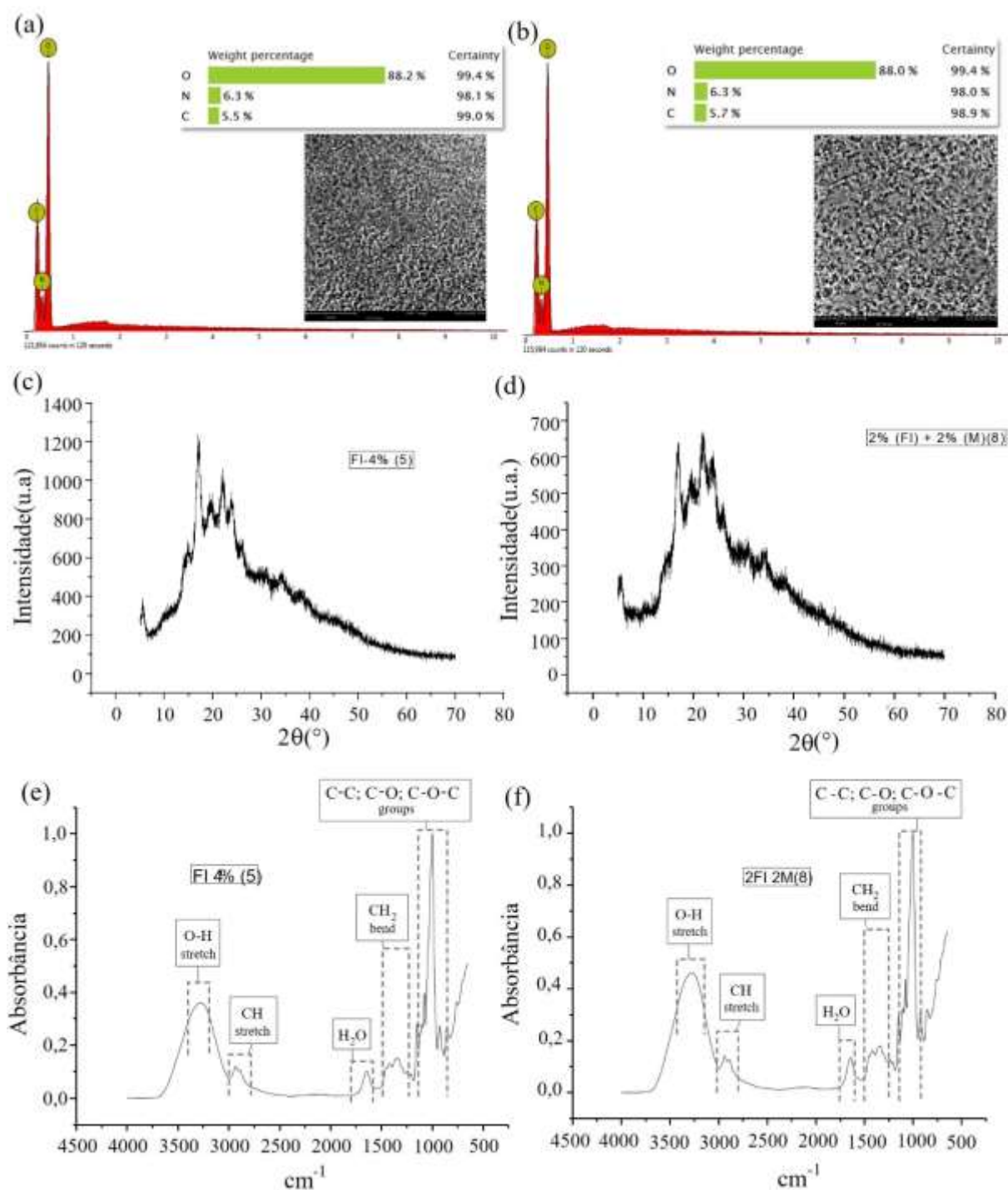


Fig. 6. Microanálise elementar por espectroscopia dispersiva de raios X – EDS dos filmes constituídos com 4% de fécula de inhame - 4F (a) e 2% de fécula com 2% de mucilagem de chia + 0,025% de óleo essencial de laranja doce - 2F2MO (b) em aumento de 5000 $\times$; Difrátogramas de dispersão de raios X - DRX dos filmes 4F (c) e 2F2MO (d) e Espectros de infravermelho com transformada de Fourier – FTIR dos filmes 4F (e) e 2F2MO (f).

Tanto em 4F quanto em 2F2MO foram detectados os elementos carbono (C) e oxigênio (O), este último com percentual 0,2% maior em 4F, como constituintes das matrizes dos filmes,

conforme espectros FTIR. A detecção de nitrogênio pode ser correspondente a compostos nitrogenados presentes na composição dos filmes.

Através dos difratogramas de raios X dos filmes (Figuras 6c e 6d), observou-se que aquele constituído de 4% de fécula apresentou maior cristalinidade que o filme de 2% de fécula somado a 2% de mucilagem de chia. Embora ambos tenham demonstrado padrão semicristalino, com picos posicionados na mesma região, os picos de difração do filme a 4% de fécula foram mais intensos.

Conforme Mali et al. (2006), padrões de difração de raios-X de películas de amido são caracterizados por picos agudos associados de difração da região cristalina e uma zona amorfa. O caráter semicristalino evidenciado pelos difratogramas dos filmes 4F e 2F2MO condizem com o observado por Mali et al. (2002) em caracterização microestrutural de filmes de amido de inhame nas concentrações de 3,30, 3,65 e 4,00% adicionados de glicerol a 1,30, 1,65 e 2,00%, nos quais observaram-se picos de absorção em uma dada região, zona cristalina, e uma alta contribuição de uma zona amorfa.

Maiores graus de cristalinidade são geralmente observados em estruturas mais resistentes mecanicamente, com aumento na resistência ao escoamento e na dureza do material (Carmo e Paiva, 2015). Quanto mais picos surgem num difratograma, maior a organização estrutural e consequente cristalização do biomaterial (Campos et al., 2005). Portanto, o filme 2F2MO demonstrou melhores características de escoamento.

Maia et al. (2000) abordam que, em filmes comestíveis de polímeros semicristalinos, a fase amorfa favorece a transferência de massa, de gás e aromas, pois a fase cristalina normalmente assume ser impermeável. A medida que o percentual de cristalinidade do polímero aumenta, a permeabilidade deste ao oxigênio diminui. Portanto, o filme 2F2MO deve apresentar maior permeabilidade a este gás.

Os filmes 4F e 2F2MO apresentaram picos mais intensos em $2\theta = 17,02^\circ$ e $2\theta = 21,7^\circ$, respectivamente, observações próximas à de Faria et al. (2012) em filmes de amido de mandioca combinado a álcool polivinílico (PVA) e montmorilonita (MMT), obtidos pelo método de *casting* a 90°C , com em $2\theta = 20^\circ$. Os autores sinalizaram que tal pico é característico de materiais processados em temperaturas inferiores a 180°C e teores de umidade acima de 10%, condições em que se encaixam as de elaboração dos filmes deste trabalho. Mali et al. (2002) verificou maior intensidade de difração de raio-X em $2\theta = 17,040^\circ$ para filme com 3,65% de amido de inhame e 1,65% de glicerol.

A estrutura do amido é composta principalmente de cadeias de amilose e amilopectina, dois polímeros de glicose com funções e estruturas diferentes (Carmo e Paiva, 2015). Enquanto

a amilose é um polímero linear, formado por ligações glicosídicas $\alpha(1\rightarrow4)$ compondo longas cadeias de conformação helicoidal, a amilopectina é um polímero altamente ramificado com unidades de D-glicose, unidas por ligações $\alpha(1\rightarrow4)$ e ramificações em $\alpha(1\rightarrow6)$ de peso molecular mais elevado que a amilose (Garcia et al., 2009; Mahaligam e Edirisinghe, 2014).

Os teores de amilose e amilopectina que compõem um amido variam a depender da fonte vegetal da qual ele é retirado e conferem ao polissacarídeo propriedades funcionais distintas (Carmo e Paiva, 2015; Weber et al., 2009). Mali et al. (2010). Mali et al. (2010) observam que os grãos de amido são semicristalinos devido às cadeias de amilose em conjunto com as ramificações da amilopectina comporem a região amorfa dos grânulos, enquanto a parte linear das moléculas de amilopectina são responsáveis pela região cristalina com suas estruturas helicoidais duplas, estabilizadas por ligações de pontes de hidrogênio entre grupamentos hidroxila.

Neste contexto, a formação de um filme a partir de amido ocorre através da gelatinização na presença de excesso de água e aquecimento dando origem a uma solução viscoelástica na qual as cadeias ganham mais mobilidade até o rompimento das ligações de hidrogênio (Carmo e Paiva, 2015). A cristalinidade de um material termoplástico de amido pode ser residual em consequência de processamento insuficiente para destruir a estrutura cristalina dos grãos nativos, ou ainda, ser induzida pelo processo e estar associada à recristalização da amilose (Faria et al., 2012). A recristalização acontece tanto para a amilose, quanto para a amilopectina, e tem velocidade controlada pelas condições de secagem e armazenamento dos filmes (fatores extrínsecos), fonte botânica de amido, teor de amilose o conteúdo e as características de plastificantes (fatores intrínsecos) (Mali et al., 2010; Vicentini et al., 2005).

A espectroscopia de infravermelho com transformação de Fourier (FTIR) foi realizada com o intuito de se verificar eventuais diferenças de alterações macromoleculares causadas pela mistura de amido e mucilagem. De modo geral, não se observaram diferenças expressivas nos espectros de ambos os filmes (Figuras 6e e 6f).

Uma sucinta elevação do pico de absorbância localizado entre 3.000 e 3.600cm^{-1} , aproximadamente, pode ser percebida no filme 2F2MO em comparação ao 4F. Essa faixa de comprimento de onda foi apontada por Slavutsky et al. (2012) como região de vibração do alongamento O-H (hidroxilas) em espectros FTIR de filmes de amido de milho isolado e combinado a nanoargila montmorilonita. Guimarães Jr et al. (2015) esclarecem que espectros FTIR típicos de filmes compostos por polissacarídeos apresentam bandas do grupo funcional hidroxila livre que estão associadas as ligações de hidrogênio intra e intermolecular. Neste sentido, essas ligações foram mais abundantes no recobrimento 2F2MO.

Observam-se tanto no filme 4F quanto no 2F2MO, vibrações de bandas em posição muito próxima à 3.000 cm^{-1} as quais possivelmente correspondem àquelas observadas em 2.933 cm^{-1} por Lawai et al. (2008) em espectro de grânulos de amido inhame, com e sem carboximetilação, atribuída ao estiramento simétrico CH_2 , também registrada por Liu et al. (2013) em 2.884 cm^{-1} em filmes de amido de milho combinado a quitosana e Guimarães Jr et al. (2015) em filmes de amido de mandioca combinado com álcool polivinílico.

Bandas características de molécula de água adsorvida apareceram em espectros FTIR de filmes de amido de mandioca + álcool polivinílico em 1.642 cm^{-1} (Guimaraes Jr et al., 2015), filmes de amido de mandioca + carboximetilcelulose entre 1.646 e 1.649 cm^{-1} (Ferreira et al., 2015), bem como em espectros de grânulos de amido de inhame em 1.643 cm^{-1} (Lawai et al., 2008), regiões das quais se aproximam uma banda apresentadas nos filmes do presente trabalho a qual, inclusive, mostrou-se ligeiramente mais intensa no filme 2F2MO.

Guimarães Jr et al. (2015), identificaram vibrações entre 1410 e 1361 cm^{-1} como sendo correspondentes a bandas de deformação angular (*bend*) de CH_2 em filmes de amido de mandioca e álcool polivinílico. Vicentini et al. (2005) atribuíram a vibração de 1455 cm^{-1} ao *bend* CH_2 , no presente trabalho observou-se vibração em faixa próxima a tais números de onda.

De acordo com Slavutsky et al. (2012), as bandas que vibram entre 800 e 1.200 cm^{-1} são características de esqueletos de carbono formados por ligações glicosídicas, com ligações C-C e C-O. Em tal faixa, foram observados os picos mais acentuados e estreitos dos espectros de infravermelho dos filmes avaliados no presente estudo.

Em grânulos de amido de um rizoma *Dioscorea* indiano, Deepika et al. (2012), indicaram entre 900 cm^{-1} e 1149 cm^{-1} , picos de estiramento C-O e COH. Em amido de milho, as vibrações dos grupos C-O e C-C foram relacionadas com as bandas em 994 , 1090 , e 1180 cm^{-1} e a banda glicosídica C-O-C a 880 cm^{-1} (Rashid et al., 2012).

Em espectros de infravermelho de amido, bandas expressas em 1.045 cm^{-1} estão associadas a regiões mais cristalinas enquanto aquelas que surgem em 1.022 cm^{-1} são associadas a estrutura amorfa e banda que se apresenta em 995 cm^{-1} resulta de ligação em hélices de carboidratos hidratados. Relações entre essas absorbâncias levam a: quantificação do grau de cristalinidade ($1.045/1.022\text{ cm}^{-1}$) e a medida da proporção de hidratos de carbonos amorfos ($1.022/995\text{ cm}^{-1}$) (Cai et al., 2014). Vicentini et al. (2005) ao avaliarem filme de amido de mandioca por FTIR caracterizaram-no como de estrutura amorfa devido à presença de bandas expressivas por volta de $1.000 - 1.015\text{ cm}^{-1}$, classificação que, assim, também se adequa aos filmes deste estudo.

As propriedades do amido, como conformação da cadeia, ligação molecular, cristalinidade e teor de água influenciam nas propriedades funcionais de filmes comestíveis com ele elaborados, portanto, a análise de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) contribui para elucidação da estrutura de conformação dos carboidratos (Vicentini et al., 2005).

Em relação à formulação de fécula isolada (4F), a combinação de fécula com a mucilagem (2F2MO) não demonstrou alterações expressivas nos grupos funcionais revelados no espectro FTIR. O que indica que a adição em proporção equilibrada de mucilagem de chia à fécula de inhame resulta em um material de ligações químicas quase sem alterações em relação aquele obtido somente de fécula. Em filmes comestíveis compostos por blendas de gelatina e álcool polivinílico (PVA), Moraes et al. (2008) também não verificaram maiores alterações nos grupos funcionais do primeiro composto em virtude da adição do segundo.

