



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE, TECNOLOGIA E SOCIEDADE
MESTRADO EM AMBIENTE, TECNOLOGIA E SOCIEDADE

BRENDA NATHÁLIA FERNANDES OLIVEIRA

**FILMES MISTOS DE ALGINATO DE SÓDIO E CERA DE ABELHA:
PREPARAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO EM EMBALAGENS PARA
MEL DE ABELHA (*Apis mellifera L.*)**

MOSSORÓ, RN

ABRIL - 2021

BRENDA NATHÁLIA FERNANDES OLIVEIRA

**FILMES MISTOS DE ALGINATO DE SÓDIO E CERA DE ABELHA:
PREPARAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO EM EMBALAGENS PARA
MEL DE ABELHA (*Apis mellifera L.*)**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Ambiente, Tecnologia e Sociedade do Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade.

Linha de Pesquisa: Tecnologias Sustentáveis e Recursos Naturais do Semi-Árido.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Henrique de Lima Leite

Co-orientadora: Profa. Dra. Karoline Mikaelle de Paiva Soares

Co-orientadora: Profa. Dra. Edna Maria Mendes Aroucha

MOSSORÓ, RN

ABRIL - 2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

O48f Oliveira, Brenda Nathália Fernandes.
FILMES MISTOS DE ALGINATO DE SÓDIO E CERA DE ABELHA: PREPARAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO EM EMBALAGENS PARA MEL DE ABELHA (*Apis mellifera* L.) / Brenda Nathália Fernandes Oliveira. - 2021.
90 f. : il.

Orientador: Ricardo Henrique de Lima Leite.
Coorientadora: Karoline Mikaelle de Paiva Soares.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade, 2021.

1. Biopolímeros. 2. Mel de abelha. 3. Polissacarídeos. 4. Cera de abelha. 5. Filme Biodegradável. I. Leite, Ricardo Henrique de Lima, orient. II. Soares, Karoline Mikaelle de Paiva, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

BRENDA NATHÁLIA FERNANDES OLIVEIRA

**FILMES MISTOS DE ALGINATO DE SÓDIO E CERA DE ABELHA:
PREPARAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO EM EMBALAGENS PARA
MEL DE ABELHA (*Apis mellifera L.*)**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Ambiente, Tecnologia e Sociedade do Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade.

Linha de Pesquisa: Tecnologias Sustentáveis e Recursos Naturais do Semi-Árido.

Defendida em: 30/04/2021.

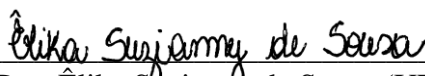
BANCA EXAMINADORA



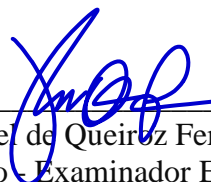
Prof. Dr. Ricardo Henrique Lima Leite (UFERSA)
Presidente



Profa. Dra. Karoline Mikaelle de Paiva Soares (UFERSA)
Membro - Examinadora e coorientadora



Profa. Dra. Êlika Suzianny de Sousa (UFERSA)
Membro - Examinadora Externa



Prof. Dr. Rafael de Queiroz Ferreira (UFES)
Membro - Examinador Externo

DEDICATÓRIA

À minha mãe, razão de todas as minhas conquistas, por tudo que já passamos juntas e que ainda passaremos.

EPÍGRAFE

"Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes."
Isaac Newton

AGRADECIMENTOS

Finalizei mais um ciclo! O mais árduo que enfrentei até agora em minha vida. Mas só foi possível porque eu não estava só. Tive comigo tantos colaboradores que sou só gratidão neste momento!

Em primeiro lugar, minha gratidão eterna a Deus. Se não fosse por Ele eu jamais conseguiria. Obrigada Senhor por estar comigo em todos os momentos, por me segurar quando eu estava tão fraca e cansada, e por me dar forças para continuar quando eu não sabia mais de onde tirá-las. Só o Senhor sabe o tamanho do desafio que foi.

Gratidão aos meus pais, Maria Geresa Fernandes Reinaldo e Eude Alves de Oliveira, meus maiores incentivadores. Obrigada especialmente minha por ser esta mulher forte que sempre me incentivou a sonhar e lutar para realizar, que me ensinou também a ser uma mulher forte em uma sociedade ainda tão hostil para nós mulheres. Obrigada pela coragem e a ousadia que teve ao me apoiar em todos os aspectos a sair da minha zona de conforto, dos seus braços, aos 18 anos para morar em uma cidade grande para fazer faculdade, mesmo com todas as nossas limitações. Você é a heroína da minha história e merece toda honra por isso. Sua filha é mestra!

Ao meu companheiro de vida, Arthur William Pereira da Silva, meu grande motivador e minha maior inspiração acadêmica e de dedicação e superação. Nas muitas vezes em que achei que não conseguiria, foi você quem me escutou, me acalmou e me disse que tudo daria certo. Me auxiliou em tudo, me aconselhou e me orientou. Gratidão meu amor. Eterna gratidão. Sem você eu não conseguiria.

Ao meu irmão, Júnior, sempre tão preocupado comigo, me perguntando como estou. Obrigada por tudo.

À minha família que me acolheu em Mossoró com tanto amor e que torce por mim todos os dias, e me ajuda em tantos aspectos. Muito obrigada por tudo. Vocês foram essenciais. À minha sogra, Socorro Pereira. À minha cunhada e seu esposo, Fernanda Heloiza e João Sabino, e ao bebezinho que nos alegra todos os dias: Henrique Sabino, que chegou quando iniciei o mestrado.

À minha companheira de todas as horas, de todas as noites acordadas, que sempre esteve do meu lado enquanto eu escrevia a dissertação, minha gatinha Bibixe. Você foi essencial para me acalmar e ajudar, principalmente nos momentos mais difíceis.

Às minhas avós, Francinete e Lica (*In memoriam*, perdi no início desta jornada), que sempre acreditaram, torceram e tiveram muito orgulho de mim. O amor de vocês sempre aqueceu meu coração.

Aos tios e tias, primos e primas, e todos os demais familiares que contribuíram de alguma forma nesta jornada, meu muito obrigada!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Leite. Obrigada por tudo, por me apresentar à pesquisa, me orientar, me auxiliar em tudo, por não desistir de mim. Obrigada pela oportunidade de aprender contigo e por ser esse ser humano exemplar.

À Profa. Elís Regina, por toda a empatia que me destinou nos momentos mais difíceis desta jornada, por ir além de coordenadora do programa, por ser humana. Sempre serei grata!

Às minhas coorientadoras, Profa. Dra. Karoline Soares e Profa. Dra. Edna Aroucha, por sempre me auxiliarem em minhas demandas. Tantas vezes corri até a sala da profa. Edna com questionamentos, que foram prontamente atendidas, e de forma tão humana.

A todos os técnicos de laboratório que me auxiliaram nas diversas análises, em especial, Gustavo Almeida e Leonardo Menezes. Vocês foram fundamentais, e me ensinaram tudo que sei hoje de laboratório. Obrigada pelos ensinamentos e pela amizade desenvolvida.

Ao Luan Costa por ter se disponibilizado a me auxiliar nas análises físico-químicas do mel, embora a pandemia não tenha permitido.

Aos membros da minha banca avaliadora, Profa. Dra. Êlika Suzianny de Sousa, sempre tão gentil, e ao Prof. Dr. Rafael de Queiroz Ferreira. As sugestões de vocês foram valiosíssimas para completar este trabalho. Gratidão!

Às queridas amigas que a UFERSA me trouxe através da convivência nos laboratórios e que levo para a vida: Milena Bastos, Cristiane Paiva e Mariana Hellen. Obrigada por tudo. A amizade de vocês trouxe leveza a esse processo. Sentirei muita falta da convivência.

À minha turma do mestrado, e a segunda turma que me recebeu tão bem. Obrigada pela acolhida.

A todos os colegas que dividi experiências nesta jornada, tanto do PPGATS como de outros programas: gratidão.

Ao pessoal da guarita por toda a segurança disponibilizada, especialmente neste ano de pandemia, em que muitas vezes estive sozinha no laboratório. Obrigada por sempre me receberem de forma tão simpática.

A todos os professores do PPGATS por todos os ensinamentos.

A UFERSA por esta oportunidade. Orgulho de fazer parte desta família.

A capes pela bolsa recebida durante dez meses. Foi fundamental para a minha experiência.

A família que ganhei durante esse processo e essa loucura em que o mundo se tornou em 2020, minha equipe da residência: Maíra Fernandes, Elizandra Pinheiro, Erika Dias, Josevaldo Leite

e Erik Jácome. Gratidão por vocês existirem. Sem vocês eu também não teria conseguido. Obrigada por me escutarem em minhas angústias, por me incentivarem, por serem quem são. Gratidão especial à Ivana Cristina, minha amada preceptora.

A todos os queridos colegas da UBS Dr. Eptácio da Costa Carvalho por me acolherem tão bem, e me ensinarem tanto.

Enfim, gratidão a todos que me auxiliaram de alguma forma.

RESUMO

As embalagens plásticas desempenham função primordial na comercialização de alimentos, pois são fundamentais na preservação e manutenção das características dos produtos pelo maior tempo possível. As mais utilizadas no mundo, até o presente momento, são biorecalcitrantes e provenientes de polímeros derivados do petróleo, ou seja, oriundas de fontes não renováveis e que acabam gerando um acúmulo de resíduos sólidos não-degradáveis no meio ambiente. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo obter e caracterizar filmes biodegradáveis de alginato de sódio e cera de abelha adequados à confecção de embalagens para mel de abelha *Apis mellifera L.* Para tanto, este se deu em duas etapas: sendo a primeira a obtenção e caracterização de filmes mistos de alginato de sódio e cera de abelha em quatro composições (Alginato de sódio 2%; Alginato de sódio 2% com 5% de cera de abelha; Alginato de sódio 2% com 10% de cera de abelha; Alginato de sódio 2% com 15% de cera de abelha). Na segunda etapa foi realizada a confecção das embalagens que foram utilizadas para acondicionar o mel por 60 dias, sendo realizadas análises físico-químicas nos méis nos dias 0, 7, 15, 30, 45 e 60 dias. Os resultados obtidos foram submetidos à ANOVA e comparação das médias pelo teste de Tukey com nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Quanto à caracterização dos filmes: aqueles que continham cera na composição apresentaram menor permeabilidade ao vapor de água/taxa de permeabilidade ao vapor de água (PVA/TPVA) em comparação aos demais, coloração mais amarelada e maior opacidade. Nas propriedades mecânicas avaliadas, foi possível observar que em níveis mais altos de cera houve menor resistência à tração, além de maior elasticidade. Nos resultados de solubilidade, verificou-se que filmes com 5 e 10% de cera reduziram significativamente a solubilidade em comparação ao filme somente de alginato. Em relação ao ângulo de contato, os resultados não apresentaram diferença significativa. Em diferentes UR%, filmes com cera absorveram menos água. Nas características físico-químicas do mel, embalagens com cera mantiveram as propriedades do mel dentro das recomendações por mais tempo. Quanto à durabilidade das embalagens, após 30 dias de experimento, todas as embalagens sem cera, apenas de alginato de sódio, apresentaram problemas, principalmente relacionados a vazamentos e dissoluções das embalagens. Sendo a embalagem com 10% de cera a mais durável dentre todas. Dessa forma, conclui-se que a incorporação de cera nas embalagens de alginato de sódio, especialmente na concentração de 10%, foi eficaz para manter as características físico-químicas do mel dentro das recomendações pelo tempo pesquisado, além de ter sido a que apresentou o menor percentual de defeitos durante todo o experimento.

Palavras-chave: Biopolímeros. Mel de abelha. Polissacarídeos. Cera de abelha. Filme Biodegradável.

ABSTRACT

Plastic packaging plays a key role in the marketing of food, as it is essential to preserve and maintain the characteristics of products for as long as possible. The most used in the world, so far, are biorecalcitrant and come from petroleum-derived polymers, that is, from non-renewable sources and which end up generating an accumulation of non-degradable solid waste in the environment. Thus, this work aimed to obtain and characterize biodegradable films of sodium alginate and beeswax suitable for the manufacture of packaging for honey from *Apis mellifera* L. Therefore, this took place in two stages: the first one was obtaining and characterization of mixed films of sodium alginate and beeswax in four compositions (Sodium alginate 2%; Sodium alginate 2% with 5% beeswax; Sodium alginate 2% with 10% beeswax; Alginate of 2% sodium with 15% beeswax). In the second stage, the preparation of the packages that were used to store the honey for 60 days was carried out, with physicochemical analyzes being carried out on the honeys on days 0, 7, 15, 30, 45 and 60 days. The results were submitted to ANOVA and comparison of means by the Tukey test with a significance level of 5% ($p < 0.05$). As for the characterization of the films: those that contained wax in the composition had lower water vapor permeability/water vapor permeability rate (WVP) compared to the others, more yellowish color and greater opacity. In the evaluated mechanical properties, it was possible to observe that at higher levels of wax there was less tensile strength, in addition to greater elasticity. In the solubility results, it was found that films with 5 and 10% wax significantly reduced the solubility compared to the alginate film alone. Regarding the contact angle, the results did not show any significant difference. At different UR%, wax films absorbed less water. In the physicochemical characteristics of honey, wax packaging kept the honey properties within the recommendations for a longer time. As for the durability of the packages, after 30 days of the experiment, all packages without wax, only sodium alginate, had problems, mainly related to leaks and dissolutions of the packages. The packaging with 10% wax is the most durable of all. Thus, it is concluded that the incorporation of wax in the packaging of sodium alginate, especially at a concentration of 10%, was effective in maintaining the physicochemical characteristics of honey within the recommendations for the time researched, in addition to being the one that presented the lowest percentage of defects during the entire experiment.

Keywords: Biopolymers. Honey. Polysaccharides. Beeswax. Biodegradable Film.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA
ASTM	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
FDA	<i>FOOD AND DRUG ADMINISTRATION</i>
IPCC	<i>INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE</i>
PVA	PERMEABILIDADE AO VAPOR D'ÁGUA
TPVA	TAXA DE PERMEABILIDADE AO VAPOR D'ÁGUA
ANOVA	ANÁLISE DE VARIÂNCIA
pH	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO
HMF	HIDROXIMETILFURFURAL
UR	UMIDADE RELATIVA
GAB	GUGGHENHEIM-ANDERSON-DE BOER
MEV	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA
AT	AÇÚCARES TOTAIS
AR	AÇÚCARES REDUTORES
MPs	MICROPLÁSTICOS

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Planejamento experimental das composições de filmes de Alginato de sódio e cera de abelha produzidos para confeccionar embalagens para mel de abelha <i>A. mellifera</i> _____	35
Tabela 2. Material necessário para a produção de um filme de cada composição em gramas _____	35
Tabela 3. Escala de Pfund _____	37
Tabela 4. PVA e TPVA dos filmes de alginato e cera de abelha _____	49
Tabela 5. Parâmetros de cor e opacidade dos filmes de alginato e cera de abelha _____	51
Tabela 6. Propriedades mecânicas dos filmes mistos de alginato e cera de abelha _____	52
Tabela 7. Ângulo de contato e solubilidade dos filmes de alginato e cera de abelha _____	53
Tabela 7. Parâmetros do modelo de GAB para as isotermas de sorção de umidade dos filmes de alginato e cera de abelha _____	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Detalhamento do preparo dos filmes _____	37
Quadro 2. Soluções utilizadas para criar sistemas com diferentes UR _____	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Início do processo de obtenção das soluções filmogênicas _____	36
Figura 2. Soluções com cera de abelha após 10 dias de descanso _____	37
Figura 3. Soluções filmogênicas em estufa para secagem _____	38
Figura 4. Filmes obtidos por <i>casting</i> _____	39
Figura 5. Sistemas simulando microclimas para obtenção de isotermas de sorção de água _	42
Figura 6. Méis no início do experimento _____	44
Figura 7. Micrografias das superfícies dos filmes _____	55
Figura 8. Isotermas de sorção de umidade, a 28 °C, para os filmes de alginato (ALG2) e alginato + cera de abelha (ALG2CA5, ALG2CA10 e ALG2CA15) – dados experimentais e curvas do modelo GAB ajustadas _____	57
Figura 9. Perda de massa dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento _____	59
Figura 10. Percentuais de umidade dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento _____	61
Figura 11. Percentual de Açúcares Redutores dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento _____	63
Figura 12. Percentual de sacarose dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento _____	65
Figura 13. Concentração de HMF dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento _____	66
Figura 14. Condutividade elétrica dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento _____	68
Figura 15. pH dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento _____	69
Figura 16. Acidez dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento _____	70
Figura 17. Cor dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento _____	71
Figura 18. Atividade diastásica dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento _____	73
Figura 19. Comportamento das embalagens biodegradáveis ao longo do experimento, com relação à degradação e vazamentos _____	74

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	20
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 FILMES BIODEGRADÁVEIS	20
3.1.1 Alginato de sódio na produção de filmes biodegradáveis	22
3.1.2 Cera de abelha na composição de filmes biodegradáveis	23
3.2 PROPRIEDADES DOS FILMES BIODEGRADÁVEIS	23
3.2.1 Taxa de permeabilidade ao vapor de água – TPVA	23
3.2.2 Propriedades ópticas: Cor e opacidade	24
3.2.3 Propriedades mecânicas	24
3.2.4 Ângulo de contato	25
3.2.5 Solubilidade	25
3.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	25
3.2.7 Isotermas de sorção de vapor de água	25
3.3 CARACTERÍSTICAS DO MEL DE <i>Apis mellifera</i>	26
3.3.1 Características físico-químicas do mel de abelha	27
3.4 EFEITOS DA LUZ, TEMPERATURA E ACONDICIONAMENTO NA CONSERVAÇÃO DO MEL	32
3.4.1 Embalagens para mel de abelha	33
4 METODOLOGIA	33
4.1. COMPOSIÇÃO DE FILMES MISTOS DE ALGINATO DE SÓDIO E CERA DE ABELHA	34
4.2 PREPARO DE FILMES MISTOS DE ALGINATO DE SÓDIO E CERA DE ABELHA	35
4.2.1 Obtenção dos filmes por <i>casting</i>	38
4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES	39
4.3.1 TPVA	39
4.3.2 Cor e opacidade	40
4.3.3 Propriedades mecânicas	40
4.3.4 Ângulo de contato	41
4.3.5 Solubilidade	41
4.3.6 Microscopia eletrônica de varredura – MEV	41
4.3.7 Isotermas de sorção de umidade	42
4.3.8 Espessura	43
4.4 SELAGEM TÉRMICA, CONFECÇÃO E AVALIAÇÃO DAS EMBALAGENS DE MEL	44
4.4.1 Selagem e confecção	44
4.4.2 Avaliação de defeitos	44
4.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO MEL	44
4.5.1 Obtenção do mel	45
4.5.2 Umidade	45

4.5.3 Açúcares totais (AT) e Açúcares redutores (AR)	45
4.5.4 Sacarose aparente	46
4.5.5 5-Hidroximetilfurfural (HMF)	46
4.5.6 Condutividade elétrica	47
4.5.7 pH	47
4.5.8 Cor	47
4.5.9 Acidez	47
4.5.10 Atividade Diastásica	48
4.5.11 Perda de massa do conjunto embalagem/mel	48
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	48
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES	48
5.1.1 Espessura, taxa de permeabilidade ao vapor de água (TPVA) e permeabilidade ao vapor de água (PVA)	48
5.1.2 Cor e opacidade	49
5.1.3 Propriedades mecânicas	51
5.1.4 Ângulo de contato	53
5.1.5 Solubilidade	53
5.1.6 Microestruturas de superfície	54
5.1.7 Isotermas de sorção de umidade	56
5.2. QUALIDADE DOS MÉIS ACONDICIONADOS EM EMBALAGENS MISTAS DE ALGINATO DE SÓDIO E CERA DE ABELHA	58
5.2.1 Perda de massa	58
5.2.2 Teor de umidade	60
5.2.3 Açúcares Redutores (AR)	62
5.2.4 Sacarose	63
5.2.5 Hidroximetilfurfural (HMF)	65
5.2.6 Condutividade elétrica	67
5.2.7 pH e acidez	68
5.2.8 Cor	70
5.2.9 Atividade Diastásica	72
5.2.10 Defeitos, dissolução e vazamento nas embalagens	74
6 CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

1. INTRODUÇÃO

As embalagens plásticas desempenham função primordial na comercialização de alimentos, pois são fundamentais na preservação e manutenção das características dos produtos pelo maior tempo possível. As mais utilizadas no mundo, até o presente momento, são biorecalcitrantes e provenientes de polímeros derivados do petróleo, ou seja, oriundas de fontes não renováveis e que acabam gerando um acúmulo de resíduos sólidos não-degradáveis no meio ambiente (AZIZ; SALAMA; SABAA, 2018; PARREIDT; MÜLLER; SCHMID, 2018).

Apesar dos esforços já empreendidos pela comunidade internacional para minimizar as problemáticas ambientais, econômicas e sociais que ameaçam tanto o futuro quanto o presente das sociedades humanas, pesquisas têm indicado um agravamento destes problemas nas últimas décadas (IPCC, 2014; SOMERVILLE; WILLIAMS, 2015; JOSHI; RAHMAN, 2017; FIGUEROA-GARCÍA; GARCÍA-MACHADO; YÁBAR, 2018).

De acordo com Mohammadhosseini et al. (2020), a produção de plásticos aumentou consideravelmente nos últimos 50 anos, sendo a maior parte destinada à confecção de embalagens, especialmente alimentícias (41%), que representam um grande impasse na redução de resíduos sólidos (DILKES-HOFFMAN *et al.*, 2018).

Dilkes-Hoffman *et al.* (2018) e Kakadellisa e Harris (2020) esclarecem que isso ocorreu devido à urbanização e à mudança na dieta da população, pois a procura por alimentos processados e ultra processados aumentou consideravelmente neste período, ou seja, um alto consumo de alimentos embalados, em que no mínimo 30% das embalagens são descartadas de forma inadequada, chegando aos oceanos e influenciando na vida dos animais marinhos, e possivelmente na saúde humana através do consumo de microplásticos (MPs), que são o resultado da degradação de materiais plásticos em partículas plásticas com tamanho de 1 µm a 5 mm (PELLINI et al., 2018; FARRELL; NELSON, 2013).

Esta utilização em grande escala de embalagens de materiais não biodegradáveis vem gerando danos ao meio ambiente devido ao acúmulo de resíduos. E com uma demanda maior, por parte de consumidores mais conscientes, há uma tendência à procura de alternativas mais sustentáveis, que mantenham a qualidade dos alimentos e contribuam para a preservação do meio ambiente. Por este motivo, há um crescente interesse no desenvolvimento de embalagens alternativas que não se acumulem e/ou gerem danos ao ambiente (ROMMI *et al.*, 2016; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2019; YANG; WANG; XIA, 2019).

De acordo com Parreidt, Müller e Schmid (2018), outra tendência que vem crescendo na preferência dos consumidores é a busca por alimentos *in natura* ou, no máximo,

minimamente processados. Entre estes alimentos o mel de abelha *Apis mellifera* ganhou destaque, principalmente pelas suas características funcionais, que estão relacionadas aos seus compostos fenólicos, antioxidantes e antibacterianos, esta última característica sendo estudada atualmente como uma alternativa no combate às bactérias resistentes aos antibióticos. No entanto, para manter todas as suas propriedades é necessário que o mel seja acondicionado em embalagens adequadas, sendo as de plástico e de vidro as mais utilizadas (COMBARROS-FUERTES *et al.*, 2020).

Pesquisas para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis, sendo algumas delas inclusive comestíveis, e até mesmo com características funcionais para a saúde do consumidor surgem diariamente (DUMITRIU *et al.*, 2018). Entre as alternativas de embalagens biodegradáveis estão as confeccionadas a partir de biopolímeros, que são polímeros de origem biológica, e sua decomposição pode contribuir inclusive para fertilizar o solo, como aponta Porta, Sabbah e Di Pierro (2020).

Há uma grande variedade de biopolímeros utilizados na produção de bioplástico, entre eles o alginato de sódio, que é um polissacarídeo extraído da parede de algas marrons (*Phaeophyceae*), sendo de baixo custo, e apresentando boas propriedades mecânicas de resistência e elasticidade. Contudo, devido a sua característica hidrofílica, não apresenta boas propriedades de barreira. No entanto, a inserção de lipídeos na matriz polimérica melhora significativamente as propriedades de barreira. Entre as opções para tal objetivo, está a utilização de cera de abelha, um lipídio natural já utilizado na composição de bioplásticos (SZULC *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2020; TANG *et al.*, 2018; DUMITRIU *et al.*, 2018; CORREIO *et al.*, 2018; YILMAZ *et al.*, 2019; JAFARI *et al.*, 2015; RAMACHANDRAIAH; GNOC; CHIN, 2017).

Sabendo dos impactos ambientais gerados pela produção e descarte de embalagens plásticas no meio ambiente, e da possibilidade de minimizar estes impactos através de novas tecnologias sustentáveis, além da indicação de pesquisas (STEVENS, 2010; SCHROEDER, 2014; ÜLKÜ; HSUAN, 2017; KHAN *et al.*, 2018) de que o desenvolvimento de novas tecnologias que estimulem a produção sustentável dos bens de consumo é um dos principais caminhos para a solidificação do desenvolvimento sustentável, foi proposto através deste estudo, a criação de uma embalagem para o mel de abelha *Apis mellifera*, que atendesse às necessidades de conservação requeridas por este alimento, de modo que fosse capaz de manter todas as suas propriedades, e que ao mesmo tempo fosse biodegradável.

Evidencia-se também a vinculação da presente pesquisa aos três pilares deste programa de pós-graduação, a saber, o ambiental, o social e o tecnológico. O desenvolvimento de uma

embalagem biodegradável para o mel de abelha *A. mellifera* configura-se numa inovação tecnológica que reverberará positivamente para o ambiente e a sociedade. Para o ambiente por reduzir os impactos gerados pela produção e descarte das embalagens tradicionais, e para a sociedade, por agregar a imagem de produto sustentável ao mel produzido nas comunidades do semiárido nordestino, abrindo portas para um dos nichos de mercado que mais cresce a nível mundial nas últimas décadas, possibilitando assim desenvolvimento econômico e social para a região (ROBERTS, 1996; POLICYINTERACTIVE, 2014; AKATU, 2018).

2. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

Obtenção e caracterização de filmes biodegradáveis de alginato de sódio e cera de abelha adequados à confecção de embalagens para mel de abelha *Apis mellifera*.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtenção e caracterização de filmes mistos de alginato de sódio e cera de abelha em diferentes proporções;
- Confecção de embalagens biodegradáveis para mel de abelha a partir dos filmes mistos de alginato de sódio e cera de abelha e identificação da composição mais adequada;
- Avaliação da conservação de mel de *Apis mellifera* em embalagens mistas de alginato de sódio e cera de abelha ao longo do tempo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 FILMES BIODEGRADÁVEIS

As embalagens alimentares feitas de derivados do petróleo ainda são maioria no mercado. No entanto, com a crescente conscientização da população quanto às questões ambientais e de saúde, materiais biodegradáveis são cada vez mais requisitados. Neste contexto, surgem as embalagens biodegradáveis para alimentos, sendo algumas delas, inclusive, comestíveis (KOCAKULAK; SUMNU; SAHIN, 2019; PACHECO *et al.*, 2019).

De acordo com Saricaoğlu e Turhan (2019), cobertura/revestimento, filmes e embalagens biodegradáveis, quando utilizados em alimentos, são alternativas para prolongar a sua vida de prateleira, já que dificultam a perda de umidade, a absorção de oxigênio, a migração

lipídica, e até mesmo melhoram o seu manuseio, podendo, em alguns casos, serem consumidos juntamente com este. Neste sentido, é importante diferenciar cobertura, filme e embalagem.

Cobertura diz respeito a um revestimento na superfície do alimento com biopolímeros comestíveis, que é feito, geralmente, mergulhando o alimento em uma mistura filmogênica e em seguida deixando-o secar naturalmente ou em estufa. Após a secagem da mistura filmogênica é formada uma fina camada, geralmente inferior a 0,3 mm, o que contribui para que o alimento tenha maior tempo de prateleira ao diminuir sua taxa respiratória e perda de água, além de melhorar a estética, tornando-o mais atraente ao consumidor. É importante que o revestimento não altere as características organolépticas do alimento (ORIANI *et al.*, 2014).

Já o filme é elaborado a partir da secagem da mistura filmogênica e ao final do processo obtém-se um objeto de grande área e fina espessura, muito semelhante ao material plástico tradicional, que pode ser usado para fabricar envoltórios usados como embalagens (PARREIDT; MÜLLER; SCHMID, 2018).

Os materiais usados na confecção de filmes biodegradáveis podem ser divididos em três grupos: hidrocoloides (polímeros hidrofílicos, como proteínas e polissacarídeos), lipídicos e compósitos (mistura dos dois primeiros tipos). Dessa forma, há uma diversidade de combinações de materiais usada na fabricação de filmes comestíveis (KOCAKULAK; SUMNU; SAHIN, 2019; SARICAOĞLU; TURHAN, 2019).

Para a produção do filme é necessário que se escolha o tipo de material que se irá trabalhar entre as três categorias supracitadas, e um plastificante, como por exemplo, glicerol ou sorbitol. Ainda podem ser adicionadas moléculas bioativas com o intuito de melhorar suas características físicas, sensoriais ou nutritivas, como antioxidantes e antimicrobianos, por exemplo (SARICAOĞLU; TURHAN, 2019).

Parreidt, Müller e Schmid (2018) discorrem sobre as vantagens e desvantagens de cada grupo de biopolímero. Para os autores, a principal vantagem da utilização de polissacarídeos na confecção de filmes é a capacidade de ser uma barreira à gases, enquanto os lipídeos oferecem a redução na transmissão de água, e as proteínas se destacam na estabilidade mecânica. Em relação às desvantagens, os autores limitam-se às relacionadas aos lipídios, onde as principais são opacidade, fragilidade e instabilidade, sendo que esta última pode desencadear um sabor desagradável de ranço no filme, o que não ocorre nos filmes de hidrocolóides.

Dessa forma, Pacheco *et al.* (2019), Yang, Wang e Xia (2019), Aziz, Salama e Sabaa (2018) declararam que a melhor alternativa na confecção de filmes biodegradáveis é a utilização de uma composição mista, pois combinam-se as características de cada material incorporado, potencializando os resultados.

De forma mais objetiva, filmes contendo lipídios, por exemplo, têm boa resistência à umidade, enquanto os filmes à base de polissacarídeos apresentam boas propriedades de flexibilidade e resistência, além de serem mais transparentes, no entanto, por sua característica hidrofílica, são pouco resistentes à umidade. Sendo assim, uma combinação de polissacarídeos com uma emulsão lipídica, pode contribuir para a constituição de um filme mais duradouro (JAFARI *et al.*, 2015; RAMACHANDRAIAH; GNOC; CHIN, 2017).

Nos próximos tópicos será discutido, com maiores detalhes, o biopolímero escolhido (alginato de sódio) para a confecção das embalagens propostas nesse trabalho, e sobre a cera de abelha, e os motivos que levaram à sua inclusão na composição dos filmes.

3.1.1 Alginato de sódio na produção de filmes biodegradáveis

Um biopolímero bastante utilizado na construção de embalagens biodegradáveis por ser de fácil acesso, ter uma longa cadeia polimérica e ser atóxico, é o alginato de sódio, um polissacarídeo solúvel em água, linear e aniônico, obtido a partir de algas marrons (*Phaeophyceae*) (TANG *et al.*, 2018; DUMITRIU *et al.*, 2018; CORREIO *et al.*, 2018; YILMAZ *et al.*, 2019).

Segundo Oliveira Filho *et al.* (2019), as embalagens de alginato de sódio se destacam por serem biodegradáveis, não-tóxicas e economicamente acessíveis, além de apresentar a capacidade de reduzir a oxidação lipídica e o crescimento microbiano nos alimentos.

Filmes produzidos a partir de alginato de sódio ainda podem atuar como um importante carreador de substâncias bioativas, como óleos essenciais, quando estas são incorporadas à composição do filme, sendo liberadas ao longo do tempo. Essas substâncias podem exercer função antioxidante, moduladora e antimicrobiana. Embalagens com essas funções são classificadas como embalagens ativas (HROMIŠ *et al.*, 2017; LEON *et al.*, 2018; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2019).

Assim como ocorre com outros biopolímeros, como a quitosana, por exemplo, a melhor alternativa para a confecção de filmes de alginato de sódio é utilizá-lo juntamente com outro biopolímero (blendas) ou com a adição de outros materiais, pois se utilizado só, apresenta algumas limitações em suas propriedades de barreira e propriedades mecânicas (YANG; WANG; XIA, 2019; AZIZ; SALAMA; SABAA, 2018).

De acordo com a FDA (*Food and Drug Administration*, 2018), “o alginato de sódio é o sal de sódio do ácido algínico, um constituinte natural do poliuronídeo de certas algas marrons.” Ele é classificado como um alimento geralmente seguro (GRAS) e categorizado como emulsificante, estabilizador, espessante e agente gelificante.

3.1.2 Cera de abelha na composição de filmes biodegradáveis

A cera de abelha é uma substância lipídica natural secretada por abelhas dos tipos *A. mellifera* e *A. cerana*, através de quatro glândulas especiais presentes em seus abdomens, e é composta principalmente por ésteres (cerca de 67%), hidrocarbonetos (14%), ácidos graxos (12%) e álcool (1%), além de compostos aromáticos e pigmentos. Ademais, a cera de abelha também é classificada como GRAS (FDA, 1975; SZULC *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2020).

Ao ser secretada, a cera de abelha é líquida e quase branca, mas quando entra em contato com o mel e o pólen adquire coloração amarelada, mudando sua cor com o tempo, podendo variar de amarelo a quase preta. Solidifica-se em escamas assim que entra em contato com o ar, formando a primeira embalagem natural do mel. Entre suas características estão o seu aspecto quebradiço e sua insolubilidade em água. Seu ponto de fusão é superior aos 60 °C (TIKKANEN, 2010; SZULC *et al.*, 2020).

Na indústria alimentícia, a cera de abelha é utilizada como aditivo alimentar natural na conservação de alimentos, pois tem efeito antimicrobiano contra bactérias gram-positivas e gram-negativas, além de ser antifúngica. Outras utilizações são: fabricação de velas, cosméticos, indústria farmacêutica entre outros. Recentemente também tem sido testada a sua incorporação na composição de filmes biopoliméricos, a fim de melhorar as propriedades de barreira e aumentar a capacidade hidrofóbica destes (SZULC *et al.*, 2020).

3.2 PROPRIEDADES DOS FILMES BIODEGRADÁVEIS

3.2.1 Taxa de permeabilidade ao vapor de água – TPVA

De acordo com Farias *et al.* (2012, p. 135), a taxa de permeabilidade ao vapor de água (TPVA) diz respeito à “transmissão de vapor de água por unidade de área através do filme, de espessura conhecida, induzida por um gradiente de pressão entre duas superfícies específicas, de umidade relativa e temperatura especificada.”

Evitar que a umidade externa entre em contato com o alimento é uma das funções essenciais de uma embalagem, já que esta pode ser prejudicial à conservação dos alimentos, ao favorecer um ambiente propício ao desenvolvimento de microrganismos, modificar a textura e sabor, entre outros.

Há vários fatores que influenciam a permeabilidade de vapor de água nos filmes poliméricos, como por exemplo, o plastificante utilizado e a estrutura molecular da matriz polimérica, sendo que filmes com matriz de cadeias poliméricas lineares simples, apresentam menor permeabilidade. Filmes de polissacarídeos e/ou de proteínas apresentam, em sua maioria,

maior permeabilidade ao vapor de água, devido sua característica hidrofílica (SILVA; BIERHALZ; KIECKBUSCH, 2009; JAFARI *et al.*, 2015; RAMACHANDRAIAH; GNOC; CHIN, 2017).

3.2.2 Propriedades ópticas: Cor e opacidade

As propriedades ópticas, cor e opacidade, são as características mais relacionadas à aceitação por parte dos consumidores, pois influenciam na escolha do alimento, sendo que filmes menos opacos e mais transparentes são mais aceitos, pois facilitam a visualização do alimento sem interferências, o que traz segurança ao consumidor (BALTI *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Segundo Carissimi, Flôres e Rech (2018), a cor e a opacidade dos filmes estão relacionadas diretamente com o tipo de polímero utilizado. A autora ainda enfatiza que, comercialmente, é importante que os filmes tenham brilho elevado e alta transparência, muito embora a opacidade não inviabilize a comercialização.

3.2.3 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas estão entre as características mais importantes a serem analisadas nas embalagens, a fim de se conhecer a resistência à tração (TS), o alongamento na ruptura (E%) e o módulo de elasticidade ou módulo de Young (Y). Esses parâmetros devem ser sempre apreciados e muitas vezes as embalagens biodegradáveis têm utilização limitada por não apresentarem propriedades mecânicas adequadas, diferentemente das embalagens convencionais. Por isso a importância de pesquisas que prezem pela busca a alternativas que melhorem as propriedades mecânicas dos filmes biodegradáveis (WU *et al.*, 2019).

A resistência à tração diz respeito à tração máxima que o filme suporta, enquanto o alongamento na ruptura (E%) indica qual a deformação máxima que um filme pode sofrer até se romper. Já o Módulo de Young caracteriza o filme quanto à sua elasticidade/rigidez (MA *et al.*, 2012).

Segundo Mali, Grossmann e Yamashita (2010), os filmes devem ser resistentes à tração, de forma que protejam o alimento embalado durante o transporte e manuseio, garantindo a sua integridade. Além disso, eles devem ser flexíveis para que se adaptem às deformações que possam ocorrer nos alimentos, sem causar dano mecânico.

Ainda de acordo com Mali, Grossmann e Yamashita (2010), as propriedades mecânicas dos filmes estão diretamente relacionadas ao tipo de polímero utilizado, sendo que polissacarídeos e hidrocolóides são muito resistentes, enquanto lipídios têm baixa resistência

mecânica e flexibilidade, por isso mais uma vez reforça-se a relevância da inserção de materiais na composição do filme que melhorem essas propriedades.

3.2.4 Ângulo de contato

Os termos ângulo de contato ou ângulo de molhabilidade dizem respeito ao ângulo que uma gota de água forma com a superfície de um material. Esse critério é influenciado por alguns fatores como, material do filme, solvente e pela estrutura da superfície em que a substância líquida repousa, especialmente pela rugosidade (SILVA; BIERHALZ; KIECKBUSCH, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

A partir do grau do ângulo de contato se classificam as superfícies em hidrofílicas (menor que 90°) e hidrofóbicas (maior que 90°). O conhecimento do ângulo de contato é muito importante para se prever como o filme se comportará em ambientes úmidos e se a embalagem é adequada para determinado alimento (ANTONINI *et al.*, 2014).

3.2.5 Solubilidade

A maioria das aplicações de filmes comestíveis requer certa insolubilidade à água, a fim de manter a integridade do alimento. A insolubilidade tem relação com o tipo de polímero utilizado para a confecção da embalagem (BERTAN, 2008).

A necessidade da baixa solubilidade em água vai depender muito do alimento que vai ser embalado. Alimentos com alta atividade de água ($> 0,70$), por exemplo, necessitam de embalagens insolúveis em água, enquanto alimentos desidratados ou mais secos podem ser acondicionados em embalagens com uma maior solubilidade (SILVA; BIERHALZ; KIECKBUSCH, 2012).

3.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

De acordo com Almeida *et al.* (2013), a utilização da Microscopia Eletrônica de Varredura em filmes, tem a função de obter informações sobre a estrutura morfológica destes, permitindo verificar a homogeneidade ou a existência de falhas e rupturas, sendo essencial essa detecção, já que a presença destas falhas afeta diretamente a qualidade do filme, especialmente suas propriedades mecânicas, além de trazer risco de contaminação ao alimento, já que afeta a integridade física da embalagem.

3.2.7 Isotermas de sorção de vapor de água

Isotermas de sorção ao vapor de água dizem respeito à mensuração da interação das

moléculas de água do ambiente com o alimento, embalagem ou outro material (AGUIRRE-LOREDO *et al.*, 2017).

De acordo com Tanada-Palmu, Helén e Hyvönen (2000) o conhecimento das isotermas dos filmes trabalhados é muito importante para prever o quanto de água ele pode perder ou ganhar, em determinada situação, e assim proceder com o planejamento e escolha do material mais adequado e/ou melhor forma de conservação.

3.3 CARACTERÍSTICAS DO MEL DE *Apis mellifera*

O mel caracteriza-se como um produto alimentício natural adocicado, produzido por abelhas a partir do néctar de flores, secreções de partes vivas das plantas ou de excreções de insetos sugadores de plantas que ficam sobre partes vivas de plantas, podendo variar em suas características físico-químicas e sensoriais de acordo com alguns fatores, como origem floral e tipo de abelha que o produz. Este trabalho se deterá aos méis produzidos por abelhas com ferrão, do tipo *A. mellifera*, que produzem o mel mais comercializado mundialmente (BRASIL, 2000; LEMOS *et al.*, 2017; CIANCIOSI *et al.*, 2018; FERNANDES; ROSA; CONTI-SILVA, 2018; MÜNSTEDT; MOMM; HÜBNER, 2019; RAMSAY *et al.*, 2019).

O mel é utilizado há séculos como alimento, adoçante, e, também, como um recurso terapêutico na medicina popular, devido aos seus efeitos antimicrobiano, anti-inflamatório, anticancerígeno, cicatrizante entre outros. Há registros em pinturas da Idade da Pedra da utilização do mel há milhares de anos. Textos de Aristóteles e Hipócrates (pai da medicina), já atribuíam ao mel propriedades curativas de várias enfermidades. Atualmente, muitas propriedades terapêuticas do mel são aceitas e comprovadas pela comunidade científica (RAMSAY *et al.*, 2019; NGUYEN *et al.*, 2019; CIANCIOSI *et al.*, 2018; MELO *et al.*, 2017; COMBARROS-FUERTES *et al.*, 2018).

De acordo com a legislação brasileira (BRASIL, 2000), o mel pode ser de duas origens: floral ou melato/mel de melato, sendo este obtido de secreções de partes vivas das plantas ou de excreções de insetos sugadores de plantas. Os méis de origem floral classificam-se em uniflorais/monoflorais, que são aqueles produzidos a partir de flores de uma mesma família, gênero ou espécie, e multiflorais/poliflorais, provenientes de variadas origens florais, sendo esse último o tipo mais comum, de acordo com Solayman *et al.* (2016). O mel pode ainda ser classificado quanto ao procedimento de obtenção de mel do favo (mel escorrido, prensado ou centrifugado) e apresentação e/ou processamento (mel, mel em favos ou mel em secções, mel com pedaços de favo, mel cristalizado ou granulado, mel cremoso e mel filtrado).

O mel apresenta pelo menos 200 compostos diferentes, como proteínas, vitaminas, ácidos orgânicos, flavonóides, ácidos fenólicos, fitoquímicos, e principalmente carboidratos e água. Sua composição pode variar em razão de algumas variáveis, como estação, modo de colheita e armazenamento pós-colheita, por exemplo (AZONWADE *et al.*, 2018; AL-FARSI *et al.*, 2018).

Por sua composição, o mel classifica-se como um alimento funcional. De acordo com a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), alimentos funcionais são aqueles que apresentam em sua composição, substâncias, nutrientes ou não, que desempenham ações no crescimento, desenvolvimento e manutenção de funções do corpo, como por exemplo, regulação da atividade intestinal e proteção contra radicais livres (BRASIL, 2013; KORKMAZ; KÜPLÜLÜ, 2017).

As características funcionais do mel são inerentes à presença de substâncias consideradas bioativas, que são antioxidantes com importantes aplicações na saúde humana, atuando diretamente na prevenção e tratamento de doenças. Entre suas funções, destacam-se, por exemplo, sua função antimicrobiana, antifúngica, e sua capacidade sequestradora de radicais livres (ZHOU; CHEN; SHI, 2015; VALDÉS-SILVERIO *et al.*, 2018).

Estas características se devem aos seus componentes antioxidantes, a saber, flavonoides, ácidos fenólicos, ácido ascórbico, catalase, peroxidase, carotenoides e produtos das reações de *Maillard* (JASICKA-MISIAK; MAKOWICZ; STANEK, 2018; KAVANAGH *et al.*, 2019).

Além de conferir características funcionais, os compostos antioxidantes, em especial os compostos fenólicos, ainda atuam diretamente na cor e características sensoriais do mel. Neste sentido, Bandeira *et al.* (2018) e Silva *et al.* (2016) observaram que méis de cores mais escuras apresentaram altas concentrações de minerais e substâncias antioxidantes (carotenoides e flavonoides).

3.3.1 Características físico-químicas do mel de abelha

Conhecer as características físico-químicas do mel é fundamental para determinar a sua qualidade e autenticidade, pois determinados atributos são responsáveis por uma maior valorização, e conseqüentemente melhor comercialização do produto. Alguns desses parâmetros são definidos na legislação brasileira (BRASIL, 2000) e no *Codex Alimentarius* (2001).

Além disso, há parâmetros de segurança alimentar a serem seguidos para que o mel esteja apto à comercialização e seguro para o consumo. Nesse quesito, segundo Kumar *et al.* (2018), há inclusive méis produzidos de algumas fontes florais que são tóxicos para o consumo

humano, como méis da Azaleia Amarela (*Rhododendron luteum*) e da Adelfeira (*R. ponticum*), que contêm uma neurotoxina chamada graianotoxina, que traz malefícios aos músculos cardíaco e esquelético, nervos periféricos e sistema nervoso central, com diminuição de suas funções por até 24 horas. No entanto, raramente leva ao óbito (DAUGHERTY, 2005).

Os critérios definidos pelo *Codex Alimentarius* (2001) e aceitos na legislação brasileira (BRASIL, 2000) para méis, no que diz respeito às características físico-químicas, são relacionados à maturidade (açúcares redutores - frutose e glicose; umidade; sacarose aparente), pureza (sólidos insolúveis em água; minerais - cinzas; pólen), deterioração (fermentação, acidez, atividade diastásica e 5-hidroximetilfurfural) e acondicionamento do mel. Bergamo *et al.* (2019) defendem ainda a utilização do pH como mais um parâmetro útil para analisar a deterioração de méis, ainda que não haja nenhum limite mínimo estabelecido por organizações regulatórias.

Kavanagh *et al.* (2019) observaram em estudo realizado na Irlanda, que fatores relacionados à origem floral e à localização das colmeias (meio urbano ou rural) influenciaram na composição físico-química de méis.

Shapla *et al.* (2018) e El Sohaimy, Masry, Shehata (2015) corroboram com esta informação, e apresentam ainda outros aspectos que influenciam na composição do mel. De acordo com os autores, a época do ano, fatores ambientais e o tipo de tratamento efetuado pelos apicultores são elementos importantes a serem considerados na avaliação de méis.

3.3.1.1 Umidade

De acordo com Singh e Singh (2018), a umidade é um dos parâmetros mais importantes em relação à qualidade do mel. Isto porque a quantidade de água do mel indica sua estabilidade contra a fermentação e cristalização, de modo que quanto maior o teor de água mais fácil e rapidamente ele fermentará por leveduras tolerantes a açúcares. A umidade é um parâmetro muito importante na avaliação do mel, e ela influencia na maturidade, sabor, cor, cristalização, viscosidade entre outros aspectos (SAKAČ *et al.*, 2019).

O teor de umidade do mel varia em decorrência de alguns fatores, como origem floral do mel, umidade relativa da região em que foi produzido, condições de processamento e/ou armazenamento, e práticas de apicultura (SAKAČ *et al.*, 2019; TANLEQUE-ALBERTO; JUAN-BORRÁS; ESCRICHE, 2019).

Segundo Chen (2019), o teor de umidade desejável para processamento e armazenamento no mel varia de 17% a 22%. Méis com teores baixos de umidade tendem a caramelizar mais facilmente pela reação de *Maillard*, enquanto méis com maiores percentuais

de umidade podem fermentar e formar ácido acético (SAKAČ *et al.*, 2019).

3.3.1.2 Açúcares

Os carboidratos são os principais componentes do mel, especialmente os açúcares redutores, que de acordo com Bandeira *et al.* (2018), são bons indicadores do nível de maturação do mel, como os monossacarídeos frutose e glicose, o que juntos representam, em média, 65% da composição total, seguidos por pequenas quantidades de polissacarídeos e dissacarídeos. No Brasil, a recomendação de teor de açúcares redutores em méis é de no mínimo 65% para méis florais, e 60% para mel de melato (BRASIL, 2000; SOLAYMAN *et al.*, 2016; COMBARROS-FUERTES *et al.*, 2018).

Segundo Kumar *et al.* (2018) e Tanleque-Alberto, Juan-Borrás e Escriche (2019), os açúcares redutores estão intimamente relacionados ao estado de cristalização do mel, sendo imprescindível verificar as razões frutose/glicose (F/G) e glicose/água (G/W), dado que méis com $F/G < 1,0$ e $G/W > 2,0$ tendem a cristalizar mais rapidamente. De acordo com revisão de literatura abrangente realizada por Solayman *et al.* (2016), o mel contém em média 39,44% de frutose, 28,15% de glicose e 3,19% de sacarose.

A análise do teor de sacarose é muito importante, pois atesta, por exemplo, a autenticidade do mel, ao investigar a adulteração do mel por adição ao mel de açúcar de mesa. O nível de sacarose no mel deve ser inferior a 6%. Acima desse percentual, significa que o mel foi adulterado (KUMAR *et al.*, 2018; BRASIL, 2000).

Os açúcares redutores são também responsáveis pela formação de um importante composto, o 5-hidroxiacetilfurfural (HMF) (SHAPLA *et al.*, 2018).