3.4. Análises multivariadas – ACP e Clustter

As análises de componentes principais realizadas com os resultados obtidos após 4, 8 e 12 dias revelaram que, em cada um destes período, dois componentes principais foram satisfatórios em responder a variabilidade das características de qualidade físico-química e sensorial entre os mamões minimamente processados sob os recobrimentos 4F, 2F2MO, 1F3MO, 1F3M e C (Tabela 2). Por sua vez, as análises de *clustter*, dos referidos períodos, resultaram na formação de três grupos dentro de cada período (Figura 7);

Tabela 2 Autovetores de dois componentes principais (CP1 e CP2) de características de qualidade sensorial de mamões minimamente processados sob recobrimentos comestíveis à base de fécula de inhame isolada ou em combinação com mucilagem de chia e óleo essencial de laranja doce após 4, 8 e 12 dias de armazenamento refrigerado ($5 \pm 1^\circ\text{C}$ e $80 \pm 2\%\text{UR}$).

Características	Autovetores					
	4 Dias		8 dias		12 dias	
	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
AT	-0,007	-0,447	0,11	-0,369	0,311	0,156
SS	-0,019	0,311	0,246	0,064	0,127	0,386
SS/AT	-0,03	0,449	0,089	0,33	-0,327	-0,033
pH	0,242^N	-0,197	-0,12	-0,393	-0,079	-0,275
Permeabilidade de membrana	0,146	0,386	0,023	0,421	0,057	0,224
Firmeza	-0,112	-0,433	-0,205	-0,174	0,031	-0,309
Perda de massa	-0,089	0,267	0,196	-0,28	-0,261	0,223
Aspecto desidratado	0,307	0,012	0,315	-0,043	-0,217	0,227
Aspecto esbranquiçado	-0,149	-0,028	-0,292	0,182	-0,262	-0,247
Aspecto escurecido	0,317	0,022	0,322	0,06	0,204	0,29
Aspecto exsudato	0,3	0,021	0,116	0,364	0,169	0,323
Danos graves	0,281	-0,008	0,327	-0,018	-0,258	0,196
Intensidade da cor	0,302	-0,08	0,172	-0,322	0,236	0,252
Cor	-0,309	0,178	-0,309	-0,129	0,365	-0,043
Aparência	-0,329	-0,06	-0,292	0,121	0,294	-0,237
Avaliação global	-0,33	0,034	-0,318	0,004	0,291	-0,198
Intenção de compra	-0,33	-0,103	-0,322	-0,065	0,297	-0,235
Autovalores	8,768	4,255	9,280	5,062	8,768	4,255
VA (%)	51,575	76,607	54,587	84,363	42,707	75,783

^NAutovetores significativos, acima do limite de inclusão de variáveis (resultado da multiplicação do maior autovetor, em módulo, por 0,7). AT = acidez titulável; SS = sólidos solúveis; CP = componente principal; VA = variância acumulada

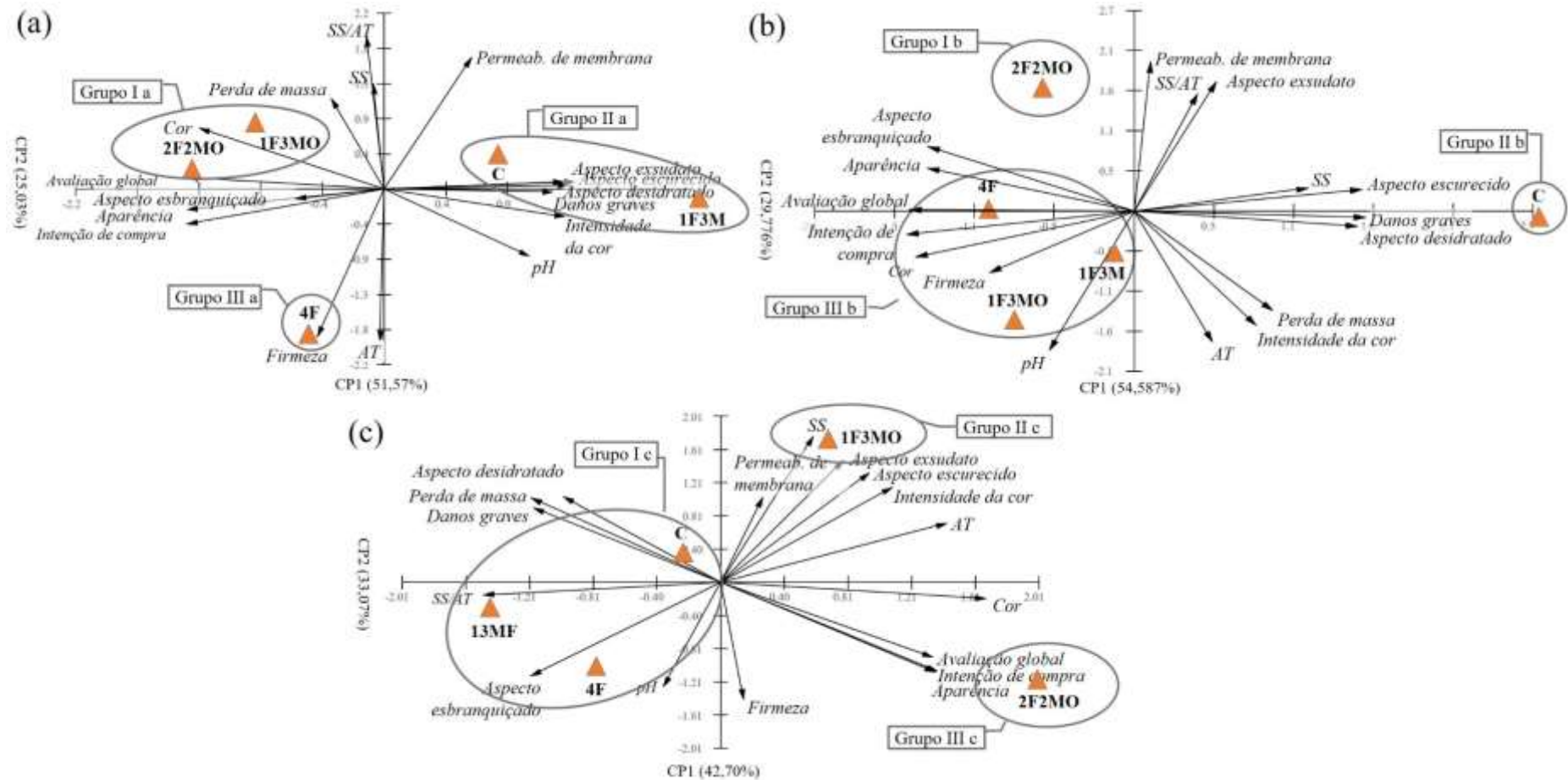


Fig. 7. Agrupamentos e projeções bidimensionais dos autovetores de dois componentes principais (CP1 e CP2) de características de qualidade físico-química e sensorial de mamões minimamente processados sob recobrimentos comestíveis à base de 4% fécula de inhame (4F), 2% de fécula de inhame + 2% mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (2F2MO), 1% de fécula de inhame + 3% de mucilagem de chia + óleo essencial de laranja doce (1F3MO), 1% de fécula de inhame + 3% mucilagem de chia (1F3M) e controle – sem recobrimento (C) após 4 (a), 8 (b) e 12 (c) dias de armazenamento refrigerado ($5 \pm 1^\circ\text{C}$ e $80 \pm 2\%\text{UR}$).

Após quatro dias de armazenamento o CP1 respondeu a 51,575% da variabilidade entre os recobrimentos, enquanto o CP2 respondeu 25,032%, explicado pela AT SS/AT, permeabilidade de membrana e firmeza. Explicaram o CP1, o pH e todas as características de qualidade sensorial, exceto o aspecto esbranquiçado (Tabela 2). Neste período de avaliação, o agrupamento de 2F2MO e 1F3MO (Grupo Ia) em lado oposto ao de C e 1F3M (Grupo IIa) mostra que a diferenciação entre tais recobrimentos deu-se devido a evolução das características sensoriais, estando o Grupo Ia melhor avaliado quanto à aceitação da cor, avaliação global e intenção de compra e o Grupo IIa associado à características negativas como aspecto desidratado, aspecto escurecido e danos graves. O isolamento de 4F em um grupo à parte se deu devido a maior firmeza obtida nos MMP sob tal recobrimento, que, pela maior concentração de fécula, se formou mais cristalino e resistente conforme espectro de DRX (Figura 9a).

No oitavo dia de armazenamento, o CP1 respondeu a 54,587% da variabilidade entre os MMP sob os diferentes recobrimentos, ao passo que, CP2 respondeu a 29,776% dessa variabilidade. Os SS, aspectos desidratado, esbranquiçado e escurecido, danos graves, cor, aparência, avaliação global e intenção de compra explicaram CP1, enquanto AT, SS/AT, pH, permeabilidade de membrana, aspecto exsudato e intensidade da cor exemplificaram CP2 (Tabela 2). Com base no agrupamento resultante das avaliações em 8 dias de armazenamento, verifica-se que 2F2MO (Grupo Ib) é isolado em consequência de menor intensidade da cor e retenção de aspecto escurecido das fatias, C (Grupo IIb) continua a sofrer impacto dos aspectos desidratado escurecido, dos danos graves distanciando-se de 4F, 1F3MO e 1F3M (Grupo IIIb).

A variabilidade dos MMP sob 4F, 2F2MO, 1F3MO, 1F3M e C após 12 dias de armazenamento foi respondida por CP1 e CP2 respectivamente com 42,707 % e 33,076%. Elucidaram CP1 as características AT, SS/AT, perda de massa, aspecto esbranquiçado, danos graves, cor, aparência, avaliação global e intenção de compra, enquanto CP2 foi explicado por SS, pH, firmeza, aspecto escurecido e aspecto exsudato (Tabela 2). Neste período de avaliação o agrupamento de C com 1F3M e 4F (Grupo Ic) sugere a qualidade altamente comprometida dessas fatias, em particular C, com maior perda de massa, desidratação e incidência de danos graves localizando-se em posição contrária a 2F2MO que se destaca pela melhor situação em relação à aparência, intenção de compra e avaliação global (Grupo IIIc).

4. Conclusões

A aplicação dos recobrimentos resultou em menor perda de massa para as fatias recobertas com 4% de fécula de inhame (4F); diminuição da perda de firmeza para aquelas sob 2% de mucilagem de chia + 0,025% óleo essencial de laranja doce (2F2MO), 1% de fécula de

inhame com 3% de mucilagem de chia + 0,025% óleo essencial de laranja (1F3MO) e 4F; oscilações de acidez titulável e retenção no acúmulo de sólidos solúveis para 4F, 2F2MO, 1F3MO e 1F3M, ao longo de 12 dias de armazenamento refrigerado.

O recobrimento 2F2MO proporcionou scores de cor, aparência e avaliação global ≥ 6 , nota limite mínima de aceitação durante o armazenamento, sendo também o único acima da média limite para intenção de compra durante 12 dias, enquanto as fatias sem recobrimento foram reprovadas a partir quarto dia.

A acidez titulável, a relação SS/AT, o aspecto escurecido e exsudato, os danos graves, a cor, a aparência, a avaliação global e a intenção de compra foram as características de diferenciação mais determinantes da qualidade do mamão ‘Golden’ minimamente processado por explicarem no mínimo um dos componentes principais em 4, 8 ou 12 dias de armazenamento.

A adição, em proporções iguais, de mucilagem de chia ao amido e inhame, para formulação de recobrimento comestível (2F2MO), modificou o padrão de difração de raios X da estrutura do filme que, quando constituído somente por amido (4F), apresentou picos de cristalinidade que atingiram o dobro daqueles demonstrados por 2F2MO. Além disso, o equilíbrio entre amido de inhame e mucilagem de chia suavizou a superfície do filme, diminuindo a rugosidade em termos de conformação molecular, não se observaram alterações expressivas no espectro FTIR do filme 2F2MO em relação ao 4F.

Referências

- Albertini, S., Reyes, A.E., Trigo, J.M., Sarriés, G.A., Spoto, M.H.F. 2016. Effects of chemical treatments on fresh-cut papaya. *Food Chem.* 190, 1182–1189.
- Alikhani, M. 2014. Enhancing safety and shelf life of fresh-cut mango by application of edible coatings and microencapsulation technique. *Food Sci. Nutr.* 2, 210–217.
- Altunkaya, A. 2011. Effect of whey protein concentrate on phenolic profile and browning of fresh-cut lettuce (*Lettuca Sativa*). *Food Chem.* 12 (3), 754–760.
- Association of Official Analytical Chemistry. 2002. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry*. 17th ed. Washington: AOAC, 1115 p.
- Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazail, H.M., Tan, C.P., Adzahan, N.M. 2014. Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. *Postharvest Bio. Technol.* 88, 1–7.

- Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazali, H. M., Tan, C.P., Adzahan, N.M. 2012. Optimization of alginate and gellan-based edible coating formulations for fresh-cut pineapples. *Int. Food Res. J.* 19 (1), 279–285.
- Brasil, I.M., Gomes, C., Puerta-Gomez, A., Castell-Perez, M.E., Moreira, R.G. 2012. Polysaccharide-based multilayered antimicrobial edible coating enhances quality of fresh-cut papaya. *LWT - Food Sci. Technol.* 47, 39–45.
- Brunini, M.A., Silva, J.D.R. 2009. Qualidade e vida útil de mamão ‘Formosa’ minimamente hprocessado submetido a diferentes tratamentos. *Nucleus.* 6 (1), 187–202.
- Cai, J., Xong, Z., Zhou, M., Tan, J., Zeng, F., Meihuma, Lin, S., Xiong, H. 2014. Thermal properties and crystallization behavior of thermoplastic starch/poly(ϵ -caprolactone) composites. *Carbohydr. Polym.* 102, 746–754.
- Carmo, K.P., Paiva, J.M.F. 2015. Filmes biodegradáveis de amido e composições com outros materiais. *Rev. Virtual de Quim.* 7 (6), 2377–2386.
- Capitani, M.I., Corzo-Rios, L.J., Chel-Guerrero, L.A. Betancur-Ancona, D.A.; Nolasco, S.M., Tomás, M.C. 2015. Rheological properties of aqueous dispersions of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage. *J. Food Eng.* 149, 70–77.
- Capitani, M.I., Ixtaina, V.Y., NOLASCO, S.M., Tomás, M.C. 2013. Microstructural, chemical composition and mucilage exudation of chia (*Salvia hispânica* L.) nutlets from Argentina. *J. Sci. Food Agr.* 93 (15), 3856–3862.
- Carnelossi, M.A.G., Silva, E.O., Campos, R.S., Soares, N.F., Minim, V.P.R., Puschmann, R. 2002. Conservação de folhas de couve minimamente processadas. *Rev. Bras. Prod. Agroind.* 4 (2), 149–155.
- Chaves, K.F., Teixeira, L.C., Silva, V.R.O., Martins, A.D.O., Martins, E.M.F., RAMOS, A.K.S. 2011. Avaliação da vida de prateleira do mamão “formosa” minimamente processado acrescentado de antioxidantes. *Holos.* 1, 30–37.
- Chiumarelli, M., Hubinger, M.D. 2012. Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch – Carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut aples. *Food Hydrocolloid.* 28 (1) 59–67.

- Chiumarelli, M., Pereira, L.M.; Ferrari, C.C., Sarantópoulos, C.I.G.L., Hubinger, M.D. 2010. Cassava starch coating and citric acid to preserve quality parameters of fresh-cut “Tommy Atkins” mango. *J. Food. Sci.* 75 (5) E297–E304.
- Chien, P.J, Lin, H.R., SU, M.S. 2013. Effects of edible micronized chitosan coating on quality and shelf life of sliced papaya. *Food Nutr. Sci.* 4, 9–13.
- Chong, J.X., Lai, S., Yang, H. 2015. Chitosan combined with calcium chloride impacts fresh-cut honeydew melon by stabilising nanostructures of sodium-carbonate-soluble pectin. *Food Control.* 53, 195–205.
- Cortez-Vega, W.R., Pizato, S., SOUZA, J.T.A., PRENTICE, C. 2014. Using edible coatings from Whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) protein isolate and organo-clay nanocomposite for improve the conservation properties of fresh-cut 'Formosa' papaya. *Innov. Food Sci.* 22, 197–202.
- Cortez-Vega, W. R., Piotrowicz, I.B.B., Prentice, C., Borges, C.D. 2013. Conservação de mamão minimamente processado com uso de revestimento comestível à base de goma xantana. *Semin. Ciênc. Agrár.* 34 (4), 1753–1764.
- Deepika, V., Kumar, J., Anima, P. 2013. Isolation and physicochemical characterization of sustained releasing starches from *Dioscorea* of Jharkhand. *Int J. Biol. Macromol.* 55, 193–200.
- Dick, M., Costa, T.M.H., Gomaa, A., Subirade, A.; Subirade, M., Rios, A.O.; Flôres, S.H. 2015. Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. *Carbohydr. Polym.* 130, 198–205.
- Faria, F.O., Vercelheze, A.E., Mali, S. 2012. Propriedades físicas de filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca, álcool polivinílico e montmorilonita. *Quim. Nov.* 35 (3), 487–492.
- Ferreira, C.H., Passos, E.F., Marques, P.T. 2015. Caracterização espectroscópica e físico-química de filmes de blendas de amido e carboximetilcelulose. *Blucher Chemical Engineering Proceedings.* 1 (3), 2371–2376. <http://dx.doi.org/10.1016/chemeng-cobeqic2015-335-33935-264097>

- Guimarães Jr, M., Botaro, V.R., Novack, K.M., Teixeira, F.G., Tonoli, G.H.D. 2015. High moisture strength of casava starch/polyvinyl alcohol-compatible blends for the packaging and agricultural sectors. *J. Polym. Res.* 22 (192) 2–18.
- Gutiérrez, T.J., Tapia, M.S., PÉREZ, E., Famá, L. 2015. Structural and mechanical properties of edible films made from native and modified cush-cush yam and cassava starch. *Food Hydrocolloid.* 45, 211–217.
- IAL - Instituto Adolfo Lutz. 2005. Procedimentos e Determinações Gerais. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. p. 103–105.
- Jayathunge, K.G.L.R., Gunawardhana, D.K.S.N., Illeperuma, D.C.K., Chandrajith, U.G., Thilakarathne, B.M.K.S., Fernando, M.D., Palipane, K. B. 2014. Physico-chemical and sensory quality of fresh cut papaya (*Carica papaya*) packaged in micro-perforated polyvinyl chloride containers. *J. Food Sci. Technol.* 51 (12), 3918–3925.
- Karakurt, Y.; Huber, D.J. 2003. Activities of several membrane and cell-wall hydrolases, ethylene biosynthetic enzymes, and cell wall polyuronide degradation during low-temperature storage of intact and fresh-cut papaya (*Carica papaya*) fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 28 (2), 219–229.
- Lai, T.Y., Chen, C.H., Lai, L.S. 2013. Effects of tapioca starch/decolorized Hsian-Tsao leaf gum-based active coatings on the quality of minimally processed carrots. *Food Bioprocess Tech.* 6, 249–259.
- Lawai, O.S., Lechner, M.D., Kulicke, W.M. 2008. Single and multi-step carboxymethylation of water yam (*Dioscorea alata*) starch: Synthesis and characterization. *Int. J. Biol. Macromol.* 42 (5), 429–435.
- Liu, H., Adhikari, R., Guo, Q., Adhikari, B. 2013. Preparation and characterization of glycerol plasticized (high-amylose) starch-chitosan films. *J. Food Eng.* 116 (2), 588–597.
- Kovach, W.L. 2006. *MVSP: a multivariate statistical package for Windows*, version 3.1.3n Pentraeth: Kovach Computing Services.

- Kuwar, U., Sharma, S., Tadapaneni, V.R. 2015. *Aloe vera* Gel and Honey-Based Edible Coatings Combined with Chemical Dip as a Safe Means for Quality Maintenance and Shelf Life Extension of Fresh-Cut Papaya. *J. Food Quality*. 38 (5), 347–358.
- Mali, S., Grossmann, M.V.E., Yamashita, F. 2010. Starch films: production, properties and potential of utilization. *Semin. Ciên. Agrár.* 31(1) 137–156.
- Mali, S., Grossmann, M.V.E., García, M.A., Martino, M.M., Zaritzky, N.E. 2005. Mechanical and thermal properties of yam starch films. *Food Hydrocolloid*. 19 (1), 157–164.
- Mali, S., Grossmann, M.V.E. 2003. Effects of yam starch films on storability and quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*). *J. Agr. Food. Chem.* 51, 7005–7011.
- Mali, S., Grossmann, M.V.E., García, M.A., Martino, M.M., Zaritzky, N.E. 2002. Microstructural characterization of yam starch films. *Carbohydr. Polym*, 50 (2), 379–386.
- Martiñon, M.E., Moreira, R.G., Castell-Perez, M.E., Gomes, C. 2014. Development of a multilayered antimicrobial edible coating for shelf-life extension of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo* L.) stored at 4 °C. *LWT - Food Sci. Technol.* 56 (2), 341–350.
- Moraes, I.C., Silva, G.G.D., Carvalho, R.A., Habitante, A.M.Q.B., Bergo, P.V.A., Sobral, P.J.A. 2008. Influence of the degree of hydrolysis of poly(vinyl alcohol) on the physical properties of films based on blends of gelatin and poly(vinyl alcohol) plasticized with glycerol. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 38 (3), 738–745.
- Muñoz, L.A., Cobos, A., Diaz, O., Aguilera, J.M. 2012a. Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *J. Food Eng.* 108, 216–224.
- Muñoz L.A., Aguilera, J.M., Rodriguez-Turienzo, L., Cobos, A., Diaz, O. 2012b. Characterization and microstructure of films made from mucilage of *Salvia hispanica* and whey protein concentrate. *J. Food Eng.* 111, 511–518.
- Oriani V.B., Molina G., Chiumarelli M., Pastore G.M, Hubinger M.D. 2014. Properties of cassava starch-based edible coating containing essential oils. *J. Food Science*. 79, E189–E194.
- Palma T., Marangoni, A.G., Stanley D.W. 1995. Environmental stresses affect tomato microsomal membrane function differently than natural ripening and senescence. *Postharvest Biol. Technol.* 6 (3), 257–273.

- Pushpadass, H. A., Marx, D. B. and Hanna, M. A. 2008. Effects of Extrusion Temperature and Plasticizers on the Physical and Functional Properties of Starch Films. *Starch/Stärke*, 60, 527–538.
- Rojas-Graü, M.A., Martin-Belloso, M.S., Tapia, F.J., Rodríguez, A.J., Carmona, O. 2007. Alginate and gellan-based edible coatings as carriers of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apples. *Food Hydrocolloid*. 21 (1), 118–127.
- Serrano, L.A.L., Cattaneo, L.F. 2010. O cultivo do mamoeiro no Brasil. *Rev. Bras. Frutic.* 32 (3), 657–959.
- Shirai, M.A., Grossmann, M.V.E.; Mali, S., Yamashita, F, Garcia, P.S. Muller, C.M.O. 2013. Development of biodegradable flexible films of starch and poly (lactic acid) plasticized with adipate or citrate esters. *Carbohydr. Polym.* 92 (1), 19–22.
- Shit, S., Shah, P.M. 2014. Edible Polymers: Challenges and Opportunities. *J. Polym.* 2014, 1–13.
- Suryawanshi, J.A.S. 2011. An overview of *Citrus aurantium* used in treatment of various diseases. *Afr. J. Plant Sci.* 5 (7), 390–395.
- Slavutsky, A.M., Bertuzzi, M.A., Armada, M. 2012. Water barrier properties of starch-clay nanocomposite films. *Braz. J. Food Technol.* 15 (3), 208–218.
- Skurtys, O., Acevedo, C., Pedreschi, F., Enronoe, J., Osorio, F., Aguilera, J.M. 2010. *Food hydrocolloid edible films and coatings*. *Food Sci. Technol.* 2010; XX: p.41–80.
- Trigo, J.M., Albertini, S., Spoto, M.H.F., Sarmiento, S.B.S., Reyes, A.E.L., Sarriés, G.A. Efeito de revestimentos comestíveis na conservação de mamões minimamente processados. *Braz. J. Food. Technol.* 15 (2), 125–133.
- Udomkun, P., Nagle, M., Mahayothee, B., Nohr, D., Koza, A., Muller, J. 2015. Influence of air-drying properties on non-enzymatic browning, major bioactive compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya. *LWT - Food Sci. Technol.* 60, 914–922.
- Wani A.A., Singh, P., Pant, A., Langowski, H.C. 2015. Packaging Methods for Minimally Processed Foods. In: *Minimally Processed Foods*, ed. M.W. Siddiqui, M.S. Rahman, pp. 35–55. Switzerland: Springer International Publishing.

- Waghmare, R.B., Annapure, U.S. 2013. Combined effect of chemical treatment and/or modified atmosphere packaging (MAP) on quality of fresh-cut papaya. *Postharvest Biol. Technol.* 85, 147–153.
- Weber, F.H., Collares-Queiroz, F.P., Chang, Y.K. 2009. Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. *Ciênc. Tecnol. Alim.* 29 (4), 748–653.
- Vicentini, N.M., Leitzelman, N.D.M., Sobral, P.J.A. 2005. Prediction of cassava starch edible film properties by chemometric analysis of infrared spectra. *Spectrosc. Lett.* 30, 749–767.
- Zhao, Z., Jiang, W., Cao, J., Zhao, Y., Gu, Y. 2006. Effect of cold-shock treatment on chilling injury in mango (*Mangifera indica* L. cv. ‘Wacheng’) fruit. *J. Sci. Food Agric.* 86, 2458–246.

ARTIGO 2**EFFECT OF EDIBLE COATINGS BASED ON YAM STARCH, CHIA MUCILAGE
AND ORANGE ESSENTIAL OIL ON MAINTAINING THE BIOACTIVE
COMPOUNDS AND FUNCTIONAL POTENTIAL OF FRESH-CUT 'GOLDEN'
PAPAYA**

Effect of edible coatings based on yam starch, chia mucilage and orange essential oil on maintaining the bioactive compounds and functional potential of fresh-cut 'Golden' papaya

Abstract

Edible coatings based on yam starch (S), combined with chia mucilage (M), and sweet orange essential oil (O) were applied to fresh-cut (FC) 'Golden' papaya and stored under modified atmosphere and refrigeration. FC papaya was immersed in filmogenic dispersions composed of 4% S (4S), 2% S + 2% M + O (2S2MO), 1% S + 3% M + O (1S3MO), 1% S + 3% M (1F3M), and uncoated FC papaya (C). Then slices were placed in polyethylene terephthalate trays, wrapped with polyvinyl chloride (PVC) film for modified atmosphere, and stored at 5°C for 12 days. Ascorbic acid, lycopene, β -carotene, yellow flavonoids, total extractable polyphenols, and antioxidant activity by DPPH $\bullet$ and ABTS $\bullet^+$ methods were evaluated every two days. During storage, 2S2MO coating delayed the increase in the contents of ascorbic acid, lycopene, and β -carotene, maintaining antioxidant activity. Furthermore, principal component analysis of bioactive compound contents revealed clustering of coatings based both on the presence of the sweet orange essential oil and lower increase of bioactive compounds. Therefore, the combination of 2% yam starch, 2% chia mucilage, and 0.025% sweet orange essential oil resulted in preserving the bioactive compounds and their functional potential in MP 'Golden' papaya during 12 days of cold storage.

Keywords: *Dioscorea* spp, *Salvia hispanica*, *Citrus aurantium* L., DPPH, ABTS $\bullet^+$, Color map, PCA, post-cutting quality

1. Introduction

Papaya (*Carica papaya* L.) is a tropical fruit consumed worldwide. Brazil produces the second highest amount of papaya in the world, reaching 1,582,638.00 tons in 2013 (FAOSTAT, 2015). However, papaya presents high indices of losses due to its high perishability, reducing its postharvest life (Udomkun et al., 2015).

Because of its sensory characteristics of color, texture, and sweet taste, the papaya fruit is highly consumed and a recognized source of vitamins, minerals, polysaccharides, proteins, and bioactive compounds such as ascorbic acid, vitamin A, and lycopene, in addition to having high antioxidant capacity (Waghmare & Annapure, 2013; Besinela Júnior et al., 2010). The daily dietary intake of bioactive compounds from papaya and other tropical fruit has been related to the prevention of degenerative processes that compromise human health (Almeida et al., 2011; Robles-Sánchez, Rojas-Graü, Odriozola-Serrano, Gonzáles-Aguilar & Martin-Belloso, 2009).

Despite its relevance as food, papaya consumption is disadvantaged by the need for careful handling to peel and remove seeds. In this context, fresh-cutting papaya fruit provides convenience and nutritional quality, which opens new market opportunities (Albertini, Reyes, Trigo, Sarriés & Spoto, 2016). The market of fresh-cut fruits and vegetables has grown in recent years due to the appeal of these products in terms of practicality and reducing losses together with the increasing interest of consumers for healthier foods (Patrignani, Siroli, Serazanetti, Gardini & Lanciotti, 2015). Nevertheless, fresh-cut operations damage papaya tissues, increasing metabolic rate, leading to the increase of ethylene and CO₂ production, and pulp softening that reduces post-cutting life (Chien, Lin & Su, 2013; Oms-Oliu, et al., 2010; Argñosa, Raposo, Teixeira & Morais, 2008).