3.3.1.3 5-Hidroxiacetilfurfural (HMF)

O hidroxiacetilfurfural (HMF) é um composto que se forma a partir da degradação dos açúcares, principalmente da frutose. No Brasil, o teor máximo de HMF permitido em méis é de 60 mg kg (BRASIL, 2000). Já o *Codex alimentarius* estabelece um limite um pouco superior, de no máximo 80 mg kg de mel, para países tropicais, ou seja, países em que as temperaturas naturalmente são mais elevadas, pois o aumento de temperatura influencia diretamente em uma maior produção de HMF (BRASIL, 2000; CODEX ALIMENTARIUS, 2001; MENEZES; MATTIETTO; LOURENÇO, 2018; AL-FARSI *et al.*, 2018).

Estudos mostram que a quantidade média de HMF encontrada em méis em condições adequadas para consumo é de 10 mg kg. Méis com teor de HMF acima das recomendações máximas indicam deterioração por aquecimento, longo tempo de armazenamento ou

armazenamento inadequado, e/ou adulteração por xarope invertido (SINGH; SINGH, 2018).

Em temperatura ambiente, a conversão de glicose e frutose em HMF é muito lenta. No entanto, foi observado que essa conversão acontece em uma quantidade maior e mais rapidamente à medida que se aumenta o tempo de armazenamento e/ou a temperatura a que o mel é submetido. Se aquecido em temperatura superior a 75° C por alguns minutos, ou armazenado em temperatura acima de 27° C por alguns meses, o nível de HMF se elevará no mel. Além disso, observou-se também maior formação de HMF em méis com menor pH (SINGH; SINGH, 2018; OTA *et al.*, 2019).

Segundo Ota *et al.* (2019), o HMF possui efeitos citotóxicos, mutagênicos, carcinogênicos e genotóxicos, sendo, dessa forma, fortemente não recomendado o aquecimento do mel, pois esse procedimento pode torná-lo tóxico ao consumo.

3.3.1.4 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica do mel está relacionada à concentração de minerais, proteínas e ácidos orgânicos, além de ser um bom parâmetro para determinar a origem de méis florais. Observou-se correlação positiva entre a quantidade de cinzas (minerais), acidez e o nível de condutividade elétrica, de modo que, quanto maior o teor de cinzas e acidez, maior a condutividade elétrica (VIEIRA *et al.*, 2014; HABIB *et al.*, 2014; VLAEVA *et al.*, 2017; ADGABA *et al.*, 2017; MEHDI *et al.*, 2018; KUMAR *et al.*, 2018; PASCUAL-MATÉ *et al.*, 2018).

Ressalta-se que ainda não há parâmetros no Brasil para classificar a condutividade elétrica de méis.

3.3.1.5 pH

O pH é um parâmetro muito utilizado como indicador de contaminação microbiana no mel. A maioria dos microrganismos só se desenvolve em pH na faixa de 7,2 a 7,4. Dessa forma, a fim de evitar o desenvolvimento de microrganismos maléficos à sua qualidade, e consequentemente à saúde do consumidor, o pH do mel deve estar entre 3,2 a 4,5 (SAKAČ *et al.*, 2019).

Essa faixa varia de acordo com diversos fatores, um deles está relacionado ao tipo de tratamento a que o mel é submetido. Kadri, Zaluski e Orsi (2017) observaram que méis centrifugados apresentaram pH ligeiramente menor (4,06 a 4,15) que méis prensados (4,19 a 4,33).

Para Nayik e Nanda (2016), além de indicador de contaminação, o pH ainda exerce

função essencial para a atividade antioxidante do mel. Méis com valores de pH mais baixos, em torno de 3, apresentam maior proteção contra oxidação.

Apesar da importância, não há obrigatoriedade de realização dessa análise, tampouco recomendações de índices de pH em méis, na legislação brasileira.

3.3.1.6 Cor

A cor está entre as características sensoriais mais consideradas pelo consumidor no momento da compra. A cor dos méis pode variar de quase incolor à pardo-escura, sendo os méis escuros mais rejeitados pelo consumidor, conforme observaram Molaveisi *et al.* (2019) e Kędzierska-Matysek *et al.* (2017). De acordo com Jasicka-Misiak, Makowicz e Stanek (2018), os méis se classificam em dois grupos: claros e escuros.

A cor do mel está relacionada com a presença de flavonoides e compostos fenólicos, de modo que quanto mais escuro o mel for, maior a quantidade de compostos fenólicos no mel, que são substâncias com propriedades antioxidantes (KUŚ *et al.*, 2014; SANT'ANA *et al.*, 2014; JAHAN *et al.*, 2015; KARABAGIAS *et al.*, 2016; JASICKA-MISIAK; MAKOWICZ; STANEK, 2018; KARABAGIAS; KARABAGIAS; GATZIAS, 2018; MOLAVEISI *et al.*, 2019).

Segundo Kuś *et al.*, (2014), a intensidade da cor do mel é fortemente dependente da estação em que o mel foi coletado. Além disso, observa-se uma intensidade maior em méis coletados há mais tempo.

Se submetido ao aquecimento, o mel pode sofrer escurecimento pela reação de *Maillard*, que é uma reação que ocorre em alimentos que contêm açúcares e aminoácidos livres, formando os Produtos da Reação de *Maillard* (MRPs), que são compostos antioxidantes, gerando escurecimento não enzimático (MOLAVEISI *et al.*, 2019).

3.3.1.7 Acidez

Assim como ocorre com outros parâmetros, a acidez do mel varia de acordo com alguns fatores, como: origem botânica, tempo de colheita, quantidade de minerais, presença de aminoácidos (0,05%-0,1%) e ácidos orgânicos (0,17%-1,17%), que são os constituintes secundários mais importantes do mel, tais como ácido glucônico, butírico, fórmico entre outros. Além de todos esses fatores, a acidez do mel aumentará naturalmente com o passar do tempo e com a deterioração decorrente da fermentação (APRICENO *et al.*, 2018).

De acordo com a legislação brasileira (BRASIL, 2000), a quantidade máxima de acidez permitida no mel é de 50 miliequivalentes por quilograma. Acidez superior pode indicar uma

possível fermentação do mel (KARABAGIAS *et al.*, 2018).

3.3.1.8 Atividade Diastásica

Juntamente com o HMF, a atividade diastásica ou o número da diastase é um importante parâmetro na avaliação da qualidade e frescor do mel. À medida que o HMF aumenta, a atividade da α -amilase (diastase) diminui. A atividade diastásica se refere à expressão enzimática do mel. Assim como o HMF, esta também é sensível ao aquecimento (KORKMAZ; KÜPLÜLÜ, 2017; KĘDZIERSKA-MATYSEK *et al.*, 2017; KOWALSKI; LUKASIEWICZ, 2017).

No Brasil, a recomendação é de que a atividade diastásica do mel seja de no mínimo 8 na escala de Göthe, e 3 para méis com baixa atividade enzimática, desde que o conteúdo de HMF não ultrapasse 15 mg kg (BRASIL, 2000).

3.4 EFEITOS DA LUZ, TEMPERATURA E ACONDICIONAMENTO NA CONSERVAÇÃO DO MEL

Como qualquer outro alimento, o mel necessita de condições adequadas de manuseio e acondicionamento para manter suas propriedades e conservação. Para isso, alguns procedimentos são necessários.

A fim de manter suas propriedades antioxidantes, o mel deve ser acondicionado em recipiente ou ambiente escuro, a fim de protegê-lo da luz. Segundo Bandeira *et al.* (2018), em comparação com amostras de méis protegidas da luz, amostras de méis expostas à luz não apresentaram quantidades consideráveis de flavonoides, isso porque os raios-ultravioleta degradam os antioxidantes. A incidência de luz diretamente no mel ainda pode causar escurecimento deste, diminuindo assim o seu valor comercial, já que os consumidores têm maior preferência por méis claros (SEBRAE, 2014).

Outro fator primordial na qualidade do mel é a temperatura. Kędzierska-Matysek *et al.* (2016) constataram que houve diminuição da atividade diastásica em méis submetidos ao aquecimento. Isso se deve ao fato de as proteínas (enzimas) serem substâncias extremamente sensíveis às temperaturas elevadas, podendo algumas até mesmo desnaturar e perder sua função. Além disso, constatou-se uma relação inversamente proporcional entre a atividade diastásica e a quantidade de HMF, de modo que quanto menor a atividade diastásica, maior o valor de HMF no mel. Méis submetidos a altas temperaturas, acima de 75° C, tendem a converter glicose e frutose em HMF, que em concentrações superiores a 60 mg kg, tornam o

mel impróprio à comercialização. Dessa forma, o mel deve ser acondicionado em temperaturas entre 25 °C a 30 °C (BRASIL, 2000; SEBRAE, 2014).

Conforme a legislação brasileira (BRASIL, 2000) e Cunha, Machado e Costa (2014), a comercialização de mel deve seguir alguns cuidados. Estes envolvem todas as etapas da produção, indo da coleta ao consumidor final. Entre estes, está a escolha da embalagem, que deve ser apta ao alimento e oferecer proteção contra raios de luz e contaminação. Méis em favos ou com pedaços só podem ser acondicionados em embalagens que vão diretamente para a venda ao público.

3.4.1 Embalagens para mel de abelha

Um dos itens mais importantes no acondicionamento do mel é a embalagem, pois está intimamente relacionada à manutenção de sua qualidade e, conseqüentemente, ao aumento do tempo de prateleira, que é um fator fundamental. De acordo com o Sebrae (2014), há variados tipos de embalagens de diversos tamanhos e formatos (potes, bisnagas, sachês etc.). A escolha entre elas depende do objetivo e decisão do produtor. Geralmente, no mercado encontram-se embalagens de até 1000 g. Já as embalagens para armazenagem variam entre 25 kg a 28 kg, que são as latas e baldes. No que diz respeito às embalagens para exportação, comumente são encontrados recipientes com capacidades superiores a 300 kg, que são tambores de metal revestidos de um verniz especial (SEBRAE, 2014).

Há algumas recomendações pertinentes que devem ser levadas em consideração na escolha da embalagem. Independente de qual tipo o produtor escolha, esta deve ser cheia e completamente fechada e vedada, para assim, evitar o contato do mel com o ar e umidade, para não causar a sua fermentação, além de ser opaca para proteger o mel da luz, conservando-o por mais tempo (MEIRELES; CANÇADO, 2013; SEBRAE, 2014).

Entre os materiais mais utilizados para o acondicionamento de méis para comercialização, estão o vidro e o plástico atóxico. A embalagem de vidro apresenta a melhor vedação, no entanto requer maior atenção na hora de transportar devido à sua fragilidade. As embalagens devem ainda conter a rotulagem obrigatória, seguindo as recomendações vigentes em seu país (CAMARGO; OLIVEIRA; BERTO, 2017; VENTURINI; SARCINELLI; SILVA, 2007; SEBRAE, 2014).

4 METODOLOGIA

A construção desse trabalho se deu em duas etapas, sendo a primeira a obtenção e

caracterização de filmes de alginato de sódio com adição de cera de abelha em diferentes composições; e a segunda, o armazenamento do mel de *A. mellifera* em embalagens confeccionadas com os filmes obtidos na primeira etapa, avaliando sua conservação através de análises físico-químicas do mel no início do armazenamento e após 7, 15, 30, 45 e 60 dias de armazenamento.

Todas as análises detalhadas nesse trabalho foram realizadas na Universidade Federal Rural do Semi-árido, especificamente nos seguintes laboratórios: Laboratório de Processos Químicos, Laboratório de Pós-Colheita, Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura, Laboratório de ensaios mecânicos e Laboratório de Plasma.

A fim de dar maior fluidez ao texto, os filmes utilizados nesse estudo, a partir desse tópico foram codificados da seguinte forma: ALG2 (Alginato de sódio 2%); ALG2CA5 (Alginato de sódio 2% com cera de abelha 5%); ALG2CA10 (Alginato de sódio 2% com cera de abelha 10%); ALG2CA15 (Alginato de sódio 2% com cera de abelha 15%).

4.1. COMPOSIÇÃO DE FILMES MISTOS DE ALGINATO DE SÓDIO E CERA DE ABELHA

A fim de selecionar o filme para a confecção de embalagens que melhor se adaptassem às necessidades de conservação do mel, foram feitas quatro composições de filmes de alginato de sódio e cera de abelha em diferentes combinações, baseadas no trabalho de Oliveira *et al.* (2018), com algumas modificações, como podem ser melhor visualizadas na Tabela 1. Ressalta-se que para todas as composições o plastificante escolhido para compor os filmes foi o glicerol, por ser um plastificante indicado para polímeros hidrossolúveis como o alginato, segundo Silva *et al.* (2019). Além disso, para os filmes em que houve a incorporação de cera de abelha, foi utilizado o óleo de canola saponificado como tensoativo. O uso do tensoativo foi necessário para melhorar a estabilidade da mistura, pois segundo Amaral (2014) a inclusão de lipídeos na mistura hidrofílica causa certa instabilidade, sendo necessária a utilização de um tensoativo.

Tabela 1. Planejamento experimental das composições de filmes de alginato de sódio e cera de abelha produzidos para confeccionar embalagens para mel de abelha *A. mellifera*

Filmes	Alginato de Sódio (%) *	Cera de abelha (%) **	Glicerol (%) **	Tensoativo (%)***
1	2	0	20	0
2	2	5	20	50
3	2	10	20	50
4	2	15	20	50

*Porcentagem em relação à massa total da mistura filmogênica, **Porcentagens em relação à massa seca do polímero (Alginato de sódio), ***Porcentagens em relação à massa da cera de abelha.

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Como visto na Tabela 1, foi utilizado alginato de sódio na porcentagem de 2%, em relação à massa da mistura filmogênica, em todos os filmes e, em 3 destes, foram incorporados 5%, 10% e 15% de cera em relação à quantidade do biopolímero. Já o tensoativo, foi utilizado na quantidade de 50% em relação à quantidade de cera. Quanto ao plastificante, utilizou-se na porcentagem de 20% em relação ao biopolímero. A Tabela 2 traz as quantidades em gramas de cada componente para a produção de um filme de cada uma das quatro composições.

Tabela 2. Material necessário para a produção de um filme de cada composição em gramas

Filme	Alginato de Sódio (g)	Cera (g)	Tensoativo (g)	Glicerol (g)	Água (g)
Alginato		0	0		97,6
Alginato + 5% de cera	2	0,1	0,05	0,4	97,45
Alginato + 10% de cera		0,2	0,1		97,3
Alginato + 15% de cera		0,3	0,15		97,15

Fonte: Elaboração própria, 2020.

4.2 PREPARO DE FILMES MISTOS DE ALGINATO DE SÓDIO E CERA DE ABELHA

Para a preparação dos filmes, inicialmente foi realizada a pesagem de todos os componentes necessários, a saber: alginato de sódio (Dinâmica[®], Diadema, Brasil), cera de abelha (obtida através de apicultores rurais do município de Severiano Melo - RN), tensoativo obtido da saponificação de óleo de canola (Laboratório de Processos Químicos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido), glicerol (Dinâmica[®], Diadema, Brasil) e água destilada. Para a pesagem foi utilizada uma balança marca Toledo, modelo pxi 1/3. Posteriormente foram executadas as dissoluções, como descrito abaixo.

Para a dissolução do alginato, utilizou-se béquer de vidro. Inicialmente foi adicionado o glicerol à água destilada e, em seguida, adicionou-se o alginato de sódio, que foi mantido em agitação contínua de 800 rpm, e aquecimento, utilizando-se um agitador magnético com aquecimento da marca Lucadema, modelo LUCA-0851, até a sua completa dissolução, que durou 3 horas, sob temperatura média de 70 °C, onde ao final a água perdida neste processo foi

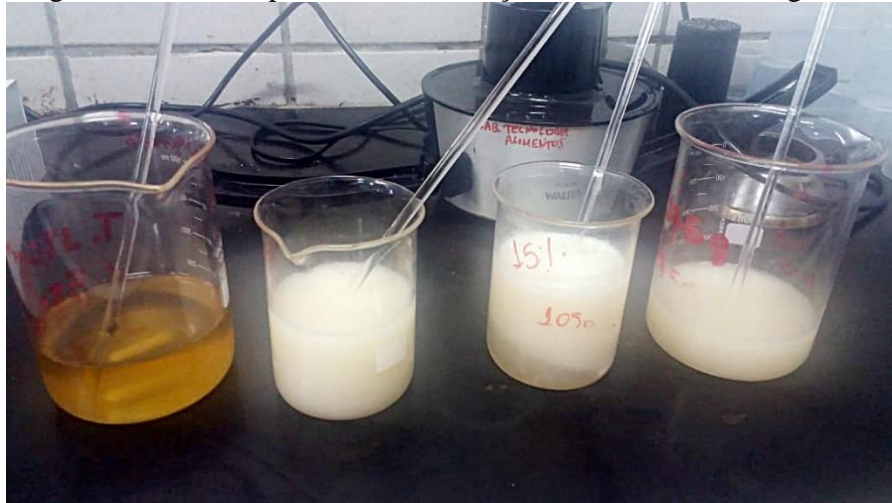
reposta (MENEGHEL; BENASSI; YAMASHITA, 2008; CORREIO *et al.*, 2018).

Para a confecção dos filmes com o acréscimo de cera de abelha, as soluções de alginato de sódio foram diluídas conforme à anterior, enquanto a cera, juntamente com o tensoativo, foram diluídos separadamente em agitação contínua de 800 rpm e aquecimento (80 – 85 °C), conforme realizado por Kim, Seo e Kim (2019). Enquanto isso, a solução de alginato foi aquecida à temperatura de 80 – 85 °C para receber a cera diluída. Somente após a completa dissolução de ambos, é que a cera foi adicionada ao alginato, ambos em temperatura em torno de 80 – 85 °C.

Para a incorporação desses materiais e obtenção de filmes mais uniformes, foram necessários 10 dias, em que a cada dia essa mistura era submetida a agitação contínua de 800 rpm e aquecimento (80 – 85 °C), sendo em seguida deixada em descanso (Quadro 1).

A cada dia desse procedimento, a solução foi pesada, e a quantidade de água evaporada, no dia anterior, repostada. Importante destacar que a água de reposição adicionada diariamente, estava em temperatura de 80 – 85 °C para que não ocorresse a solubilização da cera em contato com a água fria. A Figura 1 mostra o início do processo de obtenção da mistura, onde é possível observar que ainda não houve a completa homogeneização da mistura (3º béquer da esquerda para a direita).

Figura 1. Início do processo de obtenção das misturas filmogênicas



Legenda: Misturas filmogênicas no início do processo de obtenção. Da esquerda para a direita: ALG2; ALG2CA15; ALG2CA10; ALG2CA5

Fonte: Acervo próprio, 2020.

A Figura 2 mostra as soluções com cera após os 10 dias de agitação e descanso, onde se percebe a homogeneização e um aspecto leitoso.

Figura 2. Misturas de alginato de sódio e cera de abelha após 10 dias de descanso, aquecimento e agitação.



Legenda: Misturas filmogênicas no final do processo de obtenção. Da esquerda para a direita: ALG2CA5; ALG2CA10; ALG2CA15.

Fonte: Acervo próprio, 2020.

Após a preparação das misturas nas proporções descritas na tabela 2 e a homogeneização, estas foram colocadas em placas de acrílico 15 cm x 15 cm, sobre balança marca Toledo, modelo pxi 1/3, onde foram depositados 100 g da mistura em cada placa. Logo após, o conjunto foi levado à estufa de renovação de ar, marca Tecnal, modelo TE-394/2, a 40 °C por 24 horas para secagem, conforme recomenda Mendonça (2018). As misturas de alginato de sódio e cera de abelha foram colocadas ainda quentes nas placas de acrílico, de acordo com experimentos próprios realizados anteriormente, pois percebeu-se que quando a solução era colocada ainda quente, o filme ficava mais uniforme e transparente visualmente, já que a cera tende a solubilizar quando em temperatura ambiente e separar-se dos demais materiais da mistura.

Quadro 1. Detalhamento do preparo dos filmes

Filme	Tempo de preparo (aquecimento e agitação)	Temperatura de preparo	Necessidade de ir ainda quente para a estufa	Tempo de estufa a 40 °C para secar
Alg. 2%	3 horas	70 °C	Não	18-20h
Alg. 2% + 5% de CA	10 dias	80 – 85 °C	Sim	24h
Alg. 2% + 10% de CA	10 dias	80 – 85 °C	Sim	24h
Alg. 2% + 15% de CA	10 dias	80 – 85 °C	Sim	24h

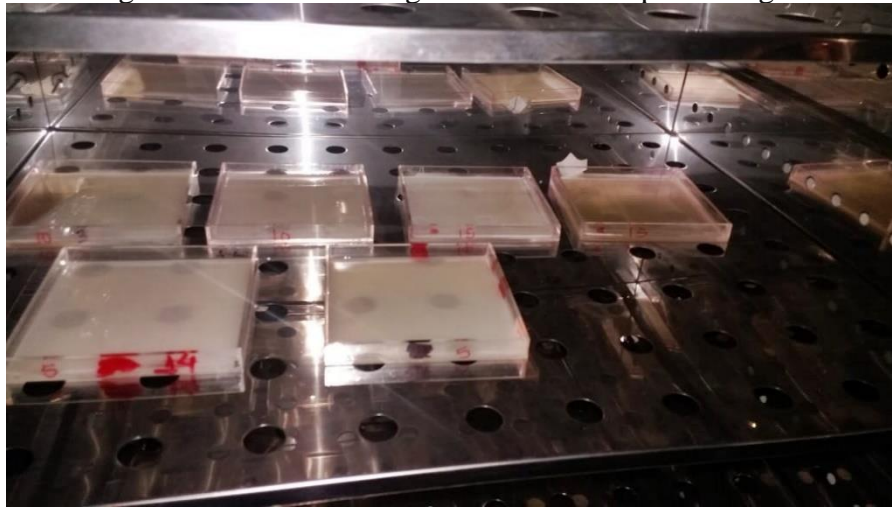
Alg.: corresponde ao alginato de sódio; CA: corresponde à cera de abelha

Fonte: Elaboração própria, 2021.

4.2.1 Obtenção dos filmes por *casting*

A técnica de obtenção de filmes por *casting* consiste na preparação da mistura filmogênica através da solubilização do polímero em um solvente adequado e um plastificante. Em seguida é feita a deposição desta mistura em um suporte, como uma placa de Petri ou outro suporte adequado, e finalmente, leva-se o suporte com a mistura para uma estufa para que o solvente evapore totalmente (Figura 3) (MORAES; RESZKA; LAURINDO, 2014; CAMPAGNER *et al.*, 2014).

Figura 3. Misturas filmogênicas em estufa para secagem

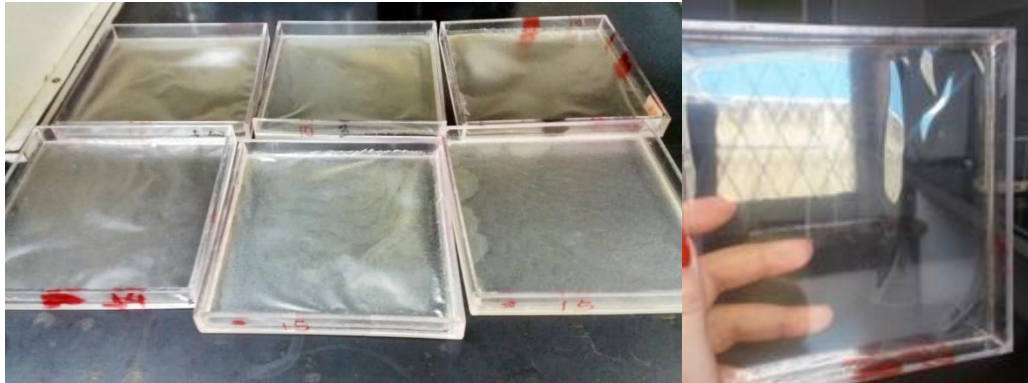


Legenda: Misturas filmogênicas ALG2CA5, ALG2CA10 e ALG2CA15 em placas de acrílico na estufa para secagem.

Fonte: Acervo próprio, 2020.

Após a evaporação do solvente, os suportes foram retirados da estufa (Figura 4), deixados em repouso até alcançarem a temperatura ambiente (29 °C) e os filmes formados desprendidos cuidadosamente com o auxílio de uma pinça metálica para não haver comprometimento de sua estrutura física. As análises foram iniciadas a seguir.

Figura 4. Filmes obtidos por *casting*



Legenda: Na primeira foto podem ser observados filmes de alginato e cera de abelha nas três composições (ALG2CA5, ALG2CA10 e ALG2CA15). Na foto da direita, observa-se um filme de alginato de sódio (ALG2).

Fonte: Acervo próprio, 2020.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

Após a etapa de produção, os filmes obtidos foram submetidos às análises de caracterização para verificação das suas propriedades de TPVA, cor, opacidade, propriedades mecânicas, ângulo de contato, solubilidade, microscopia eletrônica de varredura (MEV), isotermas de sorção de umidade e espessura. A caracterização dos filmes é fundamental para se conhecer o comportamento destes em diferentes ambientes, prevendo a sua melhor utilização. Todas as análises foram realizadas em triplicata, com exceção dos ensaios mecânicos, que foram reproduzidas em quintuplicata, a fim de melhor estimar os erros experimentais.