To reduce the impacts of marked perishable character of fresh-cut products, several technologies have been used such as modified atmosphere by flexible films (Oms-Oliu et al.,

2010). More recently, modified atmosphere has been associated with edible coatings, which are biopolymers able to form a continuous matrix through the addition of a food grade plasticizer, thereby reducing humidity and solutes loss, as well as gas exchange and the oxidation processes, besides adding value to the product (Salvia-Trujillo, Rojas-Graü, Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2015; Cortez-Vega, Pizato, Souza & Prentice, 2014). Polysaccharides and hydrocolloids are among potential biomaterials to formulate edible coatings.

Starch is a polysaccharide capable of forming transparent, translucent, odorless, and insipid films (Skurtys et al., 2010), extracted from several sources such as corn and tubers, and is suitable for the formulation of edible films (Molavi, Behfar, Shariati, Kaviani & Atarod, 2015). In this sense, the yam (*Dioscorea* sp.) presents good properties for film formulation; however, it is underused (Silva, Lopes, Brito-Primo & Torres, 2009; Mali, Grossmann & Yamashita, 2010).

In turn, hydrocolloids are high molecular weight polymers that have great water affinity, dispersing to form colloidal solutions with high viscosity (Capitani et al., 2015), such as mucilage from chia (*Salvia hispanica*) seeds, which are rich in tocopherols and considered suitable for edible coating formulations (Muñoz, Cobos, Diaz & Aguilera, 2012), and has been recently used for this purpose (Dick et al., 2015).

The addition of essential oils (EO) to edible coatings has been primarily studied as an alternative for increasing antimicrobial activity, aiming to maintain the quality and security of food products (Santos et al., 2012). Therefore, like most EOs, the ones from sweet oranges (*Citrus aurantium* L.) have bioactive properties that give it potential to be applied as a food preservative (Suryawanshi, 2011).

As fresh-cut fruits and vegetables become even more susceptible to oxidation and microbial spoilage due to processing, the application of edible coatings containing essential oil has been looked at as a promising alternative, agreeing with the concept in which minimally

processed products are inserted as being healthy, natural, and free from synthetic chemical additives (Rojas-Graü et al., 2009), thus adding value to the final product.

Therefore, the aim of this work was to evaluate the effects of edible coatings based on yam starch combined or not with chia mucilage and sweet orange essential oil on bioactive compounds and antioxidant activity of fresh-cut ‘Golden’ papaya stored at 5 °C under modified atmosphere.

2. Material and Methods

2.1. Experimental conditions

The experiment was performed in the Laboratory of Postharvest Biology and Technology of the Centro de Ciencias Agrárias of the Universidade Federal da Paraíba, Brazil. ‘Golden’ papayas harvested from a commercial orchard of the *Frutas Doce Mel* Company were used, in the municipality of Mamanguape, in the State of Paraíba.

The papaya fruits were manually harvested, aiming to avoid impact, selected by maturation uniformity (stage 1 – up to 10% yellow color of the peel) in order to reduce physical or physiological damages, and avoid visible signs of disease. After being harvested, fruits were washed in tanks with chlorinated water (100 mg.L⁻¹ free chlorine) at the packinghouse. Next, fruits were transported on rubber conveyor belts for manual selection, separating damaged fruit or those out of maturity range, and then packed in 20Kg plastic boxes lined with bubble wrap, and transported to the laboratory to conduct the experiment.

In the laboratory, the fruit was cleaned, sprayed with 100 mg.L⁻¹ sodium hypochlorite solution, and placed on the laboratory benches for 24 hours under room conditions until the fruit ripened to maturity stage 3 (yellow peel coloration from 26 to 40%). The fruit was refrigerated (12 ± 1°C and 80 ± 2% RH) for 12 hours before fresh-cut operations, aiming to reduce pulp metabolism.

2.2. Preparation and application of coatings

Based on preliminary tests, the 4% concentration was adopted for the fresh-cut papaya coatings with ingredients combined as shown in Table 1. Formulations were made with yam starch (*Dioscorea* sp.) combined in different proportions with chia mucilage (*Salvia hispanica*). Sweet orange (*Citrus aurantium* L.) essential oil was used at a concentration of 0.025% (Suryawanshi, 2011) in two formulations of yam starch and chia seed mucilage.

2.3. Preparation of the yam starch

Yams (*Dioscorea* sp.) were selected based on uniformity of color, size and shape, absence of damage and disease, and purchased wholesale at commercial maturity at Empresa Paraibana de Abastecimento - EMPASA in Campina Grande, State of Paraíba, and then transported to the laboratory.

2.4. Extraction of starch

In the laboratory, the yams were initially cleaned to remove the soil from the field. They were then washed with tap water and immersed in 100 mg.L⁻¹ sodium hypochlorite solution.

The yams were manually peeled with the use of stainless steel knives, cut into slices, grinded using a multiprocessor, and then homogenized in distilled water with an industrial blender until forming a paste, then filtered, and the resulting liquid was submitted to decant the starchy material. The filtrate was retained for 12 hours and the supernatant was discarded. After supernatant removal, the filtrate was washed again, and left for 6 hours; then decanting and water draining was performed again. After the final drainage, the accumulated mass was dried with paper towel. The mass was placed in an oven at 70°C where it remained until starch was obtained. The material in the oven was mixed and the consistency checked every five minutes. After drying, the moisture was determined (AOAC, 2000). Yam starch was vacuum-packed in

LDPE bags. The used utensils were sanitized under ultraviolet light in an aseptic laminar flow chamber.

2.5. Preparation of chia seed mucilage

The extraction of mucilage from whole chia seeds (*Salvia hispanica*) (Vitalin Alimentos Ltda, Jaraguá do Sul – SC, Brazil) was performed according to Muñhoz et al. (2012) with modifications. First, 20g of seeds were hydrated in 1L of ultrapure water. Next, the mixture was magnetically stirred for 2 minutes at room temperature. Then, seeds were separated from the mucilage suspension using vacuum filtration and the filtrate was concentrated through a rotary evaporator at 65°C for 1 hour.

2.6. Preparation of coating dispersions

Initially, yam starch dispersions were prepared by gelatinization of the starch, which consisted of heating the solution to 70°C under constant stirring. The weighed quantities of starch to obtain the proposed percentages for each formulation in Table 1 were calculated according to Equation 1, based on the dry matter content (55.23%).

$$W = \frac{C \times 100}{DM}$$

Equation 1. The formula to calculate the starch weight to be used in the coatings.

Where W is the amount of yam starch to be weighed to prepare 100 mL of coating solution, C is the concentration (in percentage) of needed starch in the coating solution, and DM is the dry matter content of yam starch.

Where W is the amount of yam starch to be weighed to prepare 100 mL of coating solution, C is the concentration (in percentage) of starch needed in the coating dispersion, and DM is the dry matter content of yam starch.

The mucilage was added to the gelatinized yam starch dispersion and mixed in a stainless steel homogenizer. We added 1.0% glycerol as a plasticizer to all formulated coatings. For the 2S2MO and 1S3MO coatings, the chia mucilage was added when the starch solution reached 60°C. The essential sweet orange oil (0.025%) (FERQUIMA, Vargem Grande Paulista - SP, Brazil) was mixed by sonication (Missonix ultrasonic liquid processor - S4000) for 2 minutes (amplitude of 60%) with a Tween 40®, at a ratio of 1:1 (v/v). The sonicated mixture was added to the starch/chia mucilage dispersion by stirring at 65°C.

2.7. Fresh-cut operations

The fresh-cut operations were performed in a cold chamber at 12°C, considering the criteria of Good Manufacturing Practices, and the installations, utensils, and equipment used were sanitized with a 200 mg.L⁻¹ sodium hypochlorite solution.

‘Golden’ papaya was manually peeled, cut in longitudinal halves and then in approximately 2.0cm-thick semicircular slices. After cutting, the slices were immersed in two solutions of sodium hypochlorite (50 and 25mg.L⁻¹), and held for 30 seconds in each. When removed from the last sanitizing solution, the slices were placed in sanitized stainless steel screens for drainage. Once drained, the coatings were applied.

The coatings were applied by dipping the slices for 30 seconds in the film dispersion, except for the control. Once removed from the solutions, the slices were arranged onto draining screens, and to facilitate the coatings adhering to the surfaces. Next, the slices were packed into rectangular trays of transparent polyethylene terephthalate (PET) (PSG-Embalagens, Porto Alegre – RS, Brazil), with dimensions of 166×85×57mm. Subsequently, the trays were wrapped in 14µm polyvinyl chloride film (PVC) (Lusafilm, Dispafilm, Guarulhos – SP, Brazil). Six papaya slices were placed onto each tray, weighing approximately 150g per tray. Then, the trays were stored at 5 ± 1°C and 80 ± 2% relative humidity (RH) in B.O.D. incubator chambers for 12 days, being evaluated every 2 days.

2.8. Experimental design

The experiment was performed in a completely randomized design with a 5×7 factorial scheme, including 5 coatings (4S, 2S2MO, 1S3MO, 1S3M, and C) and 7 evaluation periods (0, 2, 4, 6, 8, 10, and 12 days) comprising five replications, consisting of 1 tray each.

2.9. Bioactive compounds evaluations

Ascorbic acid (mg.100g⁻¹): Determined by titration, using DFI solution of (2,6-dichlorophenol-indophenol 0.002%) in 50mL of 0.5% oxalic acid according to Strohecker and Henning (1967).

Lycopene and β-carotene (mg.100 g⁻¹): Determined according to Nagata and Yamashita (1992), with some adjustments. 1g of sample was macerated for 2 minutes, with 5mL of acetone:hexane (2:3). After macerating, the extract volume was completed to 10mL, agitated for 1 minute, and centrifuged at 25°C and 9,000 rpm. Spectrophotometric readings were obtained at 453, 505, 645, and 663 nm (Genesys™ 10S UV-VIS). The results were expressed in mg.100 g⁻¹.

Yellow Flavonoids (mg.100 g⁻¹): Quantified as Francis (1982) with modifications, in which 7 mL of extraction solution of 95% ethanol + 1.5 mol.L⁻¹ HCl (85:15) and 7 g of sample were mixed. The mixture was homogenized for 2 minutes and kept reserved for 12 hours under refrigeration and absence of light for extraction. After this period, the extracts were filtered and the absorbance measured at 374 nm. All procedures occurred in the dark.

Extracts for total extractable polyphenols and antioxidant activity: The extracts were obtained following method adopted by Dantas et al (2015). Briefly, 4 mL of 50% methanol were added to 3 g of sample. The tubes were vortexed for 1 minute, and then remained in the dark for 1 hour. The extract was centrifuged at 4 °C at 15,000 rpm for 15 minutes. The supernatant was reserved and 4mL of 70% acetone were added to the residue. After 1 hour, it was centrifuged as previously. The two supernatants were combined, and the final volume was

adjusted to 10 ml with distilled water. The extracts were kept at -20 °C until analysis. The entire procedure was carried out in the dark.

Total Extractable Polyphenols - TEP (mg.100 g⁻¹): The content of total extractable polyphenols was determined by the Folin-Ciocalteu method with modifications (Dantas et al., 2015.). An aliquot of 150µL of the extract was diluted to 1000µL with distilled water. 1.0mL of Folin-Ciocalteu reagent was added to this dilution, with 2.0mL of 20% sodium carbonate, and 2.0mL of distilled water. After it was stirred and kept in darkness for 30 minutes, a reading was performed at 700nm. The estimated concentration of phenolic compounds was obtained using a standard curve of gallic acid ($R^2 = 0.99$), and results were expressed as mg of gallic acid per 100g fresh weight.

2.10. Antioxidant activity

Total Antioxidant Activity by DPPH method - TAA: Determined by scavenging the DPPH[•] free radical (1,1'-diphenil-2-picrylhydrazyl) (Brand-Williams, Cuvelier & Berset, 1995). Dilutions were prepared in 200, 400, and 600 µL.mL⁻¹ from the phenolic extract, from which an aliquot of 100µL was added to 3.9 mL of DPPH[•] (0.06 mM). As a control, 100 µL of 50% methanol + 70% acetone control solution was used instead of the phenolic extract. Pure methanol was used to calibrate the spectrophotometer (GenesysTM 10S UV-VIS) at 515nm. All procedures were performed in the dark. Results were presented as EC₅₀, which reports the quantity of fresh material capable of providing antioxidants able to scavenge the DPPH[•] radical (g pulp.g DPPH^{•-1}).

Total Antioxidant Activity by ABTS^{•+} method - TAA: Evaluated by the ABTS^{•+} free radical capture. The radical preparation consisted in mixing 5mL of 7mM ABTS^{•+} solution with 88µL of 140mM potassium persulfate solution, left at room temperature for 16 hours in the absence of light. Before testing, the radical was adjusted with ethanol until absorbance of 0.700 ± 0.05 at 734nm. An aliquot of 30µL was added to 3.0 mL of ABTS^{•+} radical from three

different dilutions (50, 150, and 300 mg.mL⁻¹), and after 6 minutes the absorbance was read at 734nm. Trolox was used as standard, with a standard curve ranging from 100-2000µL (R = 0.997). The results were expressed as mM of Trolox per g of fresh weight (Dantas et al., 2015).

2.11. Statistical analysis

Data were submitted to analysis of variance by F-test ($p \leq 0.05$). For the storage period (days), polynomial regression analysis was applied, testing up to quadratic level. Treatments (coatings) were individually analyzed by Tukey test ($p \leq 0.05$). Statistical analyses were performed using SAS 9.3 (2011) software.

Multivariate analyses, such as principal components analysis (PCA), Pairwise correlation, and hierarchical clustering with color map were performed to correlate the variables that were more affected by the applied coatings during the storage period. MVSP software version 3.13n (Kovach, 2006) was used for the PCA analysis and SAS 9.3 (2011) for clustering. The significant variables of each principal component (PC1 and PC2) were obtained considering up to 70% of the highest eigenvectors in module.

3. Results and discussion

3.1. Bioactive compounds

Ascorbic acid content of fresh-cut (FC) 'Golden' papaya was influenced by the storage period (Figure 1A) and the different types of coatings (B) in an unassociated way. Ascorbic acid content decreased, fitting a quadratic model during storage (Figure 1A). Among the coatings, the highest vitamin C content was obtained for uncoated slices (control C), while the lowest was for the slices with 4% yam starch (4S).

Unlike what was observed in this study, FC 'Maradol' papaya coated with chitosan and pectin containing cinnamon essential oil (trans-cinnamaldehyde) had higher ascorbic acid

content after 15 days at 5°C (Brasil, Gomes, Puerta-Gomez, Castell-Perez & Moreira, 2012). Robles-Sánchez, Rojas-Graü, Odriozola-Serrano, González-Aguilar & Matín-Belloso (2013) reported that FC ‘Kent’ mango coated with alginate film containing ascorbic acid and citric acid had no differences for the ascorbic acid content in coated samples, while the control showed a reduction during 12 days of storage at 4°C.