4.3.1 TPVA

A taxa de permeabilidade ao vapor de água (TPVA) foi determinada em triplicata pelo método gravimétrico, que é o mais utilizado para esse tipo de análise, pelo padrão da norma ASTM E96/E96M-05 (ASTM, 1993), seguindo a metodologia utilizada por Oliveira *et al.* (2018) e Reis e Noletto (2015), que consiste nas seguintes etapas após a obtenção dos filmes:

1. Cortar os filmes em círculos de 2 cm de diâmetro;
2. Posicionar os filmes já cortados sobre o orifício de células de permeação;
3. Pesar o conjunto célula/filme;
4. Colocar o conjunto célula/filme em um dessecador com umidade relativa e temperatura controladas de 50% e 25 °C, respectivamente.

Após essas etapas, os conjuntos células/filmes foram pesados, no início e

periodicamente (a cada hora) por 7 horas, obtendo-se oito pesagens. A partir disso, a TPVA foi calculada através da Equação 1:

$$TPVA = W/A.t \quad (1)$$

Sendo:

W: massa de água absorvida pelo filme (g)

A: Área de Permeação exposta (m²)

t: tempo de permeação (horas)

4.3.2 Cor e opacidade

As análises de cor e opacidade foram realizadas de acordo com as metodologias utilizadas por Oliveira *et al.* (2018), baseadas no método de Fakhouri *et al.* (2015).

Foi utilizado um colorímetro modelo CR-10 (Konica Minolta) calibrado com fundo branco padrão e preto padrão. Para o cálculo da opacidade foi utilizada a Equação 2 (FAKHOURI *et al.*, 2015).

$$Op = (Op_B / Op_W) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

Op_B : opacidade do filme contra o fundo escuro;

Op_W : opacidade do filme contra o fundo branco.

4.3.3 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas dos filmes foram obtidas com o auxílio de uma máquina de ensaios DL5000/10000, Série EMIC 2, que opera na velocidade de 5 mm/min, aplicando força total de 5 kN, seguindo o que determina a norma ASTM D882-83 (ASTM, 1996; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Para essa análise, foram produzidos cinco corpos de prova de cada tipo de filme nas seguintes dimensões, conforme norma (ASTM, 1996): 25 mm (largura) x 100 mm (comprimento), sendo o comprimento útil 50 mm, pois 25 mm de cada lado do corpo de prova são utilizados para fixá-lo nas garras do equipamento (garra fixa e garra móvel).

Nesta análise foram calculados resistência à tração (Mpa), Alongamento na ruptura

(E%) e Módulo de Young (Mpa) a partir das curvas tensão-deformação.

4.3.4 Ângulo de contato

O ângulo de contato dos filmes foi obtido através da técnica da gota séssil, que consiste nos seguintes procedimentos, utilizando um aparato composto por uma câmera (VP 540 s, Intelbras), uma base móvel com porta amostra e uma seringa: foram dispostas 3 gotas de água destilada (2 μ L) sobre a superfície dos filmes, e em seguida foi calculado o ângulo da gota a partir da transformação de imagens. Para auxiliar no cálculo do ângulo formado entre a gota e a superfície do filme, foi utilizado o *software* SurfTens 4.5 (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

4.3.5 Solubilidade

A determinação da solubilidade foi realizada com base na metodologia utilizada por Almeida *et al.* (2013). Inicialmente os filmes foram cortados em pedaços de 3 cm x 3 cm, e pesados em balança eletrônica de precisão da marca Acculab, modelo alc-210.4. Em seguida, foram colocados em estufa a 105 °C por 24 horas, e após este período, em dessecador contendo sílica gel por mais 24 horas. Logo depois foi realizada a pesagem dos filmes. Após a pesagem, os filmes foram mergulhados em erlenmeyers com 50 mL de água destilada e levados à agitação a 50 rpm por 24 horas em temperatura ambiente. Após esse período, a suspensão que resultou foi filtrada em papel filtro qualitativo, marca Prolab, (que antes disso passou pelo mesmo procedimento de estufa e dessecador, por 24 h, e pesagem). Após filtrar o conteúdo do erlenmeyer, o papel de filtro contendo o resíduo do filme não dissolvido foi levado para secar na estufa a 105 °C por 24 h, em seguida conduzido ao dessecador por 24 h. Depois, foram pesados novamente, e determinada a quantidade de matéria não solubilizada. A partir deste resultado, foi calculada a porcentagem do material resultante em relação ao material inicial, determinando a solubilidade em água de cada filme.

4.3.6 Microscopia eletrônica de varredura – MEV

As micrografias foram obtidas segundo metodologia utilizada por Oliveira *et al.* (2018), que se deu da seguinte forma: as amostras de filmes foram fixadas em suportes de alumínio com fita adesiva de carbono e, em seguida, foram recobertas com uma camada de 5 nm de ouro em metalizador à vácuo por 6 minutos a 20 mA, a fim de conferir condutividade às amostras de filmes.

Após esse procedimento, as amostras foram avaliadas com Microscópio Eletrônico de Varredura modelo VEGA 3, quanto à sua morfologia, onde foi observada a estrutura de cada

filme, se apresentavam homogeneidade ou se apresentavam poros, falhas ou rachaduras.

4.3.7 Isotermas de sorção de umidade

As isotermas de sorção de água foram obtidas de acordo com o método estático de microclimas adaptado por Kim e Ustunol (2001) e utilizado por Aguirre-Loredo, Rodriguez-Hernandez e Velazquez (2017), que consistiu em pesar as amostras e submetê-las, sob temperatura controlada (25 °C), a diferentes valores de umidade relativa (UR), que no presente estudo variou de 10% a 97%, em sistemas fechados simulando microclimas (Figura 5). Essas UR's foram obtidas através de soluções supersaturadas colocadas em recipientes hermeticamente fechados.

Figura 5. Sistemas simulando microclimas para obtenção de isotermas de sorção de água



Fonte: Acervo próprio, 2021.

O Quadro 2 traz o detalhamento do material utilizado para cada UR.

Quadro 2. Soluções utilizadas para criar sistemas com diferentes UR.

UR (%)	Solução supersaturada utilizada	Autores
10	Sílica (SiO ₂)	Rocca-Smith <i>et al.</i> (2016) Aguirre-Loredo, Rodriguez-Hernandez e Velazquez (2017)
23	Acetato de potássio (CH ₃ COOK)	
27	Cloreto de cálcio (CaCl ₂)	
33	Cloreto de Magnésio (MgCl ₂)	
44	Carbonato de Potássio (K ₂ CO ₃)	
55	Nitrato de Magnésio (Mg(NO ₃) ₂)	
69	Iodeto de potássio (KI)	
75	Cloreto de sódio (NaCl)	
85	Cloreto de potássio (KCl)	
88	Cromato de potássio (K ₂ CrO ₄)	
93	Sulfato de potássio (K ₂ SO ₄)	

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Essas soluções foram dispostas em recipientes hermeticamente fechados, com

homogeneização de ar. Dentro do sistema foram colocadas placas de Petri com pedaços de cada filme (3 cm x 3 cm), dispostos em suportes (grades).

A pesagem foi realizada a cada 24 horas até o peso estabilizar, ou seja, não variar mais, o que ocorreu ao 7º dia. Em seguida, os filmes foram submetidos à secagem em estufa de circulação de ar a 105 °C por 24 horas. Decorrido esse tempo, conduziu-se as amostras ao dessecador por igual tempo. Posteriormente, as amostras foram pesadas a fim de obter o valor de umidade de equilíbrio pela Equação 3.

$$X_{eq} = (m_{eq} - m_s) / m_s \quad (3)$$

Onde:

X_{eq} : umidade de equilíbrio (g de água/g de material)

m_{eq} : massa da amostra no equilíbrio (g)

m_s : massa da amostra seca (g)

Após a obtenção dos valores da umidade de equilíbrio, as isotermas de sorção foram ajustadas ao modelo matemático de Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB), conforme Equação 4, que é um modelo de três parâmetros, que permite um melhor ajuste até a atividade de água (a_w) de 0,9 (ROCCA-SMITH *et al.*, 2016; GOUVEIA *et al.*, 2004).

$$X_{eq} = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (4)$$

Onde:

X_{eq} : é o teor de umidade;

X_m é o valor da monocamada;

K e C são constantes.

4.3.8 Espessura

A espessura dos filmes foi realizada com um micrômetro da marca Mitutoyo (Modelo MDC-25M, MFG/Japão) em cinco pontos diferentes em cada amostra de filme.

4.4 SELAGEM TÉRMICA, CONFECCÃO E AVALIAÇÃO DAS EMBALAGENS DE MEL

4.4.1 Selagem e confecção

Após a obtenção dos filmes nas diferentes concentrações, foram confeccionadas as embalagens (sachês) para mel de abelha *A. melífera*, em formato quadrado, com dimensões médias de 7 cm x 7 cm após prontas. Dessa forma, com o auxílio de uma seladora térmica, foi realizada a selagem das bordas da embalagem, a fim de acondicionar o mel de forma eficiente e similar às embalagens tradicionais do tipo sachê.

Após a selagem, foram separadas 60 embalagens para acondicionar o mel para o experimento, que envolveu análises no início do experimento e após cinco tempos de armazenamento, ao longo de dois meses, de dezembro/2020 a fevereiro/2021, sendo utilizadas 3 embalagens de cada composição para cada tempo de armazenamento, nas quais acondicionou-se 15 g de mel em cada embalagem, totalizando 12 embalagens a serem analisadas após cada tempo de armazenamento, como será detalhado a seguir (Figura 6).

Figura 6. Méis no início do experimento em embalagens biodegradáveis e béqueres.



Legenda: Méis em embalagens biodegradáveis das quatro composições (ALG2, ALG2CA5, ALG2CA10 e ALG2CA15) à esquerda e méis em béqueres (controle) à direita no início do experimento.

Fonte: Acervo próprio, 2020.

4.4.2 Avaliação de defeitos

Esta análise se deu através de observação visual das embalagens. A cada etapa do experimento foi realizada investigação quanto a presença de vazamentos ou degradações visíveis nas embalagens e, em seguida, foi calculado o percentual de embalagens com defeitos de cada tipo e a cada etapa.

4.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO MEL

Foram realizadas análises físico-químicas de umidade, açúcares totais (AT), açúcares redutores (AR), sacarose aparente, 5-Hidroximetilfurfural (HMF), condutividade elétrica, pH,

cor, acidez, atividade diastásica e perda de massa no mel de abelha *A. mellifera* antes e durante o experimento, a cada etapa, após ser acondicionado nas embalagens biodegradáveis de alginato de sódio e cera de abelha. As análises foram realizadas ao longo de 60 dias, em 6 tempos de avaliação, sendo estes: 0, 7, 15, 30, 45 e 60 dias. Escolheu-se esse período, pois considerou-se suficiente para avaliar alterações na qualidade do mel embalado durante o armazenamento. Para fins de comparação, utilizou-se como controle o mel acondicionado em béquer, sendo 3 béqueres para cada etapa, com 15 g de mel em cada um. Todas as análises foram realizadas em triplicata, tanto as amostras das embalagens produzidas no presente experimento, quanto as de controle.

4.5.1 Obtenção do mel

O mel utilizado em todo o experimento foi adquirido de um apicultor do distrito de Córrego, da cidade Apodi-RN, Latitude: 5° 38' 58" Sul, Longitude: 37° 47' 45" Oeste, no mês de setembro/2020, proveniente de florada de velame (*Croton heliotropiifolius*).

4.5.2 Umidade

A determinação da umidade foi realizada com o auxílio de um refratômetro manual específico para mel da marca Sammar, modelo RT- 90ATC, à temperatura ambiente. A análise se deu depositando uma pequena quantidade de mel no prisma e observando a escala óptica, onde se obteve o teor de umidade da amostra de acordo com o método de Marchini, Sodré e Moreti (2004). Os resultados foram expressos em percentual (%) de umidade na amostra de mel.

4.5.3 Açúcares totais (AT) e Açúcares redutores (AR)

Os AT e AR foram determinados de acordo com a recomendação de Brasil (2000) e do *Codex alimentarius* (2001), através de titulometria com reagentes de Fehling (solução de Fehling A: solução de sulfato de cobre; solução de Fehling B: solução de tartarato duplo de sódio e potássio). Este método consiste na redução completa dos íons cúpricos do reagente (solução de ácido tartárico com cobre alcalino) a óxido cuproso. Os resultados foram expressos em percentual (%) de AT e AR.

4.5.4 Sacarose aparente

A sacarose aparente foi calculada determinando a diferença entre os AT e os AR multiplicado por 0,95, conforme indicado por Marchini, Sodr e e Moreti (2004) e Fechner *et al.* (2016). Os resultados foram expressos em percentual (%) de sacarose.

4.5.5 5-Hidroximetilfurfural (HMF)

Para essa análise, seguiu-se as recomenda es de Marchini, Sodr e e Moreti (2004). Inicialmente foram preparadas as solu es de Carrez 1 (15 g de ferrocianeto de potássio dissolvido em água e completado até 100 mL) e Carrez 2 (30 g de acetato de zinco dissolvido em água e completado até 100 mL), além de uma soluço de bissulfito de sódio 0,2%.

Foram pesados 5 g de mel da amostra em um béquer de 100 mL que foram dissolvidos em 50 mL de água destilada e, em seguida, a soluço foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL. Após a dissolu o, foi adicionado 1,0 mL da soluço de Carrez 1   amostra e agitou-se manualmente até a completa homogeneiza o. Após esse processo, foi adicionada a soluço de Carrez 2   mistura de mel, e realizado o mesmo procedimento de homogeneiza o.

Posteriormente, as amostras foram filtradas em papel filtro, sendo descartados os primeiros 10 mL. Foram pipetados 5 mL do filtrado em dois tubos de ensaio, adicionando-se no primeiro 5 mL de água, e no segundo, 5 mL de soluço de bissulfito de sódio 0,2% como referência.

As cubetas utilizadas para a leitura do HMF foram de quartzo, que são as recomendadas para esse tipo de análise. Para zerar a absorvância do espectrofotômetro (Gehaka modelo UV-340G) nesta análise, utilizou-se uma cubeta com glicerol, e realizou-se a leitura nos comprimentos de onda 284 nm e 336 nm.

Ao obter os resultados, estes foram submetidos   Equa o 5, conforme Silva *et al.* (2018).

$$HMF \left(\frac{mg}{kg} \right) = \frac{(A_{284} - A_{336}) \times 149,7 \times 5}{p} \quad (5)$$

Onde:

149,7   o fator

p = massa da amostra (g)

A₂₈₄ = leitura da absorvância a 284 nm

A₃₃₆ = leitura da absorvância a 336 nm

5 = massa nominal da amostra

4.5.6 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica foi obtida através de condutivímetro da marca Tecnopone modelo mCA 150. Foi determinada em uma solução contendo 20% de matéria seca de mel dissolvido em água destilada a 25 °C, conforme indicado por Marchini, Sodr e e Moreti (2004). Dessa forma, para essa análise foram utilizados: 2,5 g de mel e 12,5 g de água destilada para cada amostra.

4.5.7 pH

O pH foi aferido da seguinte forma: foi dissolvido 5 g de mel de cada amostra em 40 mL de água destilada. Após a completa dissolu o, foi realizada a leitura através de um pHmetro de bancada Tecnal modelo Tec-3MP, previamente calibrado com soluço tampão (pH = 4,0 e 7,0) (MARCHINI; SODR E; MORETI, 2004).

4.5.8 Cor

A análise de cor foi realizada utilizando-se um espectrofotômetro Gehaka, modelo UV-340G. Inicialmente foi inserida uma cubeta com glicerina para zerar a absorbância do espectrofotômetro. Em seguida, as cubetas com as amostras de mel foram introduzidas no equipamento e foi realizada a leitura no comprimento de onda 560 nm (MARCHINI; SODR E; MORETI, 2004). O resultado foi definido de acordo com a escala de Pfund (Tabela 3).

Tabela 3. Escala de Pfund

Cor	Escala de Pfund (mm)	Faixa de cor (Leitura no espectrofotômetro)
Branco d'água	1 a 8	0,030 ou menor
Extra branco	8 a 17	0,030 a 0,060
Branco	17 a 34	0,060 a 0,120
Extra �mbar claro	34 a 50	0,120 a 0,188
�mbar claro	50 a 85	0,188 a 0,440
�mbar	85 a 114	0,440 a 0,945
�mbar escuro	> 114	> 0,945

Fonte: Marchini, Sodr e e Moreti (2004)

4.5.9 Acidez

A acidez foi determinada por titula o simples logo após a leitura do pH, onde ainda sendo agitada, a amostra foi titulada com hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol/L até atingir o pH 8,15 (MARCHINI; SODR E; MORETI, 2004). O volume gasto de NaOH foi utilizado para o cálculo da acidez, Equa o 6:

$$\text{Acidez em mEq kg}^{-1} = \text{mL de hidróxido de sódio gasto} \times \text{peso da amostra} \quad (6)$$

4.5.10 Atividade Diastásica

Para analisar a atividade diastásica foi utilizado o método recomendado no *Codex alimentarius* (2001) e em Brasil (2000), e conforme descrita por Anacleto *et al.* (2009), onde se utilizou uma solução tamponada (solução tampão de acetato de sódio) de amido-mel, que foi mantida em banho-maria (40 °C) até que se obtivesse absorvância inferior a 0,235 nm, verificada em espectrofotômetro (Gehaka modelo UV-340G). A unidade de atividade diastásica (unidade Göthe) diz respeito à quantidade de enzima que irá hidrolisar 0,01 g de amido, em 1 hora e a 40 °C.

4.5.11 Perda de massa do conjunto embalagem/mel

Esta análise foi realizada pela diferença entre a massa inicial e a massa final das embalagens em cada etapa do experimento. Sendo assim, todas as amostras foram pesadas na etapa inicial do experimento (tempo 0), e em cada etapa (7, 15, 30, 45 e 60 dias) as embalagens correspondentes àquela etapa foram pesadas e, em seguida, foram realizadas as demais análises. Os resultados foram expressos em percentual de perda de massa.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise estatística foi utilizado o Software Statistica 13.3 (Tibco Software Inc., USA) para a tabulação dos dados e na execução dos procedimentos de ANOVA e comparação das médias pelo teste de Tukey com nível de significância de 5% ($P < 0,05$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

5.1.1 Espessura, taxa de permeabilidade ao vapor de água (TPVA) e permeabilidade ao vapor de água (PVA)

Os valores médios das espessuras dos filmes produzidos (ALG2, ALG2CA5, ALG2CA10 e ALG2CA15) não diferiram ao nível de 5% de significância (Tabela 4), indicando que a adição de cera de abelha não afetou a espessura dos filmes de alginato. Tal informação é um achado importante já que muitas propriedades (PVA, TPVA, opacidade, tensão na ruptura, módulo de elasticidade) levam em consideração a espessura, e a uniformidade desta torna as comparações entre os filmes mais confiáveis.

Foi observada diferença significativa, para a TPVA e PVA, entre todos os filmes, sendo o filme ALG2 o que apresentou as maiores médias, 46,46 g/h m² e 54,95 g mm/h kPa m², enquanto o filme ALG2CA10 apresentou as menores médias, 22,1 g/h m² e 25,54 g mm/h kPa m², respectivamente, para os dois parâmetros (Tabela 4).

De forma geral, a inserção de cera nos filmes de alginato proporcionou uma diminuição da PVA e TPVA em comparação aos filmes sem cera, o que provavelmente se deve à característica hidrofóbica da cera de abelha (SZULC *et al.*, 2020). No entanto, os filmes contendo um conteúdo de cera de 15% apresentaram maiores valores de PVA e TPVA que os que continham apenas 10% de cera, possivelmente devido à desestabilização da matriz polimérica pelo excesso de material hidrofóbico e de tensoativo, o que pode causar imperfeições e falhas na estrutura do material, facilitando a passagem do vapor de água (MORILLON *et al.*, 2002).

Tabela 4. PVA e TPVA dos filmes de alginato e cera de abelha

		ALG2	ALG2CA5	ALG2CA10	ALG2CA15
Espessura (μm)	$\bar{X} \pm \text{DP}$	115 \pm 3	114 \pm 3	119 \pm 2	115 \pm 1
	Comparação	a	A	a	a
TPVA (g/h m ²)	$\bar{X} \pm \text{DP}$	54,95 \pm 0,30	51,75 \pm 0,29	25,54 \pm 0,22	46,66 \pm 0,91
	Comparação	d	C	a	b
PVA (g mm/h kPa m ²)	$\bar{X} \pm \text{DP}$	47,61 \pm 1,52	44,26 \pm 1,05	22,81 \pm 0,24	40,33 \pm 0,85
	Comparação	d	C	a	b

Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. \bar{X} = Média; DP = desvio padrão; TPVA; PVA; ALG2 (alginato de sódio 2%); ALG2CA5 (alginato de sódio 2% com cera de abelha 5%); ALG2CA10 (alginato de sódio 2% com cera de abelha 10%); ALG2CA15 (alginato de sódio 2% com cera de abelha 15%).

Fonte: Elaboração própria, 2021.

5.1.2 Cor e opacidade

Os resultados para essa análise podem ser observados na Tabela 5. No parâmetro a*, que diz respeito ao eixo verde-vermelho, não houve diferença significativa entre os filmes, com média de 3,8, caracterizando os filmes como possuindo leves tons de vermelho.

Enquanto no parâmetro b*, correspondente ao eixo azul-amarelo, o único filme que se diferenciou dos demais foi o ALG2, que apresentou menores médias. Já o filme ALG2CA10 não diferiu significativamente dos filmes ALG2CA5 e ALG2CA15, embora estes últimos tenham diferido entre si. Observou-se que quanto maior o percentual de cera de abelha, maior é o valor do parâmetro b*, o que mostra que os filmes com cera de abelha apresentam uma coloração mais amarelada em comparação aos filmes contendo apenas alginato. Prus-

Walendziak e Kozłowska (2021) e Kim, Seo e Kim (2019) também relataram maior amarelamento nos filmes de alginato e gelatina em que houve a adição de lipídeos.

Em relação ao parâmetro L, os filmes ALG2CA10 e ALG2CA15 não diferiram significativamente e apresentaram as menores médias. Os demais filmes diferiram estatisticamente entre si, sendo o ALG2, o que apresentou o maior valor nesse parâmetro, o que significa que ele apresentou maior luminosidade em relação aos demais. Logo, a adição de cera de abelha aos filmes de alginato confere a estes tons mais escuros.

Em relação ao parâmetro ΔE (variação total de cor), os filmes ALG2 e ALG2CA5 não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram os menores valores. Os filmes ALG2CA10 e ALG2CA15 apresentaram os maiores valores e não diferiram estatisticamente entre si, embora tenham diferido dos dois filmes anteriores. Sendo assim, uma concentração de 5% de cera de abelha não produziu uma variação de cor, em relação ao filme padrão de alginato de sódio, capaz de ser observada nesse experimento. Enquanto os demais filmes, contendo 10% e 15% de cera de abelha, mostram uma variação de cor significativa em comparação aos filmes do controle (filmes de alginato).

Com relação à opacidade, esse parâmetro se comportou de forma semelhante ao anterior, sendo que os filmes ALG2 e ALG2CA5 não diferiram estatisticamente entre si, e apresentaram os menores valores de opacidade, ou seja, maior transparência. Os filmes ALG2CA10 e ALG2CA15, apresentaram os maiores valores, e não diferiram estatisticamente entre si, embora tenham diferido dos demais filmes. Isso mostra que a incorporação de cera de abelha ao filme de alginato de sódio em até 5% não influenciou significativamente na transparência do filme, no entanto, em porcentagens maiores, a partir de 10% de cera de abelha, aumentou significativamente a opacidade dos filmes. Resultado similar a este também foi encontrado por Prus-Walendziak e Kozłowska (2021) e Aydogdu *et al.* (2020) em estudos com adição de lipídeos à matriz polimérica de filmes mistos de alginato e gelatina, e Kim, Seo e Kim (2019) ao incorporar cera de abelha em filmes à base de proteína de soja. Esses autores verificaram que filmes com adição de lipídios apresentaram maior opacidade em comparação àqueles sem lipídios.

Apesar da grande preferência dos consumidores e indústrias por embalagens alimentícias com alta transparência, para o uso com alguns alimentos como o mel, por exemplo, o ideal é que a embalagem seja opaca, para que o mínimo de luz ultrapasse e entre em contato direto com o mel, a fim de manter suas propriedades físico-químicas e conservação por mais tempo (MEIRELES; CANÇADO, 2013). Dessa forma, as embalagens biodegradáveis com cera de abelha apresentam grande potencial neste quesito, colaborando para a manutenção das

características do mel por mais tempo, se comparadas com embalagens transparentes.