The lycopene content differed among the coating treatments throughout the storage time (Figure 2A). On the 2nd day of storage, there was an increase in lycopene content for all coated slices, declining from the 4th day on. The highest average lycopene content (922.3 µg.100 g⁻¹) was obtained for the uncoated slices, whereas lower content (814.1 µg.100 g⁻¹) was detected in slices coated with yam starch and chia mucilage at a proportion of 1:3 (1S3M).

Besinela Junior et al. (2010) observed a considerable reduction in the lycopene content in FC papayas coated with chitosan, alginate, and carboxymethylcellulose during storage for 8 days. In general, a reduction in the lycopene content in the papaya slices was observed herein from all coatings during storage. The control had the highest lycopene content, differing only from slices coated with 3% chia mucilage and 1% yam starch (1S3M).

Ayon-Reyna et al. (2015) reported an increase in lycopene content during cold storage for FC ‘Maradol’ papaya coated with 1% chitosan and hydrothermally treated in 1% calcium chloride solution. After 10 days, the slices submitted to hydrothermal bath showed higher lycopene content, regardless of the coating application. The reduction of the lycopene content in FC papaya is mainly related to its oxidation (Besinela Junior et al., 2010).

Udomkun et al. (2015) indicate papaya as one of the major sources of functional nutrients, such as minerals (calcium, iron, potassium, and sodium), vitamins (A, B1, B2, and C), and carotenoids (lycopene, β-carotene, and β -criptoxantina). In carotenoid-rich vegetables, Schweiggert, Mezger, Schimpf, Steingass & Carle (2012) found no differences between papaya and tomato regarding the bioavailability of lycopene.

The β -carotene content in papaya slices was affected by the interaction of coatings and the storage period (Figure 2B). β -carotene content declined, and an average content of 852.8 $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ was detected on the 12th day. In this case, the 1S3M coating stood out with 1.175 $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ together with the control (1.187 $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$) as having the largest content. However, slices coated with 2S2MO had the lowest β -carotene content, probably due to the lower permeability of this coating to oxygen, probably due to the addition of the essential oil.

MP ‘Maradol’ papaya showed an increase in β -carotene content from the 8th day of storage at 5°C when coated with 1% chitosan after hydrothermal treatment, although the control content were larger (Ayon-Reyna et al., 2015).

According to Robles-Sanchez et al. (2013), β -carotene content was not influenced by the coatings, even having oscillating values during storage of FC ‘Kent’ mango. The behavior of the carotenoid content in the pulp of ‘Golden’ papaya in seven maturity stages was evaluated by Fonseca et al. (2007), and oscillating values were detected as well.

Positive effects of coatings containing essential oil on the content of total carotenoids were also reported by Brasil et al. (2012) for FC ‘Maradol’ papayas coated with chitosan and pectin with trans-cinnamaldehyde. The authors argue that the loss of carotenoid may have been reduced in the coated papayas due to reduced exposure to oxygen, since the β -carotene is rapidly oxidized when exposed to light and oxygen (Udomkun et al., 2015).

The content of yellow flavonoid presented interaction between coatings and period storage, showing linear behavior for its accumulation (Figure 3A). Initially, the papaya slices had an average content of 256.00 $\mu\text{g}\cdot 100^{-1}\text{ g}$, and after 12 days this content was 536.00 $\mu\text{g}\cdot 100^{-1}\text{ g}$. Considering absolute values, slices coated with 4% starch (4S) were superior after 12 days of storage (749.00 $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$). In turn, slices coated with 2S2MO and 1S3MO had lower levels of yellow flavonoids, indicating the preservative effect of sweet orange essential oil.

In a study by Silva et al. (2014) about major bioactive compounds present in the pulp and by-products of tropical fruit marketed in Brazil, the presence of yellow flavonoids in papaya pulp was not detected; however, high levels ($97.39 \pm 0.96 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) of these compounds in their by-products were observed. Uncoated ‘Valencia Delta’ oranges presented a higher accumulation of yellow flavonoids during storage when compared with the coated ones, on which carnauba wax was applied and stored at 24°C for 28 days (Pereira, Machado & Costa, 2014).

The total extractable polyphenol content responded to the interaction between coatings and periods (Figure 3B). The TEP content was higher for uncoated slices, whereas slices coated with 4% yam starch (4S), and the yam starch and chia mucilage combined with essential oil (2F2MO and 1F3MO) showed the lowest levels. TEP content increased during storage, with the highest content achieved after six days. The interactions of coatings with the periods promoted adjustments to linear (2F2MO and 1F3MO) and quadratic (4F, 1F3M and C) mathematical models with R^2 above 57%.

FC papaya coated with *Aloe vera* gel and honey, combined or not, showed a total phenolic content around 60 to 70% higher than in the intact fruit that was evaluated right before minimal processing, when a content of $3.91 \pm 0.06 \text{ mg gallic acid} \cdot \text{g}^{-1}$ was detected (Kuwar, Sharma & Tadapaneni, 2015). The authors relate that an increase in the activation of phenylalanine ammonia lyase (PAL) occurred after processing, and concluded that the application of *Aloe vera* and honey coating contributed to retain a higher content of phenolic compared to the control. Thus, the response to the stress-induced physical damage was mitigated.

For FC ‘Maradol’ papaya, there was a decrease in the total phenolic content, as reported by Ayón-Reyna et al. (2015). The differences among the coatings appeared from the 4th day,

when higher levels of phenolics were obtained for the combination of hydrothermal treatment - CaCl_2 + chitosan coating.

Saba and Sogvar (2016) observed a reduction in total phenolic content in FC apples coated with carboxymethylcellulose in combination with calcium chloride and ascorbic acid. This same trend was reported for FC ‘Kent’ mangos, decreasing in slices only coated with alginate and in the control, whereas the content was maintained in the treatments with anti-browning agents (Robles-Sánchez et al., 2013).

The phenol content in six cultivars of FC tomatoes did not show the effects of minimal processing up to 14 days at 4°C under modified atmosphere (5% O_2 + 5% CO_2), when an increase in the content was noticed. This accumulation could be related to the response of FC fruit to injury, according to the author (Odrizola-Serrano, Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2008).

Silva et al. (2014) reported a TEP content of $1,263.70 \pm 126.97 \text{ mg.GAE.}100^{-1} \text{ g}$ (dry basis) in the papaya pulp, and classified it as medium content (500 - 2500 $\text{mg.GAE.}100^{-1} \text{ g}$ dry basis), what suggests this fruit as a good source of phenolic compounds. which suggests that this fruit as a good source of phenolic compounds. Additionally, Almeida et al. (2011) analyzed the antioxidant activity and bioactive compounds, including TEP, of 11 exotic fruits in Northeastern region of Brazil, and also recorded moderate content of TEP in papayas.

3.2. Antioxidant activity

The ability of capturing the free radical $\text{DPPH}^{\bullet}$ was observed differently among coatings during storage, and the total antioxidant activity (TAA) of FC ‘Golden’ papaya decreased over time, except for the control (Figure 4A). The highest average ($2,107.84 \text{ g pulp.g DPPH}^{-1}$) was obtained for slices coated with the combination of yam starch and chia mucilage at a ratio of 1:3 and added essential oil (1S3MO). Uncoated slices showed lower values of EC_{50} , and

therefore higher antioxidant activity, mainly because of the largest contribution of the pigments, TEP, and ascorbic acid, being followed by slices coated with 4S.

Almeida et al. (2011) evaluated the TAA and bioactive compounds of 11 exotic fruits from Northeastern region of Brazil and recommended the use of ABTS^{•+} and DPPH methods because of their high correlation ($R = 0.92$, $p < 0.001$). But, a greater scope in determining the antioxidant capacity was obtained through the ABTS^{•+} method.

Ramazzina et al. (2015) consider that the antioxidant components of the FC plant tissues become more susceptible to degradation, or by exposure to oxygen and light, as well as increased enzyme activity as a result of injury (cutting). These authors also reported that studies about changes in antioxidant activity of plant material resulting from injuries show that such changes depend on the type of tissue, the initial content of ascorbic acid, and the phenolic compounds' profile.

Ghidelli, Mateos, Rojas-Graü & Pérez-Gago (2015) observed that coating based on isolated soy protein optimized with beeswax and cysteine did not affect the EC₅₀ values in FC 'Blanca de Tudela' artichokes after 3 days stored at 5 °C.

The antioxidant activity from capturing the ABTS^{•+} radical presented interaction between treatment and time (Figure 4B), with declining values during storage, although high values for all coated slices were observed on the 2nd day. Uncoated slices stood out again due to their higher antioxidant capacity, without differing significantly ($p < 0.05$), however, being those coated with 2% yam starch and 2% mucilage (2S2M). In turn, the coating with 4% yam starch (4S) was the one with lesser TAA by ABTS^{•+} method, certainly due to the lower carotenoid content. Intermediate TAA values were obtained for coated slices with 2S2MO and 2S2MO, indicating a preservative effect by adding essential oil to the coating.

In contrast to the addition of essential oils to the coatings reported herein, table grapes coated with pectin and added cinnamon leaf essential oil showed a higher ABTS^{•+} capturing

effect than in the uncoated grapes or for those coated only with pectin (Melgarejo-Flores et al., 2013). Almeida et al. (2011) reported an antioxidant activity by ABTS^{•+} assay of 7.60 ± 0.20 mM of Trolox. g⁻¹ fresh weight (TEAC) for papaya pulp. The combination of ascorbic acid with alginate in FC ‘Kent’ mangos promoted greater TEAC values compared to the pieces only coated with alginate and those which were not coated during 12 days of storage at 4°C (Robles-Sanchez et al., 2013).

Guerreiro, Gago, Faleiro, Miguel & Antunes (2015) found that strawberries coated with alginate and pectin containing citral and eugenol essential oils had lower TAA using the ABTS^{•+} method.

3.3. Correlation, ACP, cluster analysis

FC ‘Golden’ papayas stored for 12 days at 5°C showed significant changes in bioactive compound content, altering the antioxidant properties of the slices in response to different coatings. The pairwise correlation of all variables showed that the ascorbic acid content and total extractable polyphenols correlated with DPPH radical capturing capability, as well as β -carotene content correlated with ABTS^{•+} appear interrelated during storage, indicating the effect of time in modifying the antioxidant status of the fruit due to biosynthetic and degradative processes involving functional compounds.

Therefore, the ascorbic acid content and total extractable polyphenols were negative and strongly correlated, indicating that the increased ascorbic acid content results in less accumulation of TEP, and vice versa (Table 2). This was also reflected in the negative and stronger correlation of ascorbic acid content with antioxidant activity by the DPPH radical, indicating that this bioactive compound contributed most significantly to the capture of this radical. In turn, considering the ABTS^{•+} method, the content of β -carotene was strongly correlated with lycopene, and most significantly contributed to the antioxidant activity, as it presented a positive correlation.

Table 3 shows the scores and Figure 5 illustrates the eigenvector circle of variables analyzed through multivariate technique: bioactive compounds and antioxidant activity of minimally processed papayas using the 4S, 2S2MO, 1S3MO, 1S3M, and control at 0, 2, 4, 6, 8, 10, and 12 days of cold storage.

Two principal components satisfactorily explained the variability of this experiment, which amounted 68.54% of cumulative variance, where 42.77% corresponds to CP1 and 25.76% to CP2.

Lycopene (Lycop), β -carotene (β Carot), yellow flavonoid (Y.Flav), and antioxidant activity by ABTS^{•+} method were the variables that best explained the variability in the PC1. While for PC2, ascorbic acid (Ac.asc.), total extractable polyphenols (PET), and the DPPH antioxidant activity were correlated. Therefore, all variables proved to be important in explaining the variability of the coatings during storage.

From the similarities observed between the coatings during storage, the cluster analysis resulted in four groups (Figure 5). The coatings 4S, 2S2MO, and 1S3MO at 2, 4, 6, and 8 days of storage, together with 1S3M at 4, 6, and 8 days, and also including period 0, forming group I (GI); especially due to the similarities in the ascorbic acid, lycopene, β -carotene, yellow flavonoid, and total extractable polyphenols contents, along with antioxidant activity using ABTS^{•+}.

Among the coatings of GI, the TEP content in particular was maintained as being the closest possible to initial levels, showing preserving effects of coatings until the 8th day when the biosynthesis of these compounds, and therefore its ripeness was delayed. An inhibition of phenylalanine ammonia-lyase activity (Queiroz, Lopes, Fialho & Valente-Mesquita, 2011) and phenolics biosynthesis (Nogales-Delgado, Fuetes-Pérez, Ayuso-Yuste & Bohoyo-Gil, 2014) from the reduced permeability to oxygen could be the cause of this delay.

Group II (GII) was formed by uncoated slices (C) at 2, 4, 6, and 12 days of storage, and 1S3M on the 2nd day. This grouping was made especially due to the similarities of ascorbic acid, TEP, lycopene, and β -carotene contents, and the antioxidant activity by ABTS^{•+} and DPPH[•] methods. Ascorbic acid levels in the uncoated slices were higher than in the coated ones. This indicates the efficiency of the coatings in delaying ripening, and therefore the accumulation of this bioactive compound. This also explains the larger TAA presented by DPPH[•] and ABTS^{•+} methods in such slices, possibly caused by greater tissue protection to the stress resulted from the minimal processing lesions.

Group III (GIII) was composed of 2S2MO and 1S3MO at 10 and 12 days of storage, 1S3M at the 10th day, and the control on days 8 and 10, due to similarities in Asc. acid, TEP, β Carot, ABTS^{•+} and DPPH[•]. Slices coated with 2S3MO, 1S3MO, and 1S3M showed intermediate contents of ascorbic acid, TEP, and higher antioxidant activity at 10 and 12 days, indicating that the combination of yam starch and chia mucilage was favorable to the maintenance of ascorbic acid and antioxidant activity for 12 days of cold storage. Finally, Group IV (GIV) gathered slices of 4S at 10 and 12 days, and 1S3M at 12 days, according to the similarities in the low levels of Asc. acid, TEP, and smaller antioxidant activities in both the ABTS^{•+} and DPPH[•] methods.

The addition of chia seed emulsion in the coatings certainly reinforces the protection of bioactive compounds, and this can be related to the composition of mucilage which contains bioactive compounds from the original seeds (such as quercetin and kaempferol), as well as noticeable antioxidant properties as reported in the literature (Reyes-Caudillo, Tecante & Valdivia-López, 2008; Martínez-Cruz & Paredes-Lopez, 2014; Marineli, Moraes, Lenquiste, Godoy, Eberlin & Maróstica Jr., 2014).

GIII and GIV are also very important due to the addition of sweet orange essential oil to the 1S + 3M formula, which differentiated from the other formulas in their preservation capacity of bioactive compounds by two more days.

The sweet orange essential oil used in this work has D-limonene as a main component (Ferquima, 2015), a taste component in citrus and has recognized antimicrobial, chemopreventive, and antioxidant activity (Li & Lu, 2016). The TAA of this phenolic by equivalence to Trolox was reported by Bacanli et al. (2015) in concentrations of 2 - 2000uM. The incorporation of this compound in edible films was assayed by Sánchez-Aldana, Andrade-Ochoa, Critóbal, Contreras-Esquivel & Nevárez-Moorillón (2015); Marcuzzo et al. (2012); Fabra, Chambin, Voilley, Gay & Debeaufort (2012); Hambleton, Voilley & Debeaufort (2011), and Miller, Upadhyaya & Krochta (1998). However, none of them focused on maintaining the TAA in the FC fruit coated by a film matrices. Thus, the incorporation of D-limonene in coatings applied onto FC fruit has not yet been reported.

Cinnamon leaf essential oils at concentrations of 7.3, 15.7, and 36.1 g.L⁻¹ increased the antioxidant activity of pectin-based edible films (Ayala-Zavala et al., 2013). In FC melons, Silveira, Moreira, Artés & Aguayo (2015) observed the antioxidant effect of essential vanillin oils (1 or 2g/L) and cinnamic acid (0.15 and 0.30 g.L⁻¹) in maintaining the polyphenol and ascorbic acid contents.

The hierarchical clustering color map clearly pictures the global effect of coatings in the maintenance of bioactive compounds and the antioxidant activity of MP 'Golden' papayas (Figure 6). Therefore, papaya slices under coatings presented a slow accumulation of antioxidant compounds during storage. In contrast to this, uncoated slices reached the highest values for all studied variables, except for DPPH[•], which shows that the scavenging capacity was high. Together with the control, the coating based on 1% starch and 3% chia mucilage (1S3M) formed a group for sharing similar tendencies; they were permeable to oxygen, and

consequently they had a high metabolic rate. The other treatments had coated slices where the color expression for functional compounds, and consequently, the antioxidant capacity were lower, forming a different group.

A reduction in metabolism resulted from using the coatings, possibly due to reduced permeability to oxygen and a consequent reduction of ethylene production and respiratory activity (Ali, Maqbool, Alderson & Zahid, 2013). This leads to highlighting the uncoated papaya slices, since the accumulation of bioactive compounds, especially pigments, can be a response to the induced ripening during the time after cutting (Talcott, Moore, Lounds-Singleton & Percival, 2005; Wang & Gao, 2013). In this sense, papaya slices coated with 2% starch and 2% chia mucilage with orange essential oil (2S2MO) presented together the most evident maintenance of bioactive compound contents and antioxidant activity, thereby being characterized as the most efficient coating to reduce metabolic rates.

4. Conclusions

The coatings coded as 2S2MO and 1S3MO stood out for their better protection effect due to the ascorbic acid content and higher antioxidant activity when compared to 4S and 1S3M coatings after 12 days of cold storage. This gives evidence to the role of sweet orange essential oil in enhancing the bioactive properties of the coatings when combined with yam starch and chia mucilage. Furthermore, principal component analysis of bioactive compound contents revealed clustering of coatings based both on the presence of the sweet orange essential oil and lower increase of bioactive compounds.

Together, the combined use of 2% yam starch, 2% chia mucilage associated to 0.025% sweet orange essential oil resulted in maintaining the quality and functional potential of minimally processed 'Golden' papaya.

References

- Albertini, S., Reyes, A.E., Trigo, J.M., Sarriés, G.A. & Spoto, M.H.F. (2016). Effects of chemical treatments on fresh-cut papaya. *Food Chemistry*, 190, 1182 – 1189.
- Ali, A., Maqbool M., Anderson, P.G. & Zahid. N. (2013). Effects of gum Arabic as an edible coating on antioxidant capacity of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit during storage.
- Almeida, M.M.B., Sousa, P.H.M., Arriaga, A.M.C., Prado, G.M., Magalhães, E.C., Maia, G.A. & Lemos, T.L.G. (2014). Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International*, 44, 2155–2159.
- AOAC (2000). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Maryland, USA.
- Argñosa, A.C.S.J., Raposo, M.F.J., Teixeira, P.C.M. & Morais, A.M.M.B. (2008). Effect of cut-type on quality of minimally processed papaya. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 2050 – 2060.
- Ayala-Zavala, J.F., Silva-Espinoza, B.A., Cruz-Valenzuela, M.R., Leyva, J.M., Ortega-Ramirez, L.A., Carrasco-Lugo, D.K., Pérez-Carlón, J.J., Melgarejo-Flores, B.G., Gonzales-Aguilar, G.A. & Miranda, M.R.A. (2013). Pectin-cinnamon leaf oil coatings add antioxidant and antibacterial properties to fresh-cut peach. *Flavour and Frangance Journal*, 28, 39 – 45.
- Ayón-Reyna, L.E., Tamayo-Limón, R., Cárdenas-Torres, F., López-López, M.E., López-Angulo, G., López-Moreno, H.S., López-Cervántes, J., López-Valenzuela, J.A. & Vega-Garcia, M.O. (2015). Effectiveness of Hydrothermal-Calcium Chloride Treatment and Chitosan on Quality Retention and Microbial Growth during Storage of Fresh-Cut Papaya. *Journal of Food Science*, 80, C594–C601.

- 507 Bacanli, M., Başaran, A.A. & Başaran, N. (2015). The antioxidant and antigenotoxic
508 properties of citrus phenolics limonene and naringin. *Food and Chemical Toxicology*. 81, 160
509 – 170.
- 510 Besinela Junior, E., Monarim, M.M.S., Camargo, M., Mahl, C.R.A., Simões, M.R. & Silva,
511 C.F. (2010). Efeito de diferentes biopolímeros no revestimento de mamão (*Carica papaya* L.)
512 minimamente processado. *Revista Varia Scientia Agrárias*, 01,131–142.
- 513 Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to
514 evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- 515 Brasil, I.M., Gomes, C., Puerta-Gomez, A. Castell-Perez, M.E. & Moreira, R.G. (2012).
516 Polysaccharide-based multilayered antimicrobial edible coating enhances quality of fresh-cut
517 papaya. *LWT - Food Science and Technology*, 47, 39-45.
- 518 Capitani, M.I., Corzo-Rios, L.J., Chel-Guerrero, L.A. Betancur-Ancona, D.A., Nolasco, S.M.
519 & Tomás, M.C. (2015). Rheological properties of aqueous dispersions of chia (*Salvia*
520 *hispanica* L.) mucilage. *Journal of Food Engineering*, 149, 70-77.
- 521 Chien, P.J, Lin, H.R. & Su, M.S. (2013). Effects of edible micronized chitosan coating on
522 quality and shelf life of sliced papaya. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 9-13.
- 523 Cortez-Vega, W.R., Pizato, S., Souza, J.T.A. & Prentice, C. (2014). Using edible coatings from
524 Whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) protein isolate and organo-clay nanocomposite
525 for improve the conservation properties of fresh-cut ‘Formosa’ papaya. *Innovative Food*
526 *Science and Emerging Technologies*, 22,197–202.

- 527 Dantas, R.L., Silva, S.M., Brito Primo, D.M., Sousa, A.S.B., Brito, E.S. & Macedo, E.M.S.
 528 (2015). Changes during maturation in the bioactive compounds and antioxidant activity of
 529 *Opuntia stricta* (haw.) Fruits. *Acta Horticulturae*, 1067, 159–165.
- 530 Dick, M., Costa, T.M.H., Gomaa, A., Subirade, A., Subirade, M., Rios, A.O., Flôres, S.H.
 531 (2015). Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its
 532 physicochemical and mechanical properties, *Carbohydrate Polymers*, 130, 198–205.
- 533 Fabra, M.J., Chambin, O., Voilley, A., Gay, J.P. & Debeaufort, F. (2012). Influence of
 534 temperature and NaCl on the release in aqueous liquid media of aroma compounds encapsulated
 535 in edible films. *Food Engineering*, 108, 30–36.
- 536 FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division:
 537 Browse Data, Production, Crops. Available in: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>
 538 accessed: 17 November 2015.
- 539 Ferquima. (2015) *LAUDO TÉCNICO: Óleo Essencial de Laranja Doce (Citrus aurantium var.*
 540 *dulcis)*. FERQUIMA Ind. e Com. Ltda. Vargem Grande Paulista, SP. 1 p.
- 541 Fonseca, M.J., Leal, N.R., Cenci, S.A., Cecon, P.R., Bressan-Smith, R.E. & Balbino, J.M.S.
 542 (2007). Evolução dos pigmentos durante o amadurecimento de mamão 'Sunrise Solo' e 'Golden'.
 543 *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29, 451-455.
- 544 Francis, F. J. (1982). Analysis of anthocyanins. In: Markakis, P. (Ed.), Anthocyanins as food
 545 colors. *New York: Academic Press*, 181-207. 1982.
- 546 Ghidelli, C., Mateos, M., Rojas-Graü, C. & Pérez-Gago, M.B. (2015). Novel approaches to
 547 control browning of fresh-cut artichoke: Effect of a soy protein-based coating and modified
 548 atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 99, 105–113.

- 549 Guerreiro, A.C., Gago, M.L.G., Faleiro, M.L., Miguel, M.C.G. & Antunes, M.D.C. (2015). The
550 use of polysaccharide-based edible coatings enriched with essential oils to improve shelf life of
551 strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 51–60.
- 552 Hambleton, A., Voilley, A. & Debeaufort, F. (2011) Transport parameters for aroma
553 compounds through i-carrageenan and sodium alginate-based edible films. *Food*
554 *Hydrocolloids*. 25 (5), 1128-1113.
- 555 Kovach, W.L. (2006). *MVSP: a multivariate statistical package for Windows*, version 3.1.3n
556 Pentraeth: Kovach Computing Services.
- 557 Kuwar, U., Sharma, S. & Tadapaneni, V.R. (2015). *Aloe vera* gel and honey-based edible
558 coatings combined with chemical dip as a safe means for quality maintenance and shelf-life
559 extension of fresh-cut papaya. *Journal of Food Quality*, 38, 347-358.
- 560 Li, P.H. & Lu, W.C. (2016). Effects of storage conditions on the physical stability of D-
561 limonene nanoemulsion. *Food Hydrocolloids*, 53, 218–224.
- 562 Mali, S., Grossmann, M.V.E. & Yamashita, F. (2010). Starch films: production, properties and
563 potential of utilization. *Semina: Ciências Agrárias*, 31, 137-156.
- 564 Marcuzzo, E., Debeaufort, F., Sensidoni, A., Tat, L., Beney, L., Hambleton, A., Peressini, D.
565 & Voilley, A. (2012). Release behavior and stability of encapsulated D-limonene from
566 emulsion-based edible films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, p. 12177–12185.
- 567 Martínez-Cruz, O. & Paredes-López, O. (2008). Phytochemical profile and nutraceutical
568 potential of chia seed (*Salvia hispanica* L.) by ultra high performance liquid chromatography.
569 *Journal of Chromatography A*, 1346, 43-48.

- 570 Marineli, A.S., Moraes, E.A., Lenquiste, S.A., Godoy, A.T., Eberlin, M.N. & Maróstica Jr,
571 M.R. (2014). Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil
572 (*Salvia hispanica* L.). *LWT – Food Science and Technology*, 59, 1304 -1310.
- 573 Melgarejo-Flores, B.G., Ortega-Ramirez, L.A., Silva-Espinoza, B.A., González-Aguilar,
574 Miranda, M.R.A. & Ayala-Zavala, J.F. (2013). Antifungal protection and antioxidant
575 enhancement of table grapes treated with emulsions, vapors, and coatings of cinnamon leaf oil.
576 *Postharvest Biology and Technology*, 86, 321-328.
- 577 Miller, K.S., Upadhyaya, S.K. & Krochta, J.M. (1998). Permeability of d-limonene in whey
578 protein films. *Journal of Food Science*, 63, 244 -247.
- 579 Molavi, H., Behfar, S., Shariati, M.A., Kaviani, M. & Atarod, S. (2015). A review on
580 biodegradable starch based film. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*,
581 4, 456–461.
- 582 Muñoz L.A., Cobos A., Diaz O. & Aguilera J.M. (2012). Chia seeds: Microstructure, mucilage
583 extraction and hydration. *Journal of Food Engineering*, 108, 216-224.
- 584 Nagata, M. & Yamashita, I. (1992). Simple method for simultaneous determination of
585 chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 39, 925-928.
- 586 Nogales-Delgado, S., Fuentes-Pérez, M.C., Ayuso-Yuste, C. & Bohoyo-Gil, D. (2014). Study
587 of different nectarine cultivars and their suitability for fresh-cut processing. *International*
588 *Journal of Food Science & Technology*, 49, 114–120.
- 589 Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R. & Martín-Belloso, O. (2008). Effect of minimal
590 processing on bioactive compounds and color attributes of fresh-cut tomatoes. *LWT - Food*
591 *Science and Technology*, 41, 217–226.

- 592 Oms-Oliu, G., Rojas-Graü, M.A., González, L.A., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando,
593 M.I.H., Munuera, I.P., Fiszman, S. & Martín-Belloso, O. (2010). Recent approaches using
594 chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and*
595 *Technology*, 57, 139–148.
- 596 Patrignani, F., Siroli, L., Serrazanetti, D.I., Gardini, F. & Lanciotti, R. (2015). Innovative
597 strategies based on the use of essential oils and their components to improve safety, shelf-life,
598 and quality of minimally processed fruits and vegetables. *Trends in Food Science and*
599 *Technology*, 46, 311–319.
- 600 Pereira, G.S., Machado, F.L.C. & Costa, J.M.C. (2014). Aplicação de recobrimento prolonga a
601 qualidade pós-colheita de laranja ‘Valência Delta’ durante armazenamento ambiente. *Revista*
602 *Ciência Agrônômica*, 45, 520-527.
- 603 Queiroz, C., Lopes, M.L.M., Fialho, E. & Valente-Mesquita, V.L. (2011). Changes in bioactive
604 compounds and antioxidant capacity of fresh-cut cashew apple. *Food Research International*,
605 44, 1459-1462.
- 606 Ramazzina, I., Berardinelli, A., Rizzi, F., Tappi, S., Ragni, L., Sacchetti, G. & Rocculi, P.
607 (2015). Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant
608 activity of minimally processed kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 107, 55-65.
- 609 Reyes-Caudillo, E., Tecante, A. & Valdivia-López, M.A. (2008). Dietary fibre content and
610 antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispânica* L.)
611 seeds. *Food Chemistry*, 107, 656–663.
- 612 Robles-Sánchez, R., Rojas-Graü, M.A., Odriozola-Serrano, I., González-Aguilar, G.A. &
613 Martín-belloso, O. (2009). Effect of minimal processing on bioactive compounds and

- 614 antioxidante activity of fresh-cut ‘Kent’ mango (*Mangifera indica* L.). *Postharvest Biology and*
 615 *Technology*, 51, 384–390.
- 616 Robles-Sánchez, R.M., Rojas-Graü, M.A., Odriozola-Serrano, I., González-Aguilar, G. &
 617 Martín-Belloso, O. (2013). Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning
 618 agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes. *LWT - Food*
 619 *Science and Technology*, 50, 240-246.
- 620 Rojas-Graü, M.A., Soliva-Fortuny, R. & Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to
 621 Bincorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science and*
 622 *Technology*, 20, 438-447.
- 623 Saba, M.K. & Sogvar, O.B. (2016). Combination of carboxymethyl cellulose-based coatings
 624 with calcium and ascorbic acid impacts in browning and quality of fresh-cut apples. *LWT -*
 625 *Food Science and Technology*, 66, 165-171.
- 626 Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M.A., Soliva-Fortuny, R. & Martín-Belloso, O. (2015). Use of
 627 antimicrobial nanoemulsions as edible coatings: Impact on safety and quality attributes of fresh-
 628 cut fuji apples. *Postharvest Biology and Technology*, 105, 8–16.
- 629 Sánchez-Aldana, D., Andrade-Ochoa, S., Critóbal, N., Contreras-Esquivel, J.C. & Nevárez-
 630 Moorillón, G.V. (2015). Antibacterial activity of pectin-based edible films incorporated with
 631 Mexican lime essential oil. *Food Control*, 50, 907–912.
- 632 Santos, N.S.T. , Aguiar, A. , Oliveira, C. , Sales, C. , Silva, S.M., Silva, R.S., Stamford, T. &
 633 Souza, E.L. 2012. Efficacy of the application of a coating composed of chitosan and *Origanum*
 634 *vulgare* L. essential oil to control *Rhizopus stolonifer* and *Aspergillus niger* in grapes (*Vitis*
 635 *labrusca* L.). *Food Microbiology*, 32, 345-353.