Tabela 5. Parâmetros de cor e opacidade dos filmes de alginato e cera de abelha

		ALG2	ALG2CA5	ALG2CA10	ALG2CA15
a*	$\bar{X} \pm DP$	3,43 ± 0,35	4,07 ± 0,15	3,90 ± 0,30	3,63 ± 0,06
	Comparação	a	A	a	a
b*	$\bar{X} \pm DP$	12,00 ± 0,30	14,50 ± 0,95	16,67 ± 0,30	17,27 ± 1,00
	Comparação	A	B	bc	c
L	$\bar{X} \pm DP$	82,70 ± 0,61	80,67 ± 0,58	76,60 ± 0,95	77,50 ± 0,56
	Comparação	c	B	a	a
ΔE	$\bar{X} \pm DP$	3,86 ± 0,50	6,61 ± 1,09	10,67 ± 1,32	10,63 ± 1,12
	Comparação	a	A	b	b
Opacidade (%)	$\bar{X} \pm DP$	42,32 ± 0,38	43,23 ± 0,52	45,96 ± 0,58	45,16 ± 0,39
	Comparação	a	A	b	b

Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. \bar{X} = Média; DP = desvio padrão. ALG2 (alginato de sódio 2%); ALG2CA5 (alginato de sódio 2% com cera de abelha 5%); ALG2CA10 (alginato de sódio 2% com cera de abelha 10%); ALG2CA15 (alginato de sódio 2% com cera de abelha 15%).

Fonte: Elaboração própria, 2021.

5.1.3 Propriedades mecânicas

Com base nos dados mostrados na Tabela 6, percebe-se que o aumento da concentração de cera de abelha provocou uma diminuição da tensão à ruptura dos filmes. Os tratamentos ALG2 e ALG2CA5 foram os que apresentaram maior resistência à tração não havendo diferença significativa entre os valores observados. Também não houve diferença significativa entre os filmes ALG2CA5 e ALG2CA10, nem entre os filmes ALG2CA10 e ALG2CA15, sendo estes últimos os que apresentaram menor resistência à tração. Este resultado provavelmente pode ser explicado devido à presença de pontos de acúmulo de tensão nas interfaces entre o material hidrofóbico disperso (cera de abelha) e a matriz hidrofílica do alginato (KIM; SEO; KIM, 2019; HALAL *et al.*, 2016).

Quanto ao alongamento na ruptura, o filme ALG2CA15 não diferiu estatisticamente de nenhum dos demais filmes. Já o filme ALG2CA5, que não diferiu estatisticamente do filme ALG2CA15, diferiu dos demais, apresentando, juntamente com este o menor percentual de alongamento à ruptura. Os resultados parecem indicar que a adição da cera de abelha e tensoativo aos filmes de alginato causa dois efeitos distintos e antagônicos. Por um lado, a adição de cera de abelha e tensoativo aumenta o espaço livre entre as cadeias poliméricas do alginato e possibilita uma maior flexibilidade ao material. No entanto, também pode fragilizar o material devido à formação de pontos de acúmulo de tensão decorrentes de heterogeneidades

e falhas geradas na matriz polimérica. A concentração de 10% de cera de abelha adicionada ao alginato (filmes ALG2CA10) mostrou-se adequada para manter a flexibilidade da matriz polimérica sem, no entanto, causar a fragilização do material.

Com relação ao módulo de Young (módulo de elasticidade), o filme que apresentou a maior média foi o ALG2. A adição de cera de abelha aos filmes de alginato provoca uma diminuição no módulo de elasticidade para as concentrações de 5% e 10%. A adição de 15% de cera de abelha não demonstrou redução significativa do módulo de elasticidade dos filmes, nas condições deste experimento, em comparação com o filme contendo apenas 10% de cera. Provavelmente, estes resultados são decorrentes do fato que as moléculas do tensoativo aumentam o espaço livre entre as cadeias poliméricas lineares do alginato e conferem maior elasticidade ao material. Porém, altas concentrações de cera e tensoativo podem fragilizar o material pela formação de heterogeneidades e afastamento excessivo das cadeias poliméricas. Resultados semelhantes foram encontrados por Prus-Walendziak e Kozłowska (2021), em estudo recente, ao analisarem a incorporação de lipídeos (óleo de algodão e cera de abelha) a filmes de alginato de sódio, gelatina e glicerol. As autoras relataram diminuição no módulo de Young com a adição de lipídeos ao filme.

Estudos semelhantes corroboram estes resultados, como o desenvolvido por Melo *et al.* (2019), que caracterizaram filmes de amido com incorporação de gordura do caroço de manga. Outros autores também observaram uma redução no módulo de elasticidade dos biopolímeros com a adição de lipídios ao material (KOWALCZYK *et al.*, 2016; ROCCA-SMITH *et al.*, 2016).

Tabela 6. Propriedades mecânicas dos filmes mistos de alginato e cera de abelha

		ALG2	ALG2CA5	ALG2CA10	ALG2CA15
TS (MPa)	$\bar{X} \pm DP$	31,0 ± 2,8	22,5 ± 2,6	18,0 ± 7,7	11,2 ± 3,9
	Comparação	c	bc	ab	a
EL (%)	$\bar{X} \pm DP$	22,7 ± 3,9	14,1 ± 4,1	22,9 ± 4,0	16,8 ± 5,1
	Comparação	b	a	b	ab
Y (MPa)	$\bar{X} \pm DP$	102,8 ± 4,7	86,9 ± 8,6	67,3 ± 3,8	76,0 ± 3,8
	Comparação	c	b	a	a

Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. \bar{X} = Média; DP = desvio padrão; TS = tensão à ruptura; EL = alongação à ruptura; Y = módulo de elasticidade. ALG2 (alginato de sódio 2%); ALG2CA5 (alginato de sódio 2% com cera de abelha 5%); ALG2CA10 (alginato de sódio 2% com cera de abelha 10%); ALG2CA15 (alginato de sódio 2% com cera de abelha 15%).

Fonte: Elaboração própria, 2021.

5.1.4 Ângulo de contato

Quanto ao ângulo de contato, os filmes ALG2, ALG2CA10 e ALG2CA15 não diferiram estatisticamente entre si, e apresentaram as maiores médias, sendo a média para o filme ALG2CA10 um pouco maior, como pode ser visto na Tabela 7.

Já o filme ALG2CA5 apresentou a menor média para o ângulo de contato, embora estatisticamente não tenha diferido do filme ALG2. Como o filme controle não diferiu estatisticamente de nenhum dos filmes contendo cera de abelha, dessa forma, a adição de cera de abelha, nas proporções utilizadas e nas condições do experimento, não afetou o ângulo de contato de filmes de alginato de sódio. Note-se que o aumento do ângulo de contato indica uma maior hidrofobicidade da superfície dos filmes. Os resultados indicam que a cera adicionada ao material não afeta substancialmente as forças adesivas polares na superfície do filme. Isso pode acontecer devido ao alto conteúdo de grupos hidrofílicos presentes no material. Todos os filmes demonstraram superfícies hidrofílicas, pois apresentaram ângulo de contato inferior a 90°.

Tabela 7. Ângulo de contato e solubilidade dos filmes de alginato e cera de abelha

		ALG2	ALG2CA5	ALG2CA10	ALG2CA15
Ângulo de contato (graus)	$\bar{X} \pm DP$	80,3 ± 1,2	71,2 ± 4,8	85,2 ± 4,4	81,3 ± 2,4
	Comparação	ab	a	b	b
Solubilidade (%)	$\bar{X} \pm DP$	92,6 ± 1,8	66,4 ± 2,6	59,2 ± 2,0	77,3 ± 1,9
	Comparação	d	b	a	c

Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. \bar{X} = Média; DP = desvio padrão. ALG2 (alginato de sódio 2%); ALG2CA5 (alginato de sódio 2% com cera de abelha 5%); ALG2CA10 (alginato de sódio 2% com cera de abelha 10%); ALG2CA15 (alginato de sódio 2% com cera de abelha 15%).

Fonte: Elaboração própria, 2021.

5.1.5 Solubilidade

Na análise de solubilidade, verificou-se que todos os filmes diferiram significativamente entre si. O filme que apresentou o maior percentual de solubilidade foi o ALG2, com 92,61% de solubilidade em água, o que já era esperado, dada a característica hidrofílica do alginato de sódio. Essa característica pode ser interessante a depender do objetivo da embalagem ou utilização, já que algumas embalagens podem requerer uma rápida degradação, ou ainda não necessitarem de um percentual baixo de solubilidades em água, como é o caso de alimentos secos e/ou desidratados que apresentam uma menor atividade de água (JANJARASSKUL *et al.*, 2020)

O filme ALG2CA15 foi o que apresentou a segunda maior porcentagem de solubilidade em água (77,33%), embora esse resultado não fosse esperado, já que é o filme com maior

porcentagem de cera, que é um material hidrofóbico. No entanto, esse resultado pode ter ocorrido porque em um percentual mais elevado de cera e tensoativo ocorrem heterogeneidades e falhas que favorecem a desintegração do filme. Além disso, segundo Halal *et al.* (2016) e Atarés *et al.* (2010) não se pode supor que a simples inserção de um percentual de componente lipídico na formulação torne-a mais hidrofóbica, pois o que vai determinar essa característica é a interação entre estes componentes.

O filme que apresentou menor solubilidade em água foi o ALG2CA10, que apresentou solubilidade média de 59,17%, uma redução de mais de 30% em relação ao ALG2. Já o filme ALG2CA5, apresentou o segundo menor percentual de solubilidade (66,36%).

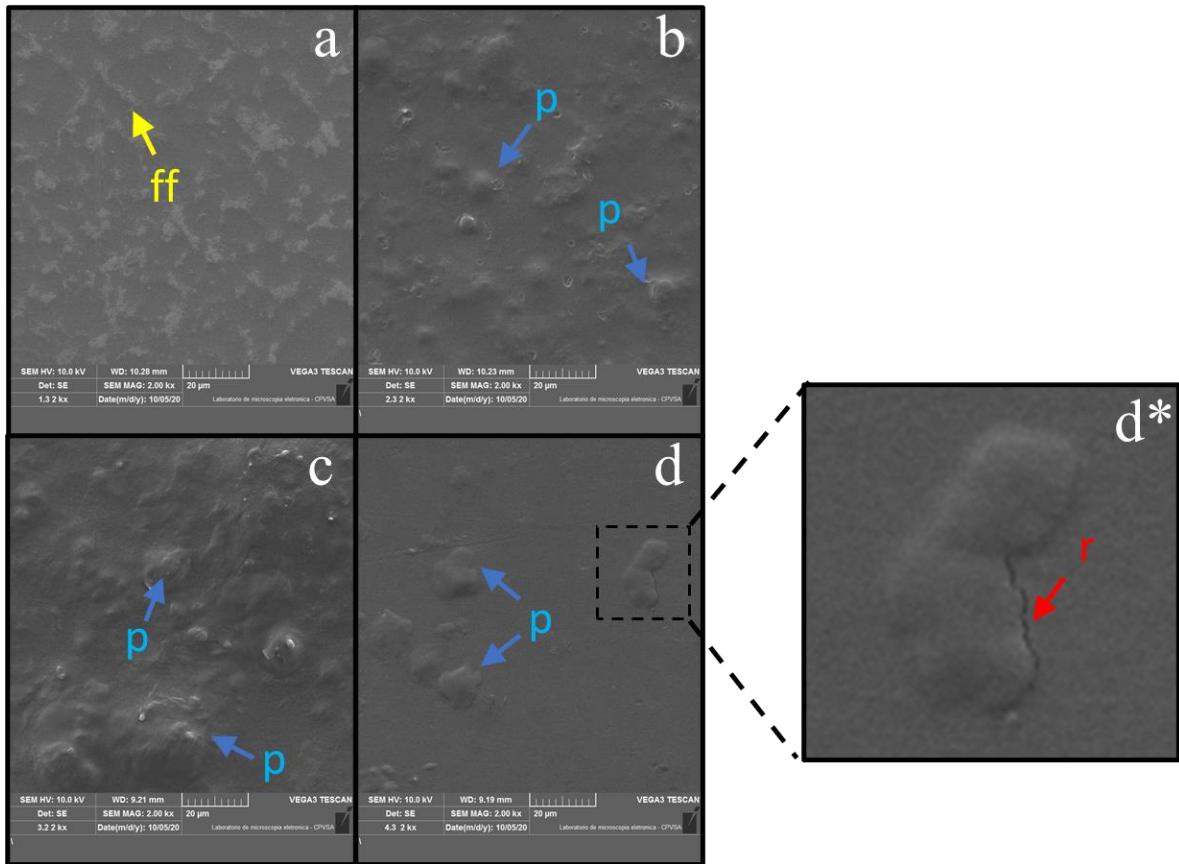
Em termos gerais, a inserção de cera de abelha na formulação dos filmes de alginato de sódio contribuiu na redução do percentual de solubilidade dos filmes de 15% a 33%, sendo o melhor percentual o do filme com 10% de cera.

Filmes de alginato têm alta solubilidade em água. Como observado na Tabela 7, neste estudo os filmes ALG2 apresentaram solubilidade média de 92,61%. Este resultado foi inferior ao encontrado por Fontes *et al.* (2011), no entanto, semelhante no que diz respeito à alta porcentagem de solubilidade, pois em seu estudo, os autores obtiveram 100% de solubilidade para todos os filmes de alginato de sódio e glicerol.

5.1.6 Microestruturas de superfície

A Figura 7 apresenta as micrografias das superfícies dos filmes de alginato de sódio puro (Figura 7a) e incorporado com 5, 10 e 15% de cera de abelha (Figuras 7b, 7c e 7d, respectivamente), obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Figura 7. Micrografias das superfícies dos filmes: ALG2 (a), ALG2CA5 (b), ALG2CA10 (c) e ALG2CA15 (d). Magnitude = 2000x, tensão de aceleração = 10 kV, distância das lentes = 9,19 a 10,23 mm, tipo de sinal = elétrons secundários.



Legenda: ff – formação fibrilar; p – protuberância; r – ruptura.
Fonte: Elaboração própria, 2021.

A superfície dos filmes de alginato de sódio (Figura 7a) apresenta formações de aspecto fibrilar que se inter cruzam formando um padrão característico e similar ao que foi observado por Ribeiro, Estevinho e Rocha (2020) e Norajit, Kim e Ryu (2010) para filmes do mesmo material. Liu *et al.* (2016) demonstram e explicam a formação de estruturas fibrilares supramoleculares em superfícies de filmes de alginato de cálcio. Ademais, a superfície dos filmes de alginato de sódio (ALG2) obtidas mostram-se bastante homogêneas, não apresentam fraturas, e condizem com o aspecto de um material rígido e resistente. Isto corrobora os resultados obtidos para as propriedades mecânicas dos filmes de alginato de sódio que apresentaram a maior tensão na ruptura ($31,0 \pm 2,8$ MPa) e o maior módulo de elasticidade ($102,8 \pm 4,7$ MPa).

As micrografias das superfícies dos filmes de alginato de sódio contendo 5% e 10% de cera de abelha (Figuras 7b e 7c, respectivamente) não apresentam as estruturas fibrilares encontradas nos filmes de alginato (ALG2). Porém, são visualizadas protuberâncias nas

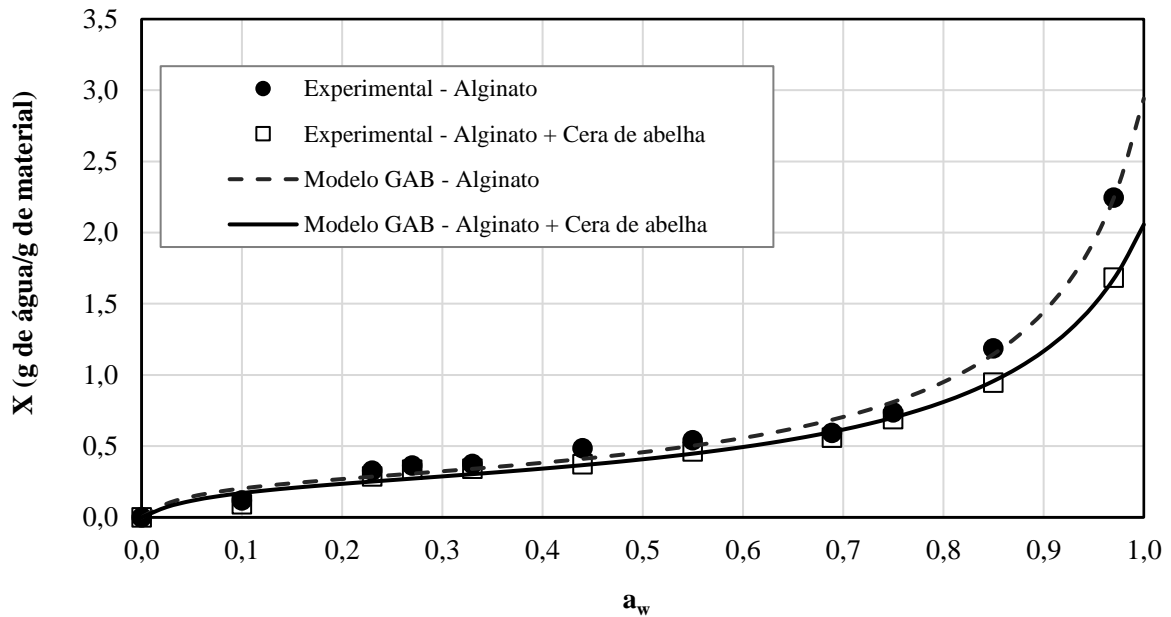
superfícies dos filmes ALG2CA5 e ALG2CA10, mais acentuadas em tamanho e número no caso do filme ALG2CA10. Essas protuberâncias podem ser causadas pela presença de aglomerados lipídicos sob a superfície do material. Esse tipo de microestrutura de superfície sugere um comportamento plástico da matriz do biopolímero (MARTELLI *et al.*, 2013). Assim, a matriz polimérica acomoda as forças decorrentes das diferenças de tensão interfacial e densidade dos aglomerados lipídicos, que atuam durante o processo de secagem e formação do material, se deformando permanentemente e gerando as protuberâncias observadas nas superfícies dos filmes (NUNES *et al.*, 2018).

A microestrutura da superfície do filme ALG2CA15 (Figuras 7d) mostra a presença de protuberâncias em menor número e com contornos bem mais suaves, em comparação com as encontradas nos filmes ALG2CA5 e ALG2CA10. Além disso, são observadas fraturas em alguns dos contornos destas protuberâncias (Figura 7d*). Tais achados são indicativos de uma matriz polimérica mais flexível (menor módulo de elasticidade) e pouco resistente (baixa tensão na ruptura), sendo condizentes com os valores encontrados para as propriedades mecânicas deste filme (Tabela 6). Essas características da matriz polimérica podem decorrer da maior concentração de moléculas anfifílicas (tensoativos) existente na composição deste filme. Essas moléculas facilitam a homogeneização dos corpos lipídicos (cera) na matriz hidrofílica do alginato. Além disso, aumentam o volume livre entre as cadeias poliméricas, resultando numa maior flexibilidade do material; porém podem também ocasionar a fragilização da matriz polimérica, se o afastamento entre as macromoléculas do alginato for excessivo. As evidências fornecidas pela análise da microestrutura auxiliam a entender por que esse filme foi o que apresentou maiores valores de solubilidade e de permeabilidade ao vapor de água dentre os filmes de alginato incorporados com cera de abelha, apesar de seu maior conteúdo lipídico. As características morfológicas de filmes com lipídeos dependem muito do tipo de lipídio utilizado, tamanho das moléculas e interação entre os componentes (HALAL *et al.*, 2016).

5.1.7 Isotermas de sorção de umidade

A Figura 8 mostra as isotermas de sorção de umidade obtidas para os filmes ALG2, ALG2CA5, ALG2CA10 e ALG2CA15. As médias para a sorção de umidade dos filmes contendo cera de abelha (ALG2CA5, ALG2CA10 e ALG2CA15) não apresentaram diferença estatística em nenhum valor de atividade de água e os dados foram, portanto, agrupados em uma única isoterma.

Figura 8. Isotermas de sorção de umidade, a 28 °C, para os filmes de alginato (ALG2) e alginato + cera de abelha (ALG2CA5, ALG2CA10 e ALG2CA15) – dados experimentais e curvas do modelo GAB ajustadas.



Legenda: ALG2 (Alginato de sódio 2%); ALG2CA5 (Alginato de sódio 2% com cera de abelha 5%); ALG2CA10 (Alginato de sódio 2% com cera de abelha 10%); ALG2CA15 (Alginato de sódio 2% com cera de abelha 15%).
Fonte: Elaboração própria, 2021.

Ambas as isotermas encontradas, tanto para os filmes de alginato quanto para os filmes de alginato incorporado com cera de abelha (5%, 10% e 15%), foram do tipo II (isoterma sigmoide). Esse tipo de isoterma é característico de sistemas em que água está fracamente ligada ao material. Os dados experimentais foram bem descritos pelo modelo GAB (Guggenheim – Anderson - de Boer), conseguindo-se explicar 98,9% e 99,2% da variação total observada para os dados de sorção de umidade dos filmes de alginato (ALG2) e alginato com cera de abelha (ALG2CA5, ALG2CA10 e ALG2CA15), respectivamente. Este modelo foi escolhido por seu embasamento teórico e por ser um dos mais indicados para descrever dados de sorção de umidade em alimentos, ajustando-se bem em uma larga faixa de a_w (ROCCA-SMITH *et al.*, 2016; AGUIRRE-LOREDO *et al.*, 2017). Os valores das constantes K, C e X_m do modelo GAB, apresentadas na Tabela 8, foram menores para os filmes contendo cera de abelha. Isso indica que nos filmes incorporados com cera de abelha existe uma menor quantidade de moléculas de água ligadas à monocamada do material (menores valores de X_m) e que estas moléculas estão mais fracamente ligadas nas multicamadas superiores (menores valores de K e C).

Tabela 8. Parâmetros do modelo de GAB para as isotermas de sorção de umidade dos filmes de alginato e cera de abelha.

FILME	K	C	X _m	R ²
ALG2	0,912	23,8	0,261	0,989
ALG + CERA	0,882	18,1	0,244	0,992

ALG + CERA = ALG2CA5, ALG2CA10 e ALG2CA15

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Uma análise das isotermas (Figura 8) mostra que na região correspondente a $a_w < 0,2$ há pouca diferença entre os conteúdos de água adsorvido para os filmes de alginato com ou sem adição de cera. Essa porção da curva representa a água adsorvida para a formação da monocamada na superfície do material. Na faixa de $0,2 < a_w < 0,7$, correspondente à formação de multicamadas de moléculas de água adsorvidas, cresce gradativamente a diferença entre as isotermas para os filmes, com os filmes sem cera de abelha adsorvendo gradativamente mais moléculas de água. Porém, a principal diferença entre as isotermas dos materiais situa-se na faixa correspondente a $a_w > 0,7$. Nessa região ocorre a condensação da água e dissolução do material. No conjunto, podemos afirmar que os filmes de alginato contendo cera de abelha são menos higroscópicos que seus congêneres nos quais a cera não foi adicionada.

Uma comparação das isotermas obtidas neste trabalho com as obtidas em outros da literatura mostra similaridades no comportamento dos materiais com os de filmes de outros biopolímeros, como: amido-gelatina (SRINIVASA *et al.*, 2003), amido-álcool polivinílico-alginato (BRANDELERO; ALMEIDA; ALFARO, 2015), quitosana (AGUIRRE-LOREDO *et al.*, 2017).

5.2. QUALIDADE DOS MÉIS ACONDICIONADOS EM EMBALAGENS MISTAS DE ALGINATO DE SÓDIO E CERA DE ABELHA

Neste tópico serão apresentados os resultados referentes à aplicação dos filmes de alginato (ALG2) e alginato incorporado com cera de abelha (ALG2CA5, ALG2CA10 e ALG2CA15) na embalagem de mel de abelha (*Apis mellifera L.*).

5.2.1 Perda de massa

Observou-se aumento na perda de massa ao longo do tempo para todos os tratamentos, especialmente para os méis armazenados nas embalagens de ALG2 (Figura 9).

Com relação aos tratamentos, no 7º dia observou-se maior perda de massa na embalagem ALG2, seguido do controle, e da embalagem ALG2CA5, enquanto as embalagens

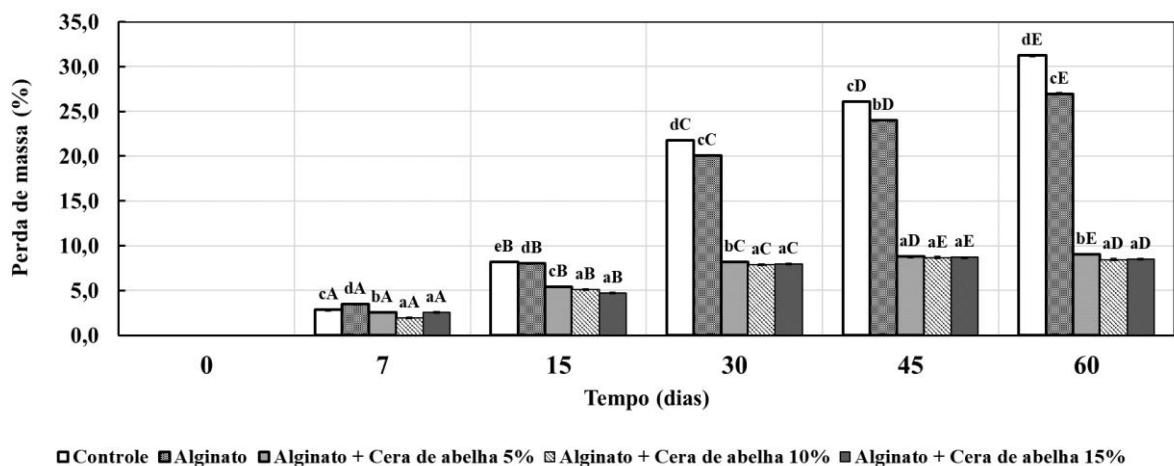
ALG2CA10 e ALG2CA15 não diferiram entre si, e tiveram as menores perdas de massa.

Nos dias 15, 30 e 60, as maiores perdas de massa também ocorreram nas mesmas embalagens do 7º dia de experimento, apenas mudando a ordem, já que a maior perda de massa ocorreu no controle, seguido da embalagem ALG2, e da ALG2CA5, todos os tratamentos diferindo significativamente entre si. Como ocorreu durante todo o experimento, com exceção do 45º dia, onde as embalagens com maior conteúdo de cera de abelha (ALG2CA10 e ALG2CA15) não diferiram entre si, e tiveram as menores perdas de massa.

No 45º dia, o controle e a embalagem ALG2 diferiram estatisticamente entre si, sendo o controle o que apresentou a maior perda de massa dentre todas as embalagens, seguido da embalagem ALG2. Diferentemente de todas as outras etapas do experimento, nesta a embalagem ALG2CA5 não diferiu estatisticamente das embalagens ALG2CA10 e ALG2CA15, sendo estas as que apresentaram as menores perdas de massa.

Assim, verificou-se que a aplicação de cera de abelha nas embalagens contribuiu para a diminuição da perda de massa ao longo do tempo, especialmente nas concentrações de 10% e 15%. Isso se deu, provavelmente, pela presença da cera promover a redução da permeabilidade ao vapor de água do material empregado na embalagem, diminuindo assim a perda de umidade para o ambiente, o que não ocorreu no controle devido aos béqueres estarem abertos, e na embalagem de ALG2. Também foram observados defeitos e vazamentos de mel nas embalagens de ALG2 e em menor proporção naquelas contendo cera. Isto certamente também auxilia no entendimento dos resultados obtidos.

Figura 9 – Perda de massa dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento.



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem no tratamento, e maiúsculas não diferem ao longo do tempo, estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração própria, 2021.

5.2.2 Teor de umidade

O teor de umidade médio do mel no tempo 0 foi de 19% encontrando-se em acordo com a legislação brasileira que recomenda umidade máxima de 20% para mel de *A. mellifera* (BRASIL, 2000).

O percentual de umidade foi diminuindo ao longo do tempo em todos os tratamentos e no controle, chegando a ficar em torno de 14,4 ao final do experimento, como pode ser visto na Figura 10.

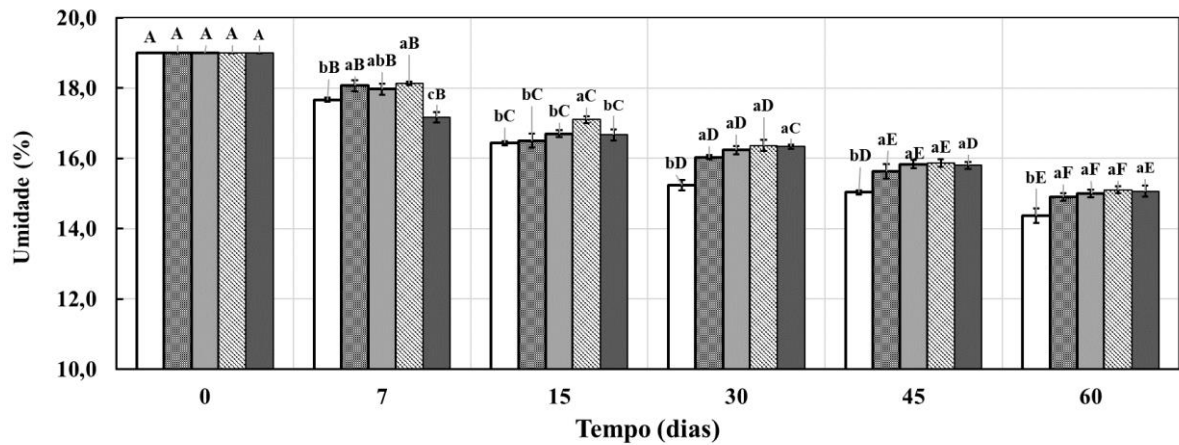
Quanto ao comportamento dos tratamentos, o único que mostrou diferença significativa dos demais no 7º dia foi o das embalagens de ALG2CA15, onde houve a maior redução da umidade dos méis neste tempo. As embalagens que mantiveram os maiores teores de umidade do mel após esse tempo de armazenamento, foram as fabricadas com os filmes ALG2, ALG2CA5 e ALG2CA10, embora o ALG2CA5 também não tenha se diferenciado do controle, que se mostrou um pouco inferior.

Com 15 dias de armazenamento dos méis, o único filme que se diferenciou dos demais foi o ALG2CA10, que manteve maiores médias de umidade.

Do 30º dia até o final do experimento, o único mel que se diferenciou foi o controle, mostrando-se inferior aos demais, com médias de umidade inferior em relação aos filmes das embalagens biodegradáveis. Ao final do experimento, a média mais baixa foi de 14,37%, para o controle, e a maior foi 15,1%, da embalagem ALG2CA10.

De forma geral, as embalagens biodegradáveis, independente da incorporação de cera, conseguiram manter maiores médias de umidade dos méis que o controle, pois neste houve uma grande redução na umidade.

Figura 10. Percentuais de umidade dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento.



□ Controle ■ Alginato ▨ Alginato + Cera de abelha 5% ▩ Alginato + Cera de abelha 10% ▪ Alginato + Cera de abelha 15%

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem no tratamento, e maiúsculas não diferem ao longo do tempo, estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Como observado, a umidade do mel durante o experimento variou de 19% a 14,4%, apresentando uma maior porcentagem de umidade no início e menor ao final. Resultado semelhante foi encontrado por Kędzierska-Matysek *et al.* (2016), que observaram uma discreta redução de umidade em méis armazenados em temperatura ambiente. Abdulkhaliq e Swaileh (2017) ao analisarem méis palestinos, obtiveram uma variação de umidade de 14,5% a 19%.

Méis com umidade abaixo de 20%, que é a recomendação nacional e internacional (BRASIL, 2000; CODEX ALIMENTARIUS, 2001) apresentam, de forma geral, melhores condições de armazenamento, já que umidades maiores facilitam o desenvolvimento de microrganismos fermentadores, se houver temperatura favorável, como as leveduras osmofílicas (SUBRAMANIAN; HEBBAR; RASTOGI, 2007; STEVENSON *et al.*, 2015; BOUHLALI *et al.*, 2019).

Apesar de a redução de umidade do mel ao longo do armazenamento não ser comum à maioria dos estudos, esta pode ter ocorrido por fatores de interação com o ambiente, como em relação à umidade relativa do ar (UR%), que, de acordo com Picanço *et al.* (2018), exerce influência no percentual de umidade do mel.

O clima de Mossoró-RN, de acordo com a classificação de Köppen, denomina-se como *BSwh'*, que diz respeito ao semiárido, que tem como características apresentar elevadas temperaturas e baixa umidade relativa. Sousa *et al.* (2009), verificaram que a UR média da UFERSA de novembro a dezembro de 2008 foi de 58,93%, enquanto a temperatura média foi 28,5 °C. Dessa forma, este pode ser uma possível razão pelo qual as embalagens com cera

mantivessem a umidade maior em relação ao controle e ALG2, no final do experimento.

Com a redução da umidade dos méis, observou-se visualmente, o aumento na viscosidade do mel, dificultando, inclusive, a retirada do mel das embalagens/béqueres nas etapas finais do experimento, situação também descrita por Medeiros e Souza (2015).

Segundo Subramanian, Hebbar e Rastogi (2007), todo mel contém leveduras osmofílicas que são tolerantes ao açúcar, seja em menor ou maior quantidade, sendo este o principal problema de armazenamento enfrentado por produtores de mel em países tropicais (como o Brasil), já que oferecem temperaturas favoráveis ao desenvolvimento destas, ocasionando a fermentação do mel. Os autores trazem que a redução da umidade para menos de 17% é considerada segura para retardar esse processo.

5.2.3 Açúcares Redutores (AR)

No tempo 0, o mel apresentou um percentual médio de AR de 78,3%, estando em conformidade com a recomendação da legislação brasileira (BRASIL, 2000). Observou-se que houve uma diminuição de AR, ao longo do tempo, para todos os méis (Figura 11).

No 7º dia de estocagem, o controle não diferiu de nenhum dos tratamentos. As amostras ALG2 diferiram estatisticamente das demais, com exceção do controle, e apresentou, juntamente com este, o menor percentual de AR, embora o controle não tenha diferido estatisticamente dos demais. Os demais méis, acondicionados em embalagens de alginato e cera de abelha, não diferiram entre si, e conseguiram manter maiores percentuais de AR, juntamente com o controle, sendo que só se diferenciaram significativamente do tempo 0 aos 15 dias, voltando a diferir aos 30 dias, após isso não diferindo mais.

Aos 15 dias não houve diferença estatística entre nenhum tratamento e nem com o controle.

Aos 30 dias, o mel da embalagem ALG2 não diferiu do controle, demonstrando, juntamente com este, menores percentuais de AR, embora o controle não tenha diferido dos méis da embalagem ALG2CA15. Os méis com maiores percentuais de AR neste período foram os das embalagens ALG2CA5 e ALG2CA10, que não diferiram entre si, juntamente com os da embalagem ALG2CA15 que também não diferiu destes.

Aos 45 dias, os méis de embalagens que continham cera na composição (ALG2CA5, ALG2CA10 e ALG2CA15) não diferiram entre si, e mantiveram os maiores percentuais de AR, em comparação ao mel da embalagem ALG2 e o controle, que não diferiram entre si.

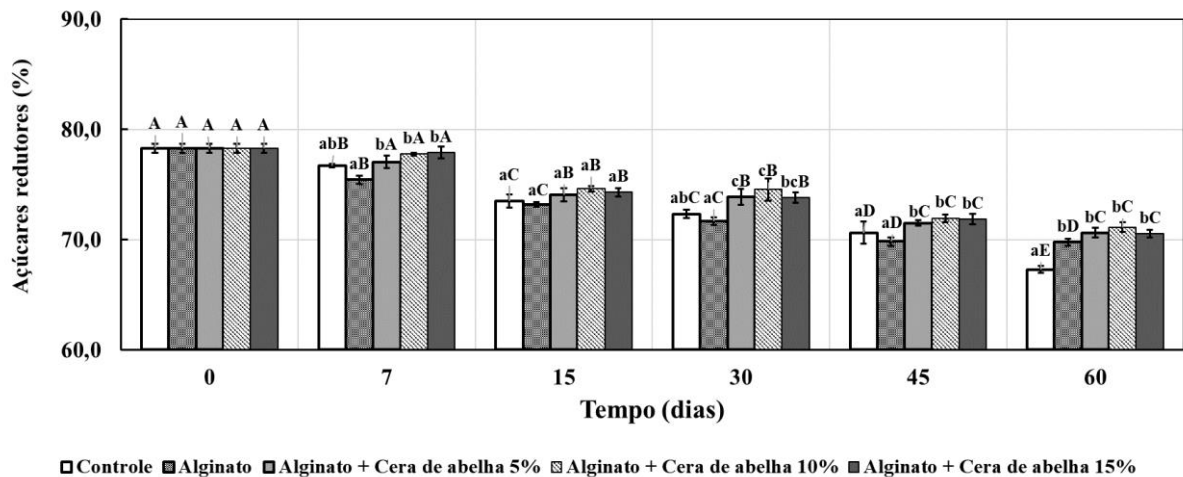
Ao fim do experimento, aos 60 dias, todos os tratamentos se mostram superiores ao controle, não diferindo entre si, enquanto o controle diferiu destes, apresentando os menores

percentuais de AR.

A recomendação brasileira de AR em méis de *A. mellifera* é de no mínimo 65%. O mel utilizado no experimento variou de 67,3 a 78,3% ao longo do experimento, sendo o menor percentual detectado ao final, enquadrando-se ainda dentro das recomendações nacionais e internacionais (BRASIL, 2000; CODEX ALIMENTARIUS, 2001).

Resultado semelhante foi encontrado por Paiva *et al.* (2012), ao avaliar o tempo de prateleira do mel, onde durante o armazenamento houve redução de AR de 81,57% a 65,01%, que de acordo com os autores, pode ser explicado pela ação de algumas enzimas. Al-Ghamdi *et al.* (2019) também observaram redução nos AR durante o armazenamento.

Figura 11. Percentual de Açúcares Redutores dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento.



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem no tratamento, e maiúsculas não diferem ao longo do tempo estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Doner (1977) e Jiménez *et al.* (1994) também observaram redução de AR em méis durante o armazenamento, que os autores justificaram pela possibilidade de o pH ácido característico do mel contribuir na reversão destes em dissacarídeos, por exemplo. Pezente (2011) argumenta que esse resultado pode estar relacionado com a presença ou não de leveduras envolvidas na conversão de monossacarídeos em dissacarídeos, o que Ruiz-Matute, Sanz e Martínez-Castro (2007) comprovaram em seu estudo, ao realizarem tratamento no mel com leveduras em temperatura média de 30 °C, o que ocasionou diminuição de AR e aumento de dissacarídeos.

5.2.4 Sacarose

A Figura 12 apresenta os resultados dos teores de sacarose nos méis armazenados nas

diferentes condições e ao longo do tempo. No tempo 0 (zero), o mel embalado apresentou um teor de sacarose de 0,85%. Ao 7º dia de armazenamento observou-se uma diminuição nos teores de sacarose de todos os méis, porém, esta diminuição só foi significativa, em comparação com as médias do tempo zero, no caso das embalagens de ALG2CA5 e AG2CA10. A partir do 15º dia, o percentual de sacarose começou a aumentar em todos os méis, com exceção do mel da embalagem ALG2CA10, em que até esse momento não se diferenciou da concentração apresentada no 7º dia de armazenamento. Quanto aos tratamentos, aos sete dias não houve diferença estatística entre os tratamentos.

Já aos 15 dias, o único tratamento que se diferenciou de todos os demais, foi o ALG2CA10, onde o percentual de sacarose foi menor que em todos os demais. Já os tratamentos ALG2, ALG2CA5 e ALG2CA15, não diferenciaram entre si, apresentando-se inferiores em relação ao anterior, já que foram encontrados maiores percentuais de sacarose nestes em relação ao ALG2CA10. No entanto, não foi possível diferenciar os méis dos tratamentos ALG2 do controle, sendo estes os que apresentaram os maiores percentuais de sacarose dentre todos os demais.

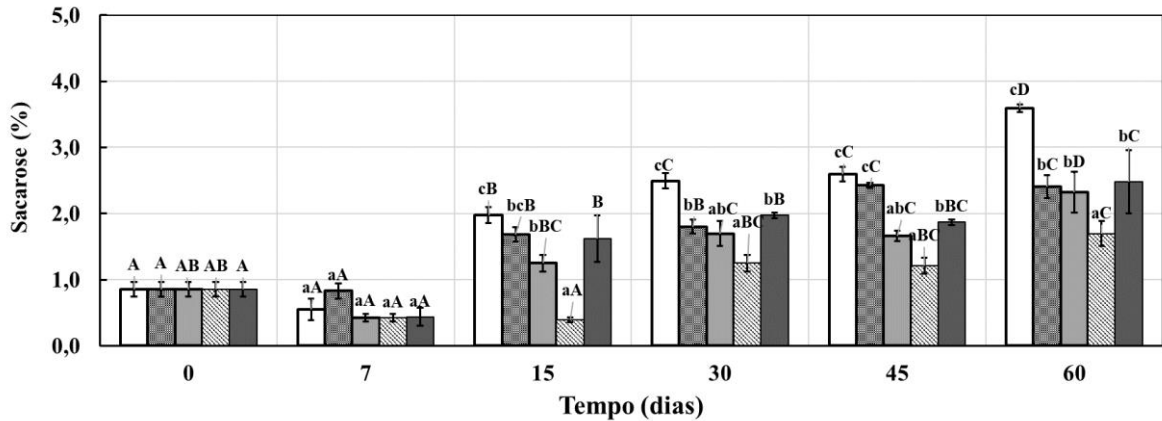
Aos 30 dias de armazenamento, os tratamentos que apresentaram os menores níveis de sacarose foram ALG2CA5 e ALG2CA10 que não diferiram entre si. O maior percentual foi o do controle, que diferiu de todos os outros tratamentos. Os tratamentos ALG2 e ALG2CA15 mostraram níveis intermediários, não diferindo entre si. Aos 45 dias ocorreu algo semelhante, com a diferença de que o ALG2 se mostrou significativamente diferente do ALG2CA15 e igual ao controle, sendo estes os que apresentaram maiores níveis de sacarose.

Ao fim do experimento, aos 60 dias, o tratamento ALG2CA10 diferiu de todos os demais, apresentando os menores níveis de sacarose, enquanto o controle apresentou o maior percentual, diferindo também dos demais. Os outros três tratamentos comportaram-se estatisticamente iguais, demonstrando níveis intermediários de sacarose.

Pode-se concluir que o tratamento ALG2CA10 se mostrou superior em níveis de conservação do mel, ao apresentar diferença significativa em relação aos demais méis, e menores níveis de sacarose durante todo o experimento.

De forma geral, foi possível concluir que o teor de sacarose aumentou em todos os méis, independente da embalagem, ao longo do tempo, com menor percentual ao final do experimento no tratamento ALG2CA10 (Figura 12).

Figura 12. Percentual de sacarose dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento.



□ Controle ■ Alginato ■ Alginato + Cera de abelha 5% ▨ Alginato + Cera de abelha 10% ■ Alginato + Cera de abelha 15%

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem no tratamento, e maiúsculas não diferem ao longo do tempo, estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração própria, 2021.

A variação dos teores de sacarose nos méis armazenados foi de 0,85% para 3,59%, estando todos os méis, após o armazenamento, dentro das recomendações, que no Brasil é de no máximo 6%, e nas recomendações internacionais de até 5% (BRASIL, 2000; CODEX ALIMENTARIUS, 2001). Esse aumento do teor de sacarose pode ser resultante da perda de água que ocorreu durante o armazenamento.

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva *et al.* (2009), onde a sacarose variou no mel durante o armazenamento de 1,36 a 3,54%, e por Czipa, Phillips e Kovács (2019), que observaram aumento de sacarose aparente no mel durante armazenamento.

5.2.5 Hidroximetilfurfural (HMF)

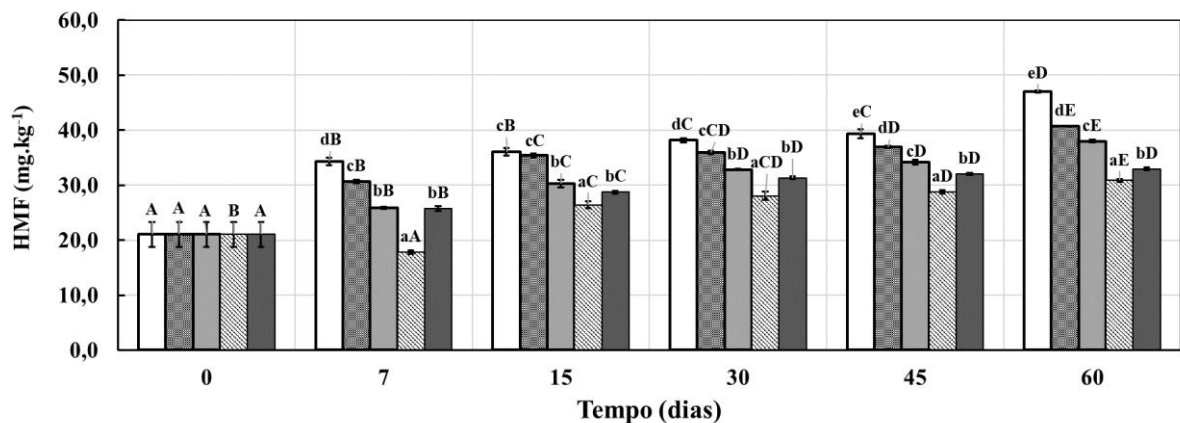
As concentrações de hidroximetilfurfural nos méis armazenados, em função do tempo e do tipo de embalagem, são apresentados na Figura 13. Quanto ao tempo, observou-se aumento significativo nos níveis de HMF, a partir do 7º dia, em todos os méis, o que se repetiu aos 15 dias, com exceção do controle, que não diferiu da etapa anterior. Aos 30 dias novamente observou-se diferença significativa, com exceção dos tratamentos ALG2 e ALG2CA10. Aos 45 dias não houve diferença significativa em relação ao 30º dia. Após os 60 dias de armazenamento houve aumento significativo em todos os tratamentos, com exceção do tratamento ALG2CA15, que não diferiu dos teores obtidos no 45º dia de armazenamento.

Quanto aos tratamentos, já foi possível observar diferença no 7º dia, sendo o tratamento ALG2CA10 o que apresentou menor aumento de HMF, e o controle o maior. Não houve diferença significativa entre os tratamentos ALG2CA5 e ALG2CA15.

O tratamento ALG2CA10 demonstrou o menor teor de HMF durante todo o experimento, em comparação aos demais tratamentos. O controle demonstrou o maior nível, também em todo o experimento, diferindo de todos os demais, com exceção do 15º dia, em que o tratamento ALG2 não diferiu deste, apresentando ambos, o maior nível de HMF.

Ao final do experimento o controle chegou a apresentar HMF médio de 47 mg kg⁻¹, enquanto o tratamento ALG2CA10, alcançou a média máxima de 30,87 mg kg⁻¹. Percebe-se assim, que a incorporação de cera na concentração de 10% na embalagem de alginato de sódio, contribuiu para um menor nível de HMF.

Figura 13. Concentração de HMF dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento.



□ Controle ■ Alginato ■ Alginato + Cera de abelha 5% ▨ Alginato + Cera de abelha 10% ■ Alginato + Cera de abelha 15%

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem no tratamento, e maiúsculas não diferem ao longo do tempo, estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração própria, 2021.

De forma geral, observou-se aumento significativo nos níveis de HMF em todos os tratamentos ao longo do tempo (Figura 13). Notou-se que o HMF variou de 21,1 a 47 mg kg⁻¹ durante o experimento. Em estudo realizado por Alves *et al.* (2011), em méis de diferentes origens florais, os autores observaram uma alta concentração de HMF (72,86 mg kg⁻¹) no mel procedente da flora de velame, bem superior ao encontrado neste estudo. A maior concentração de HMF no controle pode advir da maior perda de água neste tratamento.

Tôres *et al.* (2013) realizaram análises físico-química em méis de *A. mellifera*, proveniente da mesma localidade do mel do presente estudo (Apodi-RN), e obtiveram valores médios de 32,06 mg kg⁻¹ para HMF, variando de 9,5 a 57,5 mg kg⁻¹, resultados semelhantes aos encontrados aqui. Qamer *et al.* (2013) também constataram aumento do HMF ao longo do armazenamento para méis de *Apis* nativas do Nepal.

De acordo com Belay *et al.* (2017), Tosi *et al.* (2004) e Kędzińska-Matysek *et al.*

(2016), a ação da acidez normal do mel nos AR pode possivelmente gerar HMF, além do tempo de armazenamento e temperatura.

O menor índice de HMF nos méis das embalagens ALG2CA10, possivelmente ocorreu devido à maior opacidade destas embalagens, pois segundo Meireles e Cançado (2013), a incidência de luz sob o mel acelera a formação de HMF, sendo as embalagens opacas as mais indicadas para o armazenamento de mel.

5.2.6 Condutividade elétrica

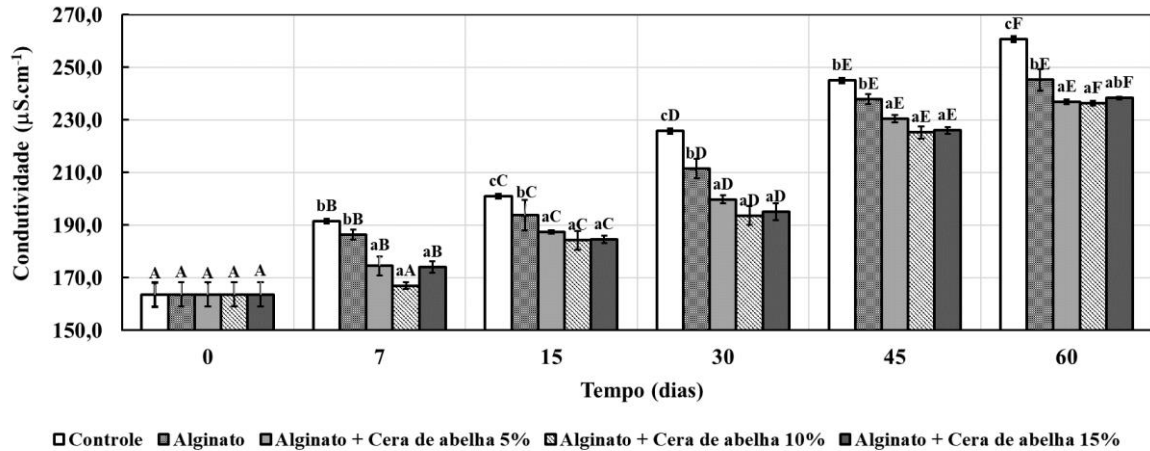
Quanto à condutividade elétrica, percebeu-se que esta aumentou ao longo do tempo para todos os filmes, demonstrando um menor aumento nos filmes ALG2CA5 e ALG2CA10 a partir do 45º dia, mantendo-se esse comportamento até o final do experimento (Figura 14).

Em relação aos tratamentos, nos dias 7 e 45 do experimento, os méis da embalagem ALG2 e do controle não diferiram estatisticamente entre si, apresentando os maiores níveis de condutividade, enquanto os demais diferiram estatisticamente dos primeiros, apresentando níveis menores de condutividade elétrica.

Nos dias 7 e 45 o controle não diferiu estatisticamente da embalagem ALG2, ambos apresentando os maiores níveis de condutividade elétrica. Já nos dias 15, 30 e 60, o controle diferiu estatisticamente de todas as demais embalagens, tendo o maior nível de condutividade elétrica. No mesmo período citado, o mel da embalagem ALG2 também diferiu estatisticamente dos demais, sendo o segundo com maior quantidade de condutividade elétrica.

Dessa forma, observou-se que houve um aumento na condutividade elétrica dos méis ao longo do tempo, no entanto, a adição de cera de abelha às embalagens contribuiu para que durante todo o experimento os méis das embalagens ALG2CA5, ALG2CA10 e ALG2CA15 não diferissem significativamente entre si, e mantivessem as menores taxas de condutividade elétrica em comparação aos méis do controle e da embalagem ALG2.

Figura 14. Condutividade elétrica dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento.



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem no tratamento, e maiúsculas não diferem ao longo do tempo, estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Os valores de condutividade elétrica do mel ao longo do tempo variaram de 0,164 a 0,261 $\mu\text{S cm}^{-1}$, estando, dessa forma, dentro das recomendações internacionais, que indicam que este parâmetro seja menor que 0,8 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Não há recomendação nacional para esta análise, no entanto é de grande importância para a determinação botânica, além de substituir a análise de cinzas, já que está relacionada ao conteúdo mineral (CODEX ALIMENTARIUS, 2001; GOIS *et al.*, 2013).

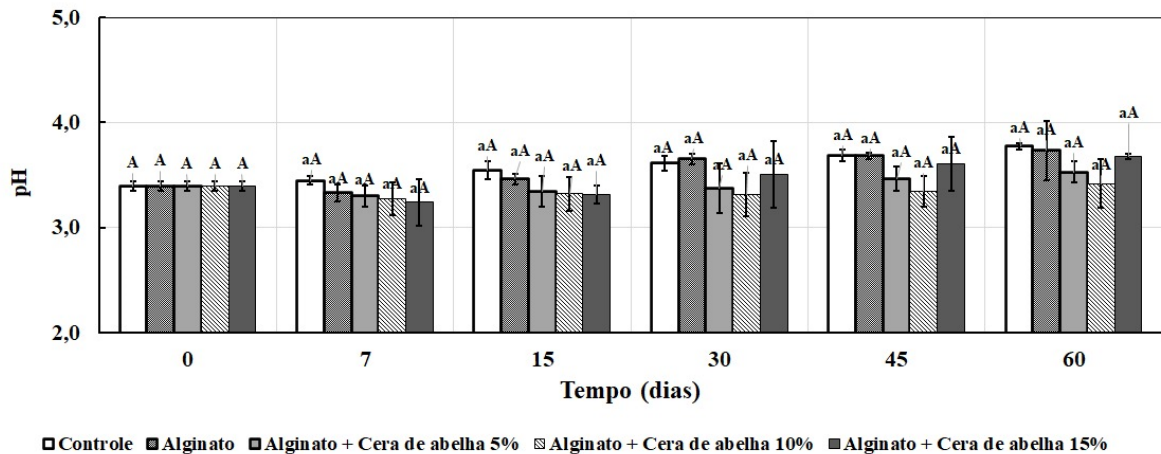
De acordo com Silva (2016), méis monoflorais, que é o caso do mel em estudo, apresentam condutividade elétrica mais baixa, enquanto méis de melato apresentam valores mais elevados, devido ao maior conteúdo de cinzas nestes.

Alves *et al.* (2011) encontraram valores de condutividade elétrica superiores aos encontrados neste estudo, 0,442 $\mu\text{S cm}^{-1}$ em méis da flora de velame.

5.2.7 pH e acidez

Os resultados mostram que não houve variação significativa no pH em relação ao tempo e aos tratamentos, como pode ser observar na Figura 15. Os méis apresentaram um pH médio de 3,4 e valores variando entre 3,24 e 3,78.

Figura 15. pH dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento.



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem no tratamento, e maiúsculas não diferem ao longo do tempo, estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Alves *et al.* (2011) encontraram valores semelhantes ao analisar mel de velame, como neste estudo, onde obtiveram pH médio de 3,53.

Al-Ghamdi *et al.* (2019) também não observaram diferença significativa no pH ao longo do armazenamento. Assim como Cavia *et al.* (2007), que em seu estudo observou que não houve alteração significativa do pH do mel durante 15 meses.

Com relação à acidez ao longo do tempo, foi observada diferença significativa para todos os tratamentos, com menor influência ao fim do experimento no ALG2CA15 (Figura 16). No 7º dia, apenas o controle e ALG2 diferiram do tempo 0, sendo este último o que apresentou maior diferença. A partir do 15º dia, houve aumento significativo em todos os tratamentos em relação ao tempo, com exceção para o ALG2CA15, que do dia 30 ao dia 45 não diferiu significativamente, voltando a diferir no dia 60.

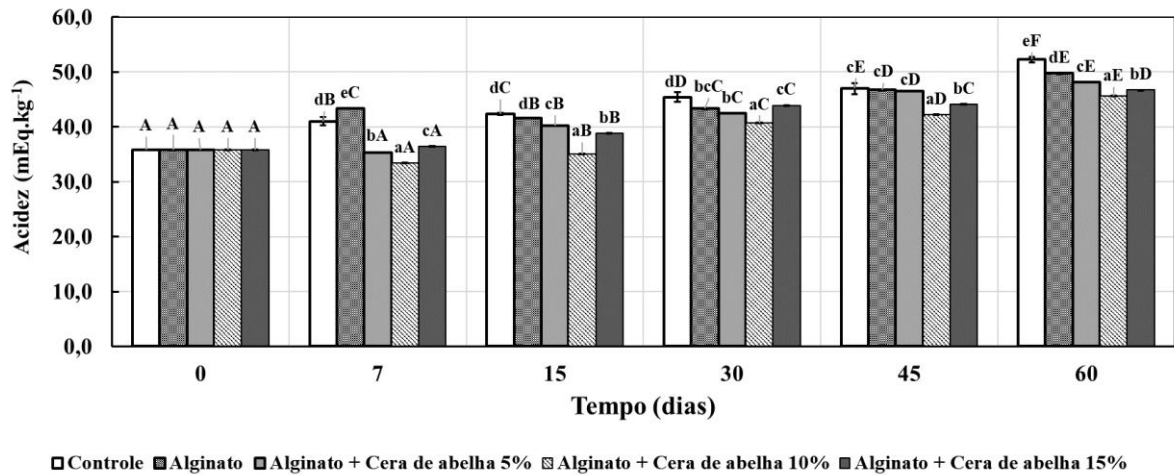
Quanto aos tratamentos, foi observada diferença significativa a partir do 7º dia, onde todos os tratamentos diferiram entre si, apresentando o controle, a maior acidez, e a embalagem ALG2CA10, a menor.

A embalagem ALG2CA10 diferiu de todos os tratamentos durante todo o experimento (60 dias), apresentando sempre as menores médias de acidez. Enquanto o controle apresentou as maiores médias.

O que pode ter contribuído para que os méis das embalagens com cera de abelha tenham conseguido manter menores níveis de acidez durante o armazenamento, especialmente a ALG2CA10, foi a coesão dessas, já que apresentaram menor percentual de defeitos, falhas e vazamentos durante todo o experimento, enquanto nos demais tratamentos o mel foi mais

exposto à ação de microrganismos que podem ter contribuído para o aumento da acidez (GOIS et al., 2013).

Figura 16. Acidez dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento.



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem no tratamento, e maiúsculas não diferem ao longo do tempo, estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Verificou-se que a acidez média no tempo zero foi de 35,8 mEq kg⁻¹ e que esta foi aumentando ao longo do tempo de armazenamento, em uma velocidade e níveis menores nas embalagens com alguma porcentagem de cera de abelha. Ao final do experimento a maior e menor acidez foram, respectivamente, 52,23 e 45,67 mEq kg⁻¹. A acidez ao longo do tempo variou de 35,8 para 52,2 mEq kg⁻¹, sendo a recomendação máxima brasileira 50 mEq kg⁻¹. Assim, ao final do experimento, os méis do controle e da embalagem ALG2 encontravam-se em desacordo com a legislação brasileira (BRASIL, 2000).

Resultados bem aproximados foram encontrados por Finco, Moura e Silva (2010) ao analisarem méis de *A. mellifera* de diferentes origens florais no estado de Tocantins, onde obtiveram uma variação de 35 a 59 mEq kg⁻¹. Kędzierska-Matysek *et al.* (2016) também observaram aumento de acidez durante o armazenamento de méis em temperatura ambiente.

Alves *et al.* (2011) obtiveram valores médios de acidez em torno de 30,36 mEq kg⁻¹, para méis oriundos de floradas de velame, resultado este semelhante ao encontrado no tempo 0 neste estudo.

5.2.8 Cor

Análise inicial da cor do mel, mostrou média de 102,3 na escala de Pfund (Ver Tabela 3), classificando-o na cor branca, que, como mostram os estudos, está entre os méis preferidos

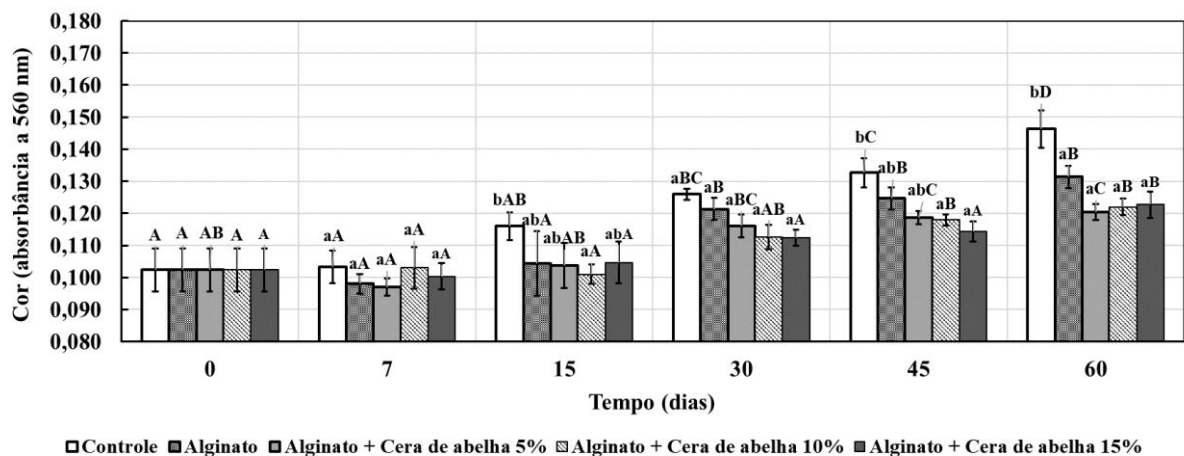
pelos consumidores. Ao final, a maior média de cor do mel foi de 146,3, classificando-se em extra âmbar claro, que é considerado ainda como um mel claro, portanto dentro da preferência dos consumidores.

Constatou-se que o mel foi escurecendo lentamente ao longo do tempo, o que se iniciou discretamente somente aos 15 dias para o controle e o ALG2CA5, embora não apresentando diferença significativa entre os tempos 0 e 7 dias, não sendo possível afirmar que se diferenciaram dos demais; não havendo ainda escurecimento significativo também nos demais méis (Figura 17).

Aos 30 dias, pode-se afirmar certamente que se iniciou o escurecimento dos méis do controle, ALG2 e ALG2CA5, não se diferenciando entre si. Não foi possível afirmar que os méis ALG2CA10 e ALG2CA15 diferiram estatisticamente, embora o primeiro não tenha diferido também dos méis do controle, ALG2 e ALG2CA5. Dessa forma, o mel ALG2CA15 apresentou-se discretamente mais claro que o ALG2CA10 e demais.

Com relação aos tratamentos, só foi possível observar diferença significativa real ao final do experimento, ou seja, aos 60 dias, onde o mel controle mostrou-se mais escuro em comparação aos demais, que não se diferenciaram significativamente entre si. Ao final o controle apresentou um valor de 146,3 na escala Pfund e o menor valor médio de cor foi encontrado nos méis da embalagem ALG2CA5, com 120,3 (escala Pfund) uma diferença média de aproximadamente 17%.

Figura 17 – Cor dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento.



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem no tratamento, e maiúsculas não diferem ao longo do tempo, estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração própria, 2021.

O mel usado neste estudo apresentou uma cor clara característica dos méis de florada

de velame (*Croton heliotropiifolius*). Esta planta é um subarbusto comum no bioma caatinga, considerado altamente melífero e originando méis de cores claras (LIBERATO; MORAIS, 2016).

Mendonça *et al.* (2019), ao avaliarem as características físico-químicas de méis de velame, observaram que a cor do mel se classificou em extra âmbar claro, o que vai de acordo ao encontrado no presente estudo em que a cor variou de branco (etapas iniciais) à extra âmbar claro ao final do experimento.

O escurecimento do mel pode ser causado por alguns fatores, Singh e Singh (2018), trazem o tempo de armazenamento, a umidade, conteúdo antioxidante e aquecimento como algumas das variáveis importantes deste processo. Sendo que o escurecimento por aquecimento pode ser prejudicial à saúde do consumidor.

Para Lacerda *et al.* (2010), o envelhecimento do mel causa escurecimento, sendo esperado, como os resultados mostram, um leve aumento da cor do mel ao longo do tempo.

Já Carneiro *et al.* (2002) analisaram as alterações em méis acondicionados em temperatura ambiente na cidade de Teresina, no Piauí, que segundo os autores tem variação de temperatura em torno de 30 a 42 °C, temperaturas semelhantes às de Mossoró – RN, cidade deste estudo, em que as condições experimentais simularam o produto na prateleira (a temperatura ambiente). Estes autores observaram um aumento na absorvância dos méis em torno de 21,5%, no entanto, os méis se mantiveram na mesma faixa de classificação de cor.

Kędzińska-Matysek *et al.* (2016), em estudo comparativo das características físico-químicas do mel em diferentes temperaturas, observaram que méis em temperatura ambiente apresentaram maior escurecimento em comparação a méis armazenados em freezer.

Segundo Fernandes, Rosa e Conti-Silva (2018), assim como no HMF, a incidência de luz direta sob o mel contribui para o seu escurecimento de forma mais rápida, sendo, desta forma, mais adequadas as embalagens opacas. Este fato justifica o menor escurecimento nos méis das embalagens biodegradáveis, especialmente a ALG2CA15, em comparação aos méis do controle, já que estas ofereceram uma proteção maior contra a incidência de luz nos méis.

5.2.9 Atividade Diastásica

No tempo zero (inicial) os méis apresentaram atividade diastásica de 20 °G, dentro das especificações da legislação brasileira e internacional, que estabelecem o mínimo de 8 °G (BRASIL, 2000; CODEX ALIMENTARIUS, 2001).

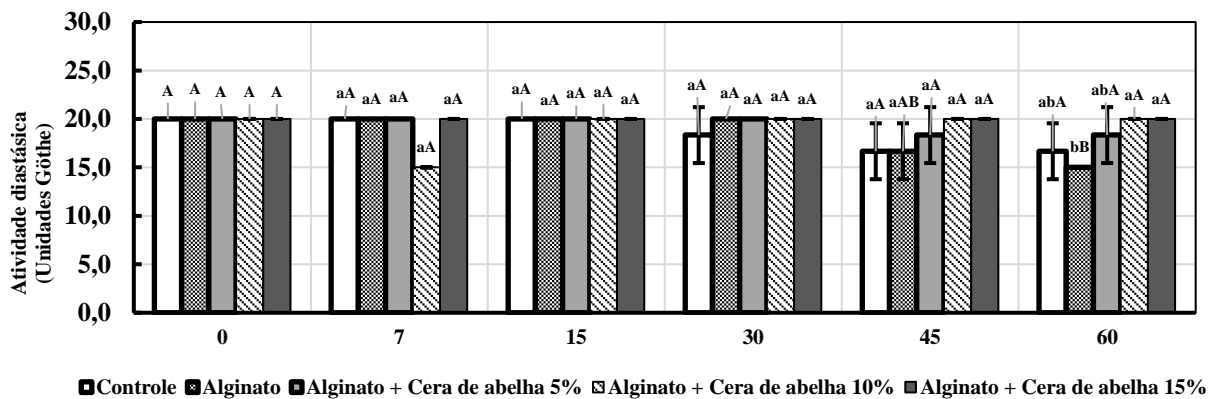
Com relação ao tempo, a única embalagem que apresentou diferença significativa foi a ALG2, em que houve diminuição das unidades de diástases a partir do 45º dia. Enquanto às

demais não diferiram em relação ao tempo.

Dentro dos tratamentos, somente ao final do experimento (60º dia) observou-se diferença significativa no tratamento ALG2, que apresentou número de diástase menor em relação aos tratamentos ALG2CA10 e ALG2CA15. Já o controle e a embalagem ALG2CA5 não diferiram estatisticamente de nenhum dos demais tratamentos.

Ao final do experimento, constatou-se que todos os tratamentos mantiveram as concentrações recomendadas de unidades Göthe, superior a 8 °G, como determina a legislação (BRASIL, 2000).

Figura 18 – Atividade diastásica dos méis embalados em função do material da embalagem e do tempo de armazenamento.



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem no tratamento, e maiúsculas não diferem ao longo do tempo, estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração própria, 2021.

De acordo com Silva *et al.* (2016) e Tosi *et al.* (2004), é comum a atividade diastásica diminuir ao longo do armazenamento e de acordo com as condições deste, pois a enzima α -amilase apresenta-se em maior quantidade em méis mais novos, sendo um indicador de frescor, e menor quantidade à medida que o mel envelhece.

Silva *et al.* (2016), Czipa, Phillips e Kovács (2019) e Qamer *et al.* (2013), também observaram redução na atividade diastásica de méis ao longo do armazenamento.

White Junior *et al.* (1962) verificaram que a atividade diastásica reduziu ao longo do armazenamento mesmo em temperatura ambiente (23-28 °C), condizendo com os resultados obtidos neste estudo, sendo recomendado o armazenamento refrigerado a fim de retardar essa redução. Kędzińska-Matysek *et al.* (2016) corroboram esse resultado, pois observaram 24,4% de redução de atividade diastásica em méis armazenados em temperatura ambiente.

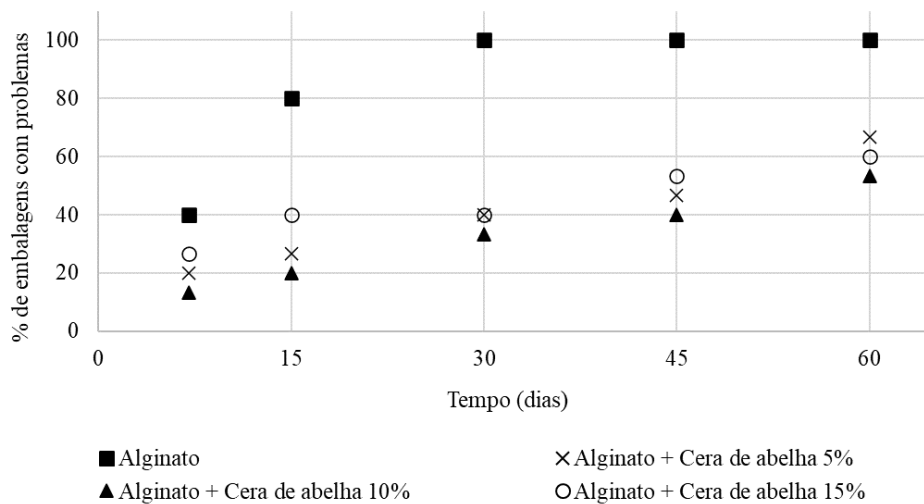
Dessa forma, conclui-se que o tempo de armazenamento influenciou ligeiramente na redução da atividade diastásica dos méis da embalagem ALG2, exercendo menor influência nos

méis das embalagens com percentual de cera entre 10% e 15%.

5.2.10 Defeitos, dissolução e vazamento nas embalagens

Durante o experimento foi observado, visualmente, o comportamento das embalagens ao longo do tempo, quando à ocorrência de dissolução, defeitos e/ou vazamentos. Na Figura 19, são apresentados os percentuais de embalagens que apresentaram problemas durante o armazenamento.

Figura 19. Comportamento das embalagens biodegradáveis ao longo do experimento, com relação à degradação e vazamentos.



Fonte: Elaboração própria, 2021.

Como mostra a Figura 19, as embalagens de alginato de sódio (ALG2) se mostraram muito inferiores às demais no que diz respeito à integridade do material, apresentando vazamentos ou dissolução desde o 7º dia de experimento, onde 40% destas já haviam apresentado problemas, enquanto no mesmo período as embalagens ALG2CA5, ALG2CA10 e ALG2CA15 apresentaram, respectivamente, 20%, 13,3% e 26,7% de problemas.

Aos 15 dias, 80% das embalagens ALG2 apresentaram defeitos, seguido das embalagens: ALG2CA15 (40%), ALG2CA10 (33,3%) e ALG2CA5 (26,7%).

Com 30 dias de experimento, todas as embalagens de ALG2 apresentavam problemas de vazamento e/ou dissolução. As embalagens de ALG2CA15 permaneceram da mesma forma da etapa anterior (40%), não apresentando novos problemas. As embalagens ALG2CA5 também apresentaram defeitos em 40% do seu quantitativo. Enquanto as embalagens de ALG2CA10 se mantiveram com o menor percentual de defeitos (33,3%).

Aos 45 dias, 53,3% das embalagens ALG2CA15 apresentavam defeitos, seguidas das

embalagens ALG2CA5 (46,7%) e ALG2CA10 (40%).

Ao final do experimento, as embalagens ALG2CA5 ultrapassaram as de ALG2CA15 em porcentagem de embalagens com defeitos, apresentando estas, respectivamente, 66,7% e 60% de defeitos, enquanto as embalagens ALG2CA10 apresentaram 53,3%.

Percebeu-se que as embalagens que continham alguma porcentagem de cera de abelha em sua composição foram mais adequadas ao armazenamento de mel de abelha por mais tempo que aquelas somente de alginato de sódio, sendo a embalagem com 10% de cera de abelha, a que apresentou melhor potencial de armazenamento, mantendo o maior número de embalagens íntegras durante todo o armazenamento, comparadas às demais embalagens.

Do que foi possível pesquisar, até o momento, não há outro estudo em que foram desenvolvidas embalagens biopoliméricas para o mel de abelha, não sendo possível comparar analiticamente o comportamento destas embalagens com outras semelhantes.

As embalagens convencionais, especialmente àquelas de plástico e vidro, apresentam melhores propriedades de barreira que as propostas neste estudo, se mantendo íntegras por muito mais tempo. No entanto, os resultados deste trabalho lançam o desafio do aprimoramento das embalagens de biopolímeros, já que estas apresentam potencial de retardar o escurecimento do mel, manter os menores níveis de HMF, acidez, umidade e perda de massa. Além disso, apresenta a característica de ser biodegradável, o que contribui diretamente com as questões ambientais e de sustentabilidade, diminuindo a produção de descarte de mais embalagens plásticas.

6 CONCLUSÃO

Este estudo mostrou que a incorporação de cera de abelha na composição de filmes de alginato de sódio, foi capaz de reduzir em até 46,5% a TPVA e em até 33% a solubilidade, com a adição de 10% de cera. Os filmes de alginato com cera também se mostraram menos higroscópicos que os filmes de alginato usados como controle. Dessa forma, foi possível obter filmes com boas propriedades de barreira, devido à característica hidrofóbica da cera. No entanto, os filmes apresentaram fragilidades, especialmente nas propriedades mecânicas, pois houve diminuição da resistência à tração nos filmes com cera. A adição de cera também aumentou a opacidade dos filmes de alginato, especialmente nos filmes ALG2CA10 e ALG2CA15.

A perda de massa dos méis foi significativamente menor com embalagens de alginato contendo cera de abelha, em comparação às embalagens sem cera e ao controle, principalmente

as embalagens com 10% e 15% de cera. Quanto às características do mel (condutividade elétrica, umidade, sacarose aparente, HMF e acidez), as embalagens com cera demonstraram ser melhores que o controle e a embalagem de alginato sem cera. Sendo a embalagem ALG2CA10 aquela em que os níveis desses parâmetros foram melhores na maior parte das análises. Não houve diferença significativa com relação à cor do mel, AR e pH, quando comparado o controle às embalagens biodegradáveis.