- Schweiggert, R. M., Mezger, D., Schimpf, F., Steingass, C.B. & Carle, R. (2012). Influence of chromoplast morphology on carotenoid bioaccessibility of carrot, mango, papaya, and tomato. *Food Chemistry*, 135, 2736–2742.
- Silva, L.M.R., Figueiredo, E.A.T., Ricardo, N.M.P.S., Vieira, I.G.P., Figueiredo, R.W. & Brasil, I.M. (2014). Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 143, 398–404.
- Silva, S.M., Lopes, D.M., Britto Primo, D.M. & Torres, L.V.B. (2009). Pulp color changes during storage of cactus pear fruit coated with yam starch. *Acta Horticulturae*, 811, 173-177.
- Silveira, A.C., Moreira, G.C., Artés, F. & Aguayo, E. 2015. Vanillin and cinnamic acid in aqueous solutions or in active modified packaging preserve the quality of fresh-cut Cantaloupe melon. *Scientia Horticulturae*, 192, 271-278.
- Skurtys, O., Acevedo, C., Pedreschi, F., Enronoe, J., Osorio, F. & Aguilera, J.M. (2010) *Food Hydrocolloid Edible Films and Coatings*. New York: Nova Science Publishers, Inc., 66p. (Food Science and Technology Series).
- Strohecker, R. & Henning, H.M. (1967). *Análises de vitaminas: métodos comprovados*, Madrid: Paz Montolvo, 428 p.
- Suryawanshi, J.A.S. (2011). An overview of *Citrus aurantium* used in treatment of various diseases. *African Journal of Plant Science*, 5, 390–395.
- Talcott, S.T., Moore, J.P., Lounds-Singleton, A.J. & Percival, S. S. 2005. Ripening Associated Phytochemical Changes in Mangos (*Mangifera indica*) Following Thermal Quarantine and Low-Temperature Storage. *Journal of Food Science*, 70 (5), C337-C341.

- 657 Udomkun, P. Nagle, M., Mahayothee, B., Nohr, D., Koza, A. & Muller, J. (2015). Influence of
658 air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant
659 capacity of osmotically pretreated papaya. *LWT - Food Science and Technology*, 60, 914-922.
- 660 Waghmare, R.B. & Annapure, U.S. (2013). Combined effect of chemical treatment and/or
661 modified atmosphere packaging (MAP) on quality of fresh-cut papaya. *Postharvest Biology
662 and Technology*, 85, 147–153.
- 663 Wang, S.Y. & Gao, H. 2013. Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants,
664 antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries (*Fragaria x ananassa
665 Duch.*). *LWT - Food Science and Technology*, 52 (2), 71-79.
- 666 Zainudin, M.A.M., Hamid, A.A., Anwar, F., Shofian, N.M. & Dek, M.P. (2012). Effect of
667 fluorescent light on selected antioxidant compounds and antioxidant activity during storage of
668 fresh-cut carambola (*Averrhoa carambola* L.) fruit. *Pakistan Journal of Botany*, 44, 1681-168.

Table 1.

Coatings	Concentrations	Codes
Yam starch (S)	4% S	4S
Yam starch (S) and chia seed mucilage (M) + essential oil (O)	2% S + 2% M + 0,025% O	2S2MO
Yam starch (S) and chia seed mucilage (M) (1:3) + essential oil (O)	1% S+ 3% M + 0,025% O	1S3MO
Yam starch (S) and chia seed mucilage (M) (1:3)	1% S + 3% M	1S3M
Absolute Control	Uncoated fruits	C

Table 2.

Variable	by Variable	Correlation	Ploted Correlation		
			-1	0	+1
As. Acid	TEP	-0.9420*			
Lycopene	TEP	-0.2590			
Y. Flavonoid	TEP	0.6238			
β-carotene	TEP	-0.0113			
As. Acid	Lycopene	-0.0349			
β-carotene	Lycopene	0.9623*			
As. Acid	Y. Flavonoid	-0.3856			
Lycopene	Y. Flavonoid	-0.8536*			
β-carotene	Y. Flavonoid	-0.7475			
As. Acid	DPPH	-0.8679*			
TEP	DPPH	0.7722*			
Lycopene	DPPH	0.0419			
Y. Flavonoid	DPPH	0.4350			
β-carotene	DPPH	0.1896			
As. Acid	ABTS	-0.6875			
TEP	ABTS	0.4476			
Lycopene	ABTS	0.7245			
Y. Flavonoid	ABTS	-0.3582			
DPPH	ABTS	0.6079			
β-carotene	ABTS	0.8547*			

Table 3.

Parameters	Eigenvectors	
	PC1	PC2
ASC.ACID	0.079	0.479
LYCOP	0.507	-0.286
βCAROT	0.513	-0.167
Y. FLAVONOID	-0.422	0.302
TEP	0.264	0.537
ABTS	0.402	0.119
DPPH	-0.253	-0.517
Eigenvalues	2.994	1.803
CV (%)	42.776	25.764

ASC. ACID = ascorbic acid; LYCOP = lycopene; β-CAROT = β-carotene; Y. FLAVONOID = yellow flavonoid; TEP = total extractable polyphenols; ABTS = antioxidant activity by from capturing ABTS^{•+} radical; DPPH = antioxidant activity by scavenging DPPH[•]. CP = componente principal; CV = cumulative variance.

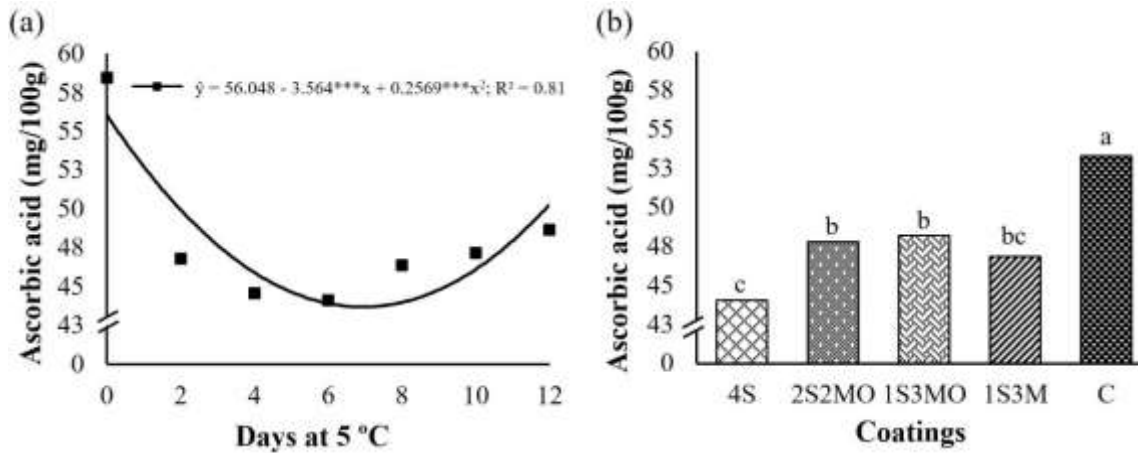


Figure 1.

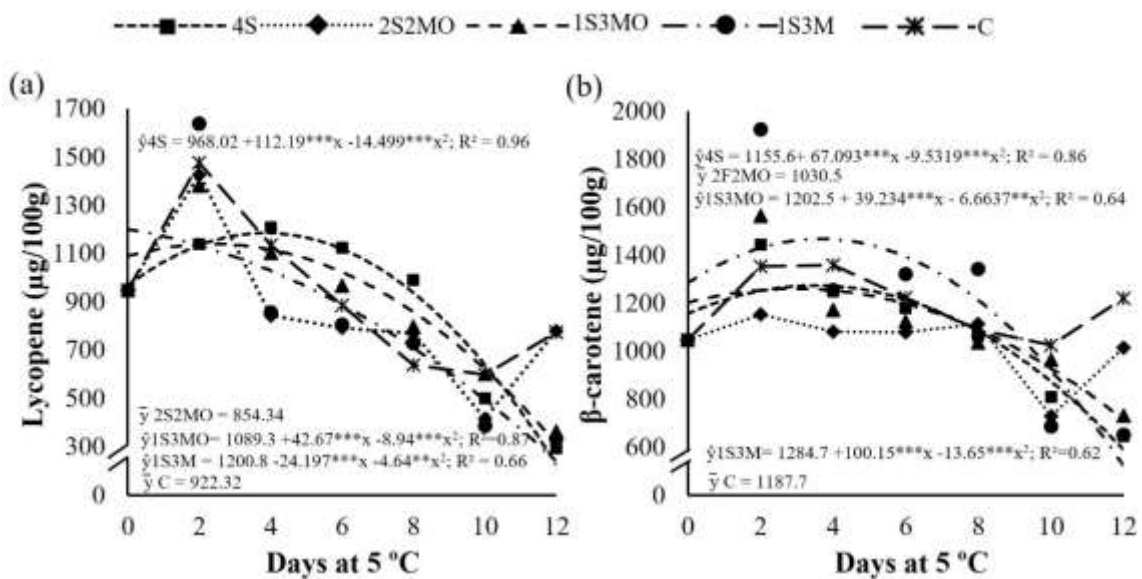


Figure 2.

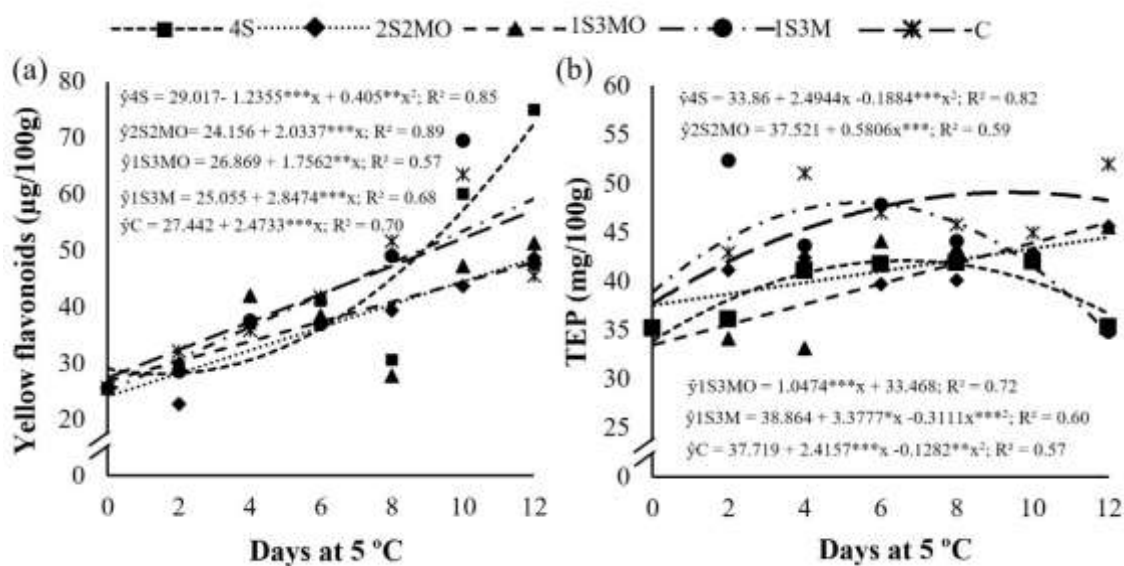


Figure 3.

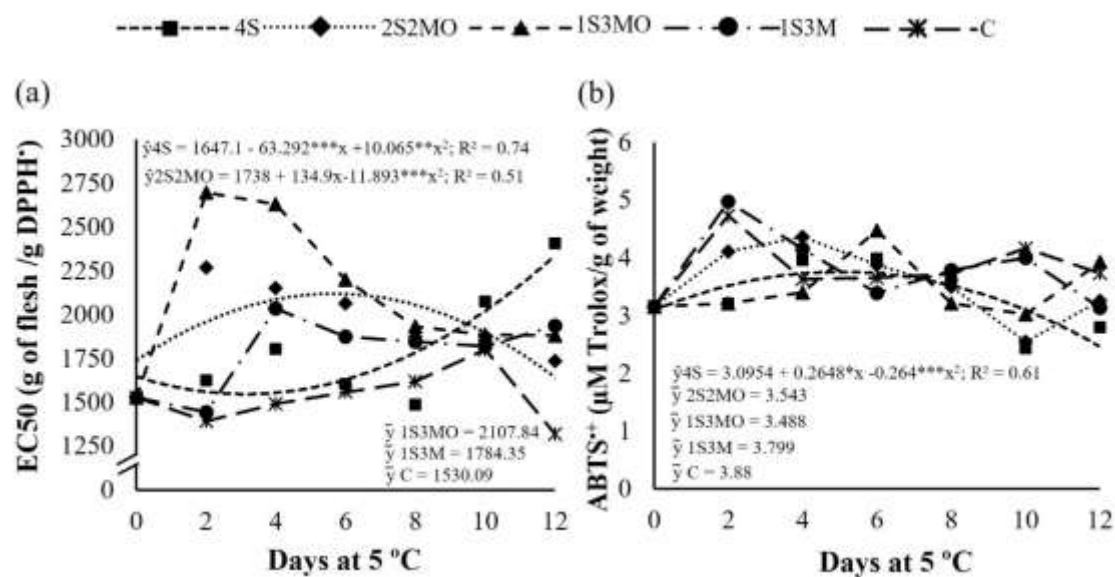


Figure 4.