Com a caracterização do mel a cada etapa, e a observação do comportamento das embalagens, foi possível identificar que aquelas que continham cera entregaram maior durabilidade e melhores propriedades de barreira, pois diminuíram a solubilidade em água, a PVA, absorção de água em diferentes UR%, além de manter as características físico-químicas dos méis mais íntegras. Sendo a embalagem com 10% de cera a que melhor se adequou, de forma geral, às características exigidas para o armazenamento do mel.

Dessa forma, constatou-se que as embalagens de cera, especialmente as com 10%, demonstram condições regulares de armazenamento do mel de abelha, em até 60 dias, e em temperatura ambiente, sabendo da possibilidade de perda de até 53% ao final do período citado, necessitando assim, de aprimoramentos que aumentem sua durabilidade.

Por fim, sugere-se que em estudos posteriores sejam realizadas análises microbiológicas do mel embalado, e análise do potencial antimicrobiano das embalagens, haja vista a cera de abelha apresentar propriedades já reconhecidamente antibacterianas e antifúngicas, e o alginato de sódio ser um excelente carreador de substâncias ativas. Sugere-se ainda que a cera seja emulsionada com substância comestível, para que estas embalagens possam ser consumidas juntamente com o mel, onde o consumidor poderá usufruir de todos esses benefícios. Para isso será importante também realizar análise sensorial para avaliar a aceitabilidade do consumidor final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULKHALIQ, A.; SWAILEH, K. M. Physico-chemical properties of multi-floral honey from the West Bank, Palestine. **International Journal of Food Properties**, v. 20, n. 2, p. 447-454, 2017.
- ADGABA, N.; AL-GHAMDI, A. A.; GETACHEW, A.; TADESSE, Y.; BELAY, A.; ANSARI, M. J.; RADLOFF, S. E.; SHARMA, D. Characterization of honeys by their botanical and geographical origins based on physico-chemical properties and chemo-metrics analysis. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 3, p. 1106–1117, 2017.
- AGUIRRE-LOREDO, R. Y; RODRIGUEZ-HERNANDEZ, A. I.; VELAZQUEZ, G. Modelling the effect of temperature on the water sorption isotherms of chitosan films. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 112-118, 2017.
- AKATU. Pesquisa Akatu 2018. **Panorama do Consumo consciente no Brasil: desafios, barreiras e motivações**. 2018. Disponível em: https://www.akatu.org.br/wp-content/uploads/2018/11/pdf_versao_final_apresenta%C3%A7%C3%A3o_pesquisa.pdf. Acesso em: 18 mai 2019
- AL-FARSI, M.; AL-BELUSHI, S.; AL-AMRI, A.; AL-HADHRAMI, A.; AL-RUSHEIDI, M.; AL-ALAWI, A. Quality evaluation of Omani honey. **Food Chemistry**, v. 262, p. 162-167, 2018.
- AL-GHAMDI, A.; MOHAMMED, S. E. A.; ANSARI, M. J.; ADGABA, N. Comparison of physicochemical properties and effects of heating regimes on stored *Apis mellifera* and *Apis florea* honey. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, p. 845-848, 2019.
- ALMEIDA, D. M.; PRESTES, R. A.; PINHEIRO, L. A. WOICIECHOWSKI, A. L.; WOSIACKI, G. Propriedades Físicas, Químicas e de Barreira em Filme Formados por Blenda de Celulose Bacteriana e Fécula de Batata. **Polímeros**, v. 23, n. 4, p. 538-546, 2013.
- ALVES, T. T. L.; SILVA, J. N.; MENESES, A. R. V.; HOLANDA NETO, J. P. Caracterização físico-química e avaliação sensorial dos méis produzidos por abelhas *Apis mellifera* L. oriundos de diversas floradas da região do Cariri cearense. **Revista Verde**, v. 6, n. 2, p. 169-175, 2011.
- AMARAL, F. G. **Desenvolvimento de filme comestível a base de fécula de açafrão (*Curcuma longa* L) e lipídios**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- ANTONINI, L. M.; MATOS, J. F.; KUNST, S. R.; FUHR, L. T.; SCHMIDT, A. R.; MALFATTI, C. F. Estudo do efeito da densidade de corrente no processo de obtenção de superfícies nanoestruturadas de titânio. **Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales**, v. 34, n. 1, p. 92-100, 2014.
- APRICENO, A.; GIRELLI, A. M.; SCUTO, F. R.; TAROLA, A. M. Determination of furanic compounds and acidity for Italian honey quality. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 33, n. 6, p. 411-419, 2018.

ASTM D882-91. **Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting.** Annual Book of Standards, 1996.

ASTM E96/E96M-12. **Standard test methods for water vapour transmission of materials.** Annual Book of Standards, 1993.

ATARÉS, L.; DE JESUS, C.; TALENS, P.; CHIRALT, A. Characterization of SPI-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. **Journal of Food Engineering**, v. 99, n. 3, p. 384-391, 2010.

AYDOGDU, A.; RADKE, C. J.; BEZCI, S.; KIRTIL, K. Characterization of curcumin incorporated guar gum/orange oil antimicrobial emulsion films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 148, p. 110-120, 2020.

AZIZ, M. S. A.; SALAMA, H. E.; SABAA, M. W. Biobased alginate/castor oil edible films for active food packaging. **LWT - Food Science and Technology**, v. 96, p. 455-460, 2018.

AZONWADE, F. E.; PARAÍSO, A.; DOSSA, C. P. A.; DOUGNON, V. T.; N'TCHA, C.; MOUSSE, W.; BABA-MOUSSA, L. Physicochemical Characteristics and Microbiological Quality of Honey Produced in Benin. **Journal of Food Quality**, v. 2018, p. 1-13, 2018.

BALTI, R.; MANSOUR, M. B.; SAYARI, N.; YACOUBI, L.; RABAOUI, L.; BRODUG, N.; MASSÉ, N. Development and characterization of bioactive edible films from spider crab (*Maja crispata*) chitosan incorporated with Spirulina extract. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 105, p. 1464-1472, 2017.

BANDEIRA, A. M. P.; GOMES, V. V.; VASCONCELOS, A. A.; TAUBE, P. S.; BARROS, E. C.; COSTA, S. C.; LIMA, A. K. O.; BOLIGON, A. A.; WACZUK, E. P.; ROCHA, J. B. T. Antioxidant activity and physicochemical characteristics of honeys from the eastern Amazon region, Brazil. **Acta Amazonica**, v. 48, n. 2, p. 158-167, 2018.

BELAY, A.; HAKI, G. D.; BIRNINGER, M.; BORCK, H.; LEE, Y-C.; KIM, K-T.; BAYE, K.; MELAKU, S. Enzyme activity, amino acid profiles and hydroxymethylfurfural content in Ethiopian monofloral honey. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, p. 2769-2778, 2017.

BERGAMO, G.; SERAGLIO, S. K. T.; GONZAGA, L. V.; FETT, R.; COSTA, A. C. O. Physicochemical characteristics of bracatinga honeydew honey and blossom honey produced in the state of Santa Catarina: An approach to honey differentiation. **Food Research International**, v. 116, p. 745-754, 2019.

BERTAN, L. C. **Desenvolvimento e caracterização de biofilmes ativos à base de polímeros de fontes renováveis e sua aplicação no acondicionamento de pães de forma.** 2008. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas-SP.

BRANDELERO, R. P. H.; ALMEIDA, F. M.; ALFARO, A. Microestrutura e propriedades de filmes de amido-álcool polivinílico-alginato adicionados de óleos essenciais de copaíba e capim limão. **Química nova**, v. 38, n. 7, p. 910-916, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 11, de 20 de outubro de 2000, Regulamento técnico de identidade e qualidade do mel. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, Seção 1, p. 19696-19697, 2000.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Guia para Comprovação da Segurança de Alimentos e Ingredientes**. ANVISA: Brasília, 2013.

BOUHLALI, E. D. T.; BAMMOU, M.; SELLAM, K.; MIDAOU, A. E.; BOURKHIS, B.; ENNASSIR, J.; ALEM, C.; FILALI-ZEGZOUTI, Y. Physicochemical properties of eleven monofloral honey samples produced in Morocco. **Arab Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 26, n. 1, p. 476-487, 2019.

CAMARGO, R. C. R.; OLIVEIRA, K. L.; BERTO, M. I. Mel de abelhas sem ferrão: proposta de regulamentação. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2016157, 2017.

CAMPAGNER, M. R.; MORIS, V. A. S.; PITOMBO, L. M.; CARMO, J. B.; PAIVA, J. M. F. Filmes poliméricos baseados em amido e lignossulfonatos: preparação, propriedades e avaliação da biodegradação. **Polímeros**, v. 24, n. 6, p. 740-751, 2014.

CARISSIMI, M.; FLÔRES, S. H.; RECH, R. Effect of microalgae addition on active biodegradable starch film. **Algal Research**, v. 32, p. 201-209, 2018.

CARNEIRO, J. G. M.; SOUZA, D. C.; MURATORI, M. C. S.; MOURA, S. G.; MELO, R. S.; SILVA, E. P.; RÊGO, J. G. S. Características físico-químicas de 132 amostras de mel de abelhas de microrregião de Simplício Mendes-PI. In: Congresso Brasileiro de Apicultura, 14., Campo Grande (MS), **Anais...** Campo Grande: [s.l.], p.76, 2002.

CAVIA, M. M.; FERNÁNDEZ-MUIÑO, M. A.; ALONSO-TORRE, S. R.; HUIDOBRO, J. F.; SANCHO, M. T. Evolution of acidity of honeys from continental climates: Influence of induced granulation. **Food Chemistry**, v. 100, n. 4, p. 1728-1733, 2007.

CHEN, C. Relationship between Water Activity and Moisture Content in Floral Honey. **Foods**, v. 8, n. 1, p. 30-48, 2019.

CIANCIOSI, D.; FORBES-HERNÁNDEZ, T. Y.; AFRIN, S.; GASPARRINI, M.; REBOREDO-RODRIGUEZ, P.; MANNA, P. P.; ZHANG, J.; LAMAS, L. B.; FLÓREZ, S. M.; TOYOS, P. A.; QUILES, J. L.; GIAMPIERI, F.; BATTINO, M. Phenolic Compounds in Honey and Their Associated Health Benefits: A Review. **Molecules**, v. 23, n. 9, p. 2322-2342, 2018.

CODEX ALIMENTARIUS. Revised Codex Standard for Honey, Standards and Standard Methods. **Codex Alimentarius Commission FAO/OMS**, v. 11, p. 7, 2001.

COMBARROS-FUERTES, P.; VALENCIA-BARRERA, R. M.; ESTEVINHO, L. M.; DIAS, L. G.; CASTRO, J. M.; TORNADIJO, M. E.; FRESNO, J. M. Spanish honeys with quality brand: a multivariate approach to physicochemical parameters, microbiological quality, and floral origin. **Journal of Apicultural Research**, v. 58, n. 1, p. 92-103, 2018.

COMBARROS-FUERTES, P.; FRESNO, J. M.; ESTEVINHO, M. M.; SOUSA-PIMENTA, M.; TORNADIJO, M. E.; ESTEVINHO, L. M. Honey: Another Alternative in the Fight against

Antibiotic-Resistant Bacteria? **Antibiotics**, v. 9, n. 11, p. 774-794, 2020.

CORREIO, E. S.; CORREIO, H. R.; CORREIO, S. K. A.; CORREIO, R. L. M. Estudo da vida útil de uvas minimamente processadas com cobertura à base de cera de abelha e alginato de sódio. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 12, n. 2, p. 2663-2682, 2018.

CUNHA, A. C. C. P.; MACHADO, A. V.; COSTA, R. O. Processamento, Conservação, Transporte e Comercialização do Mel no Brasil. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 4, n. 1, p. 24-29, 2014.

CZIPA, N.; PHILLIPS, C. J. C.; KOVÁCS, B. Composition of acacia honeys following processing, storage and adulteration. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, p. 1245-1255, 2019.

DAUGHERTY, C. G. Toxic honey and the march up-country. **Journal of Medical Biography**, v. 13, n. 2, p. 104-107, 2005.

DILKES-HOFFMAN, L. S.; LANE, J. L.; GRANT, T.; PRATT, S.; LANT, P. A.; LAYCOCK, B. Environmental impact of biodegradable food packaging when considering food waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 180, p. 325-334, 2018.

DONER, L. W. The sugars of honey—A review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 28, n. 5, p. 443-456, 1977.

DUMITRIU, R. P.; STOICA, I.; VASILESCU, D. S.; CAZACU, G.; VASILE, C. Alginate/Lignosulfonate Blends with Photoprotective and Antioxidant Properties for Active Packaging Applications. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 3, p. 1100-1112, 2018.

EL SOHAIMY, S. A.; MASRY, S. H. D.; SHEHATA, M. G. Physicochemical characteristics of honey from different origins. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 60, n. 2, p. 279-287, 2015.

FAKHOURI, F. M.; MARTELLI, S. M.; CAON, T.; VELASCO, J. I.; MEI, L. H. I. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 57-64, 2015.

FARIAS, M. G.; CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; ASCHERI, J. L. R. O efeito da permeabilidade ao vapor de água, atividade de água, molhabilidade e solubilidade em água em filmes de amido e polpa de acerola. **Embrapa agroindústria tropical**, p. 135-137, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/63903/1/2012-014.pdf>

FARRELL, P.; NELSON, K. Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). **Environmental Pollution**, v. 177, p. 1-3, 2013.

FDA. FOOD DRUG ADMINISTRATION. **Select Committee on GRAS Substances (SCOGS) Opinion: Beeswax (yellow or white)**. 1975. Disponível online: <http://wayback.archive-it.org/7993/20171031061654/https://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/SCOGS/ucm260869.htm>

FDA. **Code for Federal Regulations Title 21 Part 184**: Direct Food Substances Affirmed as Generally Recognized as Safe. 2018. Disponível em: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=184.1724>. Acesso: 20 mar 2019.

FECHNER, D. C.; MORESI, A. L.; DÍAZ, J. D. R.; PELLERANO, R. G.; VAZQUEZ, F. A. Multivariate classification of honeys from Corrientes (Argentina) according to geographical origin based on physicochemical properties. **Food Bioscience**, v. 15, p. 49-54, 2016.

FERNANDES, R. T.; ROSA, I. G.; CONTI-SILVA, A. C. Microbiological and physical-chemical characteristics of honeys from the bee *Melipona fasciculata* produced in two regions of Brazil. **Ciência Rural**, v. 48, n. 5, 2018.

FIGUEROA-GARCÍA, E. C.; GARCÍA-MACHADO, J. J.; YÁBAR, D. Modeling the Social Factors That Determine Sustainable Consumption Behavior in the Community of Madrid. **Sustainability**, v. 10, n. 8, p. 2811-2827, 2018.

FINCO, F. D. B. A.; MOURA, L. L.; SILVA, I. G. Propriedades físicas e químicas do mel de *Apis mellifera* L. **Food Science and Technology**, v. 30, n. 3, p. 706-712, 2010.

FONTES, L. C. B.; RAMOS, K. K.; SIVI, T. C.; QUEIROZ, F. P. C. Biodegradable edible films from renewable sources-potential for their application in fried foods. **American Journal of Food Technology**, v. 6, p. 555-567, 2011.

GOIS, G. C.; LIMA, C. A. B.; SILVA, L. T.; EVANGELISTA-RODRIGUES, A. Composição do mel de *Apis mellifera*: requisitos de qualidade. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 7, n. 2, p. 137-147, 2013.

GOUVEIA, J. P. G.; NASCIMENTO, J.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, M. M.; FARIAS, E. S.; SILVA, F. L. H. Modelos matemáticos para ajuste das isotermas de dessecção da polpa de banana da variedade prata. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 3, p. 799-806, 2004.

HABIB, H. M.; AL MEQBALI, F. T.; KAMAL, H.; SOUKA, U. D.; IBRAHIM, W. H. Physicochemical and biochemical properties of honeys from arid regions. **Food Chemistry**, v. 153, p. 35-43, 2014.

HALAL, S. L. M. E.; ZAVAREZE, E. R.; ROCHA, M.; PINTO, V. Z.; NUNES, M. R.; LUVIELMO, M. M.; PRENTICE, C. Films based on protein isolated from croaker (*Micropogonias furnieri*) and palm oil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 7, p. 2478-2485, 2016.

HROMIŠ, N. M.; LAZIĆ, V. L.; POPOVIĆ, S. Z.; ŠUPUT, D. Z.; BULUT, S. N. Antioxidative activity of chitosan and chitosan based biopolymer film. **Food & Feed Research**, v. 44, n. 2, p. 91-100, 2017.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf>.

Acesso em: 14 de mai 2019.

JAFARI, S. M.; KHANZADI, M.; MIRZAEI, H.; DEHNAD, D.; CHEGINI, F. K.; MAGHSOUDLOU, Y. Hydrophobicity, thermal and micro-structural properties of whey protein concentrate–pullulan–beeswax films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 80, p. 506-511, 2015.

JAHAN, N.; ISLAM, M.; ALAM, F.; GAN, S.; KHALIL, M. Prolonged heating of honey increases its antioxidant potential but decreases its antimicrobial activity. **African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines**, v. 12, n. 4, 134-144, 2015.

JANJARASSKUL, T.; TANANUWONG, K.; PHUPOKSAKUL, T.; THAIPHANIT, S. Fast dissolving, hermetically sealable, edible whey protein isolate-based films for instant food and/or dry ingredient pouches. **LWT**, v. 134, p. 110102, 2020.

JASICKA-MISIAK, I.; MAKOWICZ, E.; STANEK, N. Chromatographic fingerprint, antioxidant activity, and colour characteristic of polish goldenrod (*Solidago virgaurea L.*) honey and flower. **European Food Research and Technology**, v. 244, n. 7, p. 1169-1184, 2018.

JIMÉNEZ, M.; MATEO, J. J.; HUERTA, T.; MATEO, R. Influence of the storage conditions on some physicochemical and mycological parameters of honey. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 64, n. 1, p. 67-74, 1994.

JOSHI, Y.; RAHMAN, Z. Investigating the determinants of consumers' sustainable purchase behaviour. **Sustainable Production and Consumption**, v. 10, p. 110-120, 2017.

KADRI, S. M.; ZALUSKI, R.; ORSI, R. O. Nutritional and mineral contents of honey extracted by centrifugation and pressed processes. **Food Chemistry**, v. 218, p. 237-241, 2017.

KAKADELLISA, S.; HARRIS, Z. M. Don't scrap the waste: The need for broader system boundaries in bioplastic food packaging life-cycle assessment – A critical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 274, p. 122831-122844, 2020.

KARABAGIAS, I. K.; DIMITRIOU, E.; KONTAKOS, S.; KONTOMINAS, M. G. Phenolic profile, colour intensity, and radical scavenging activity of Greek unifloral honeys. **European Food Research and Technology**, v. 242, n. 8, p. 1201-1210, 2016.

KARABAGIAS, I.; MAIA, M.; KARABAGIAS, V.; GATZIAS, I.; BADEKA, A. Characterization of Eucalyptus, Chestnut and Heather Honeys from Portugal Using Multi-Parameter Analysis and Chemo-Calculus. **Foods**, v. 7, n. 12, 194-219, 2018.

KARABAGIAS, V. K.; KARABAGIAS, I. K.; GATZIAS, I. The impact of different heating temperatures on physicochemical, color attributes, and antioxidant activity parameters of Greek honeys. **Journal of Food Process Engineering**, v. 41, n. 3, 2018.

KAVANAGH, S.; GUNNOO, J.; PASSOS, T. M.; STOUT, J. C.; WHITE, B. Physicochemical properties and phenolic content of honey from different floral origins and from rural versus urban landscapes. **Food Chemistry**, v. 272, p. 66–75, 2019.

KĘDZIERSKA-MATYSEK, M.; FLOREK, M.; WOLANCIUK, A.; SKAŁECKI, P.; LITWIŃCZUK, A. Characterisation of viscosity, colour, 5-hydroxymethylfurfural content and diastase activity in raw rape honey (*Brassica napus*) at different temperatures. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 4, p. 2092-2098, 2016.

KĘDZIERSKA-MATYSEK, M.; WOLANCIUK, A.; FLOREK, M.; SKAŁECKI, P.; LITWIŃCZUK, A. Hydroxymethylfurfural content, diastase activity and colour of multifloral honeys in relation to origin and storage time. **Journal of Central European Agriculture**, v. 18, n. 3, p. 657-668, 2017.

KHAN, M. I.; KHAN, S.; HALEEM, A.; JAVAID, M. Prioritising Barriers towards Adoption of Sustainable Consumption and Production Practices using TOPSIS. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 404, 2018.

KIM, N.; SEO, E.; KIM, Y. Physical, mechanical, and water barrier properties of yuba films incorporated with various types of additives. **Journal of Food and Agriculture**, v. 99, n. 6, p. 2808-2817, 2019.

KIM, S-J.; USTUNOL, Z. Solubility and moisture sorption isotherms of whey-protein-based edible films as influenced by lipid and plasticizer incorporation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p. 4388-4391, 2001.

KOCAKULAK, S.; SUMNU, G.; SAHIN, S. Chickpea flour-based biofilms containing gallic acid to be used as active edible films. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, n. 26, p. 47704-47712, 2019.

KORKMAZ, S. D.; KÜPLÜLÜ, Ö. Effects of storage temperature on HMF and diastase activity of strained honeys. **Ankara Üniv Vet Fak Derg**, v. 64, p. 281-287, 2017.

KOWALCZYK, D.; GUSTAW, W.; ZIĘBA, E.; LISIECKI, S.; STADNIK, J.; BARANIAK, B. Microstructure and functional properties of sorbitol-plasticized pea protein isolate emulsion films: Effect of lipid type and concentration. **Food Hydrocolloids**, v. 60, p. 353-356, 2016.

KOWALSKI, S.; LUKASIEWICZ, M. Diastase and Invertase Activity Changes and 5-Hydroxymethyl-2-Furfural Formation in Honeys Under Influence of Microwave Irradiation. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 2, 2017.

KUMAR, A.; GILL, J. P. S.; BEDI, J. S.; MANAV, M.; ANSARI, M. J.; WALIA, G. S. Sensorial and physicochemical analysis of Indian honeys for assessment of quality and floral origins. **Food Research International**, v. 108, p. 571-583, 2018.

KUŚ, P. M.; CONGIU, F.; TEPER, D.; SROKA, Z.; JERKOVIĆ, I.; TUBEROSO, C. I. G. Antioxidant activity, color characteristics, total phenol content and general HPLC fingerprints of six Polish unifloral honey types. **LWT - Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 124-130, 2014.

LACERDA, J. J. J.; SANTOS, J. S.; SANTOS, S. A.; RODRIGUES, G. B.; SANTOS, M. L. P. Influência das características físico-químicas e composição elementar nas cores de méis produzidos por *Apis mellifera* no sudoeste da Bahia utilizando análise multivariada. **Quím. Nova**, v. 33, n. 5, p. 1022-1026, 2010.

- LEMOS, M. S.; VENTURIERI, G. C.; DANTAS FILHO, H. A.; DANTAS, K. G. F. Evaluation of the physicochemical parameters and inorganic constituents of honeys from the Amazon region. **Journal of Apicultural Research**, v. 57, n. 1, p. 135-144, 2017.
- LEON, A. M.; MEDINA, W. T.; PARK, D. J.; AGUILERA, J. M. Properties of microparticles from a whey protein isolate/alginate emulsion gel. **Food Science and Technology International**, v. 24, n. 5, p. 414-423, 2018.
- LIBERATO, M. C. T. C.; MORAIS, S. M. **Produtos apícolas do Ceará e suas origens florais: características físicas, químicas e funcionais**. Fortaleza: EdUECE, 2016.
- LIU, J.; ZHANG, Q.-H.; MA, F.; ZHANG, S. F.; ZHOU, Q.; HUANG, A.-M. Three-step identification of infrared spectra of similar tree species to *Pterocarpus santalinus* covered with beeswax. **Journal of Molecular Structure**, v. 1218, p. 128484-128493, 2020.
- LIU, S.; LI, H.; TANG, B.; BI, S.; LI, L. Scaling law and microstructure of alginate hydrogel. **Carbohydrate Polymers**, v. 135, p. 101-109, 2016.
- MA, W.; TANG, C.-H.; YIN, S.-W.; YANG, X.-Q.; WANG, Q.; LIU, F.; WEI, Z.-H. Characterization of gelatin-based edible films incorporated with olive oil. **Food Research International**, v. 49, n. 1, p. 572-579, 2012.
- MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.
- MARCHINI, L. C.; SODRÉ, G. S.; MORETI, A. C. C. **Mel Brasileiro: Composição e normas**. Ribeirão Preto: A. S. Pinto, 2004. 111p.
- MARTELLI, M. R.; BARROS, T. T.; MOURA, M. R.; MATTOSO, L. H. C.; ASSIS, O. B. G. Effect of chitosan nanoparticles and pectin content on mechanical properties and water vapor permeability of banana puree films. **Journal of Food Science**, v. 78, n. 2, p.N98–N104, 2013.
- MEDEIROS, D.; SOUZA, M. F. Contaminação do mel: a importância do controle de qualidade e de boas práticas apícolas. **Atas de ciências da saúde**, v. 3