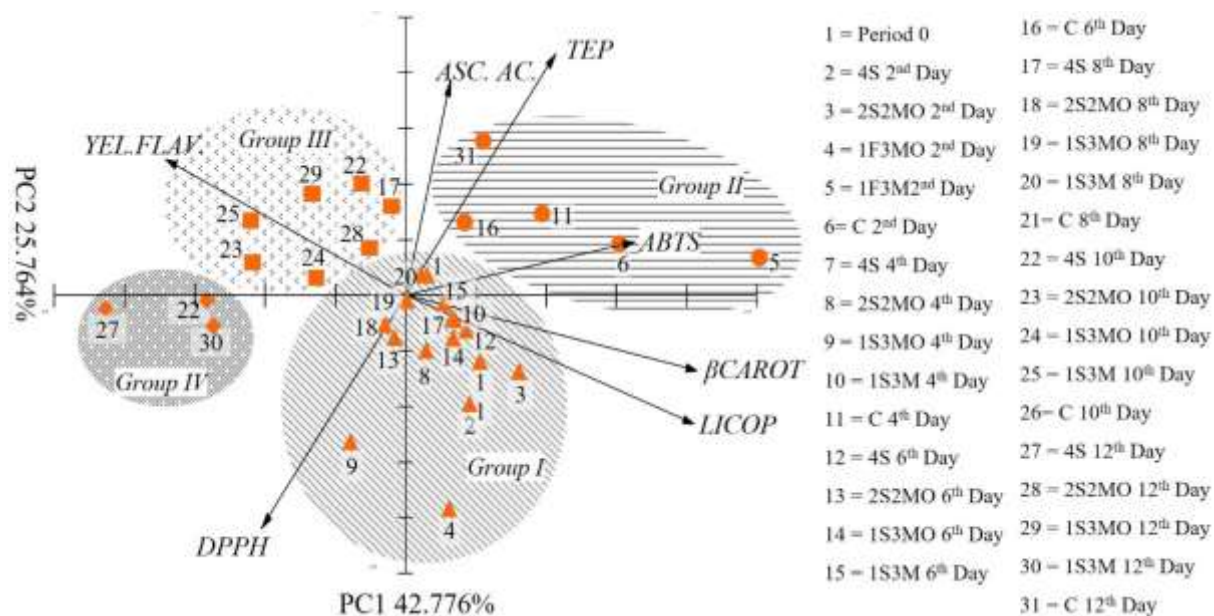


Figure 5.

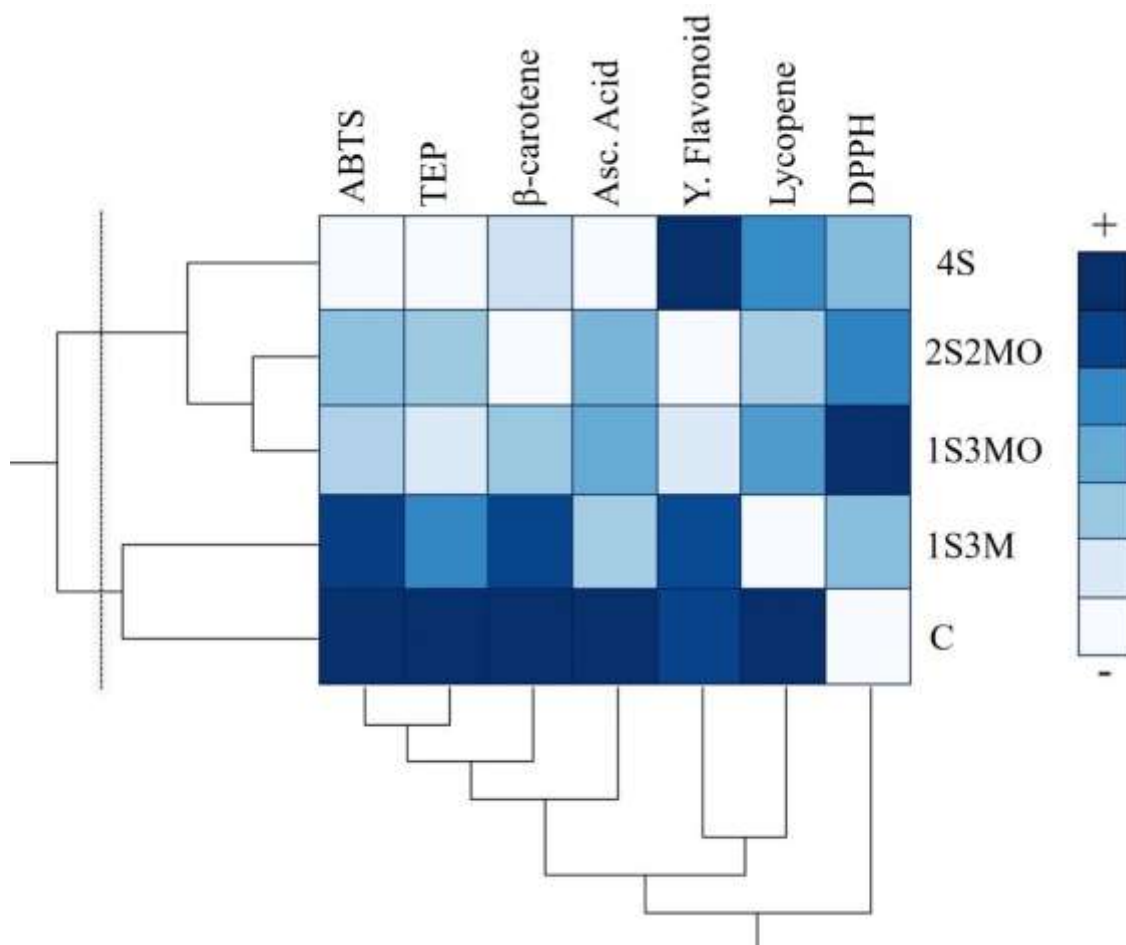


Figure 6.

Table captions

Table 1. Yam starch, chia seed mucilage, and sweet orange essential oil concentrations in edible coatings developed for application in the slices of minimally processed ‘Golden’ papaya.

Table 2. Pairwise correlation among antioxidant compounds (Ascorbic acid - As. Acid, Lycopene, Yellow flavonoid, β -carotene, and Total Extractable Polyphenols-TEP) and antioxidant properties (DPPH $\bullet$ and ABTS $\bullet^+$) in fresh-cut ‘Golden’ papaya, edible coated with combinations of yam starch, mucilage of chia, and essential oil of orange and cold-stored under modified atmosphere at $5 \pm 1^\circ\text{C}$ and $80 \pm 2\%$ RH for 12 days.

Table 3. Eigenvectors of PC1 and PC2 corresponding to a full-data PCA model for fresh-cut ‘Golden’ papaya edible coated with combinations of yam starch, mucilage of chia, and essential oil of orange and cold-stored under modified atmosphere at $5 \pm 1^\circ\text{C}$ and $80 \pm 2\%$ RH for 12 days.

Figure captions

Figure 1. Ascorbic acid content in fresh-cut ‘Golden’ papaya during storage (a) and under different coatings (b) cold-stored under modified atmosphere at $5 \pm 1^\circ\text{C}$ and $80 \pm 2\%$ RH for 12 days.

Figure 2. Lycopene (a) and β -carotene (b) content in fresh-cut ‘Golden’ papaya edible coated with combinations of yam starch, mucilage of chia, and essential oil of orange and cold-stored under modified atmosphere at $5 \pm 1^\circ\text{C}$ and $80 \pm 2\%$ RH for 12 days.

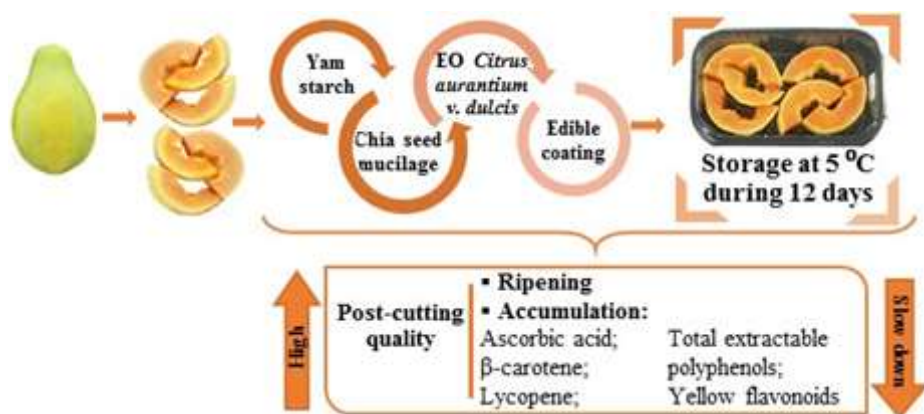
Figure 3. Yellow flavonoid (a) and Total Extractable Polyphenols - TEP (b) content in fresh-cut ‘Golden’ papaya edible coated with combinations of yam starch, mucilage of chia, and

essential oil of orange and cold-stored under modified atmosphere at $5 \pm 1^\circ\text{C}$ and $80 \pm 2\%$ RH for 12 days.

Figure 4. Total antioxidant activity by scavenging the DDPH[•] free radical (a) and from capturing the ABTS^{•+} radical (b) in fresh-cut ‘Golden’ papaya edible coated with combinations of yam starch, mucilage of chia, and essential oil of orange and cold-stored under modified atmosphere at $5 \pm 1^\circ\text{C}$ and $80 \pm 2\%$ RH for 12 days.

Figure 5. Biplot (loadings and scores) of PC1 vs. PC2 corresponding to a full-data PCA model for fresh-cut ‘Golden’ papaya edible coated with combinations of yam starch, mucilage of chia, and essential oil of orange and cold-stored under modified atmosphere at $5 \pm 1^\circ\text{C}$ and $80 \pm 2\%$ RH for 12 days.

Figure 6. Hierarchical color map clustering of five edible coatings (4% yam starch - 4S, 2% starch + 2% chia mucilage + essential oil - 2S2MO, 1% starch and 3% chia mucilage - 1S3MO, 1% starch and 3% chia mucilage - 1S3M and control - C) and the relevance of the variables (Ascorbic acid - Asc. Acid, Lycopene, Yellow flavonoid, β -carotene, and Total extractable polyphenols-TEP) and antioxidant properties (DPPH[•] and ABTS^{•+}) in fresh cut ‘Golden’ papaya edible cold-stored with coatings based on yam starch, mucilage of chia and essential oil of orange.



Graphical abstract

5 CONCLUSÕES

Com base nos parâmetros estudados, é notória a influência de recobrimentos comestíveis formulados com fécula de inhame, combinada ou não com mucilagem de chia e óleo essencial de laranja doce, na qualidade pós-corte de mamão ‘Golden’ minimamente processado, especialmente quanto a acidez titulável, relação SS/AT, aspectos escurecido e exsudato, danos graves, cor, aparência, avaliação global e intenção de compra.

O recobrimento com 2% de fécula, com 2% de mucilagem adicionado de 0,025% de óleo essencial (2F2MO) destacou-se como o único a proporcionar qualidade sensorial dos mamões minimamente processados dentro do limite de aceitação para cor aparência e avaliação global até o décimo segundo dia de armazenamento, sendo o único também acima da média da intenção de compra em todos os períodos.

A adição, em proporções iguais, de mucilagem de chia ao amido e inhame, para formulação de recobrimento comestível, modificou o padrão de difração de raios X da estrutura do filme que, quando constituído somente por fécula (4F), apresentou picos de cristalinidade que atingiram o dobro daqueles demonstrados pela estrutura 2F2MO. Além disso, o equilíbrio entre amido de inhame e mucilagem de chia suavizou a superfície do filme, diminuindo a rugosidade. Em termos de conformação molecular, não há alterações expressivas no espectro FTIR do filme 2F2MO em relação ao 4F.

Os recobrimentos 2F2MO e 1F3MO (1% de fécula + 3% de mucilagem + 0,025% de óleo) destacaram-se pela maior retenção dos teores de ácido ascórbico e maiores atividades antioxidantes que 4F e 1F3M após doze dias de armazenamento, colocando em evidência o papel do óleo essencial de laranja doce em potencializar bioativamente os recobrimentos combinados de fécula de inhame e mucilagem de chia.

O uso da combinação de 2% fécula de inhame e 2% mucilagem de chia, associado à 0,025% de óleo essencial de laranja doce resultou em manutenção da qualidade e potencial funcional de mamão ‘Golden’ minimamente processado.

APÊNDICE – Ficha de avaliação sensorial

Experimento de Dissertação – Mamão ‘Golden’ minimamente processado sob recobrimentos biodegradáveis – Ficha de Análise Sensorial

Nome: _____ Data: ____/____/____

Você está diante de 05 amostras codificadas de mamão minimamente processado. Por favor, observe-as e avalie, conforme Escala I, todas as amostras quanto à intensidade dos aspectos a seguir:

- Escala I:
- 9 – extremamente forte
 - 8 – moderadamente forte
 - 7 – ligeiramente forte
 - 6 – ligeiramente forte
 - 5 – nem forte nem fraco
 - 4 – ligeiramente fraco
 - 3 – regularmente fraco
 - 2 – moderadamente fraco
 - 1 – ausente / extremamente fraco

AMOSTRA	ASPECTO					Danos graves	Intensidade da cor
	Aspecto desidratado	Aspecto esbranquiçado	Aspecto escurecido	Aspecto exsudado			

Com base na Escala II, responda o quanto você gosta ou desgosta de cada uma das amostras em relação aos aspectos listados na tabela seguinte:

- Escala II:
- 9 – gostei extremamente
 - 8 – gostei moderadamente
 - 7 – gostei regularmente
 - 6 – gostei ligeiramente
 - 5 – nem gostei nem desgostei
 - 4 – desgostei ligeiramente
 - 3 – desgostei regularmente
 - 2 – desgostei moderadamente
 - 1 – desgostei extremamente

AMOSTRA	ASPECTO		Avaliação global
	Cor	Aparência	

Agora, conforme a Escala III, caracterize as amostras quanto à sua intenção de compra:

- Escala III:
- 5 – Certamente compraria
 - 4 – Possivelmente compraria
 - 3 – Talvez comprasse talvez não comprasse
 - 2 – Possivelmente não compraria
 - 1 – Certamente não compraria

AMOSTRA	Intenção de compra

Comentários ou observações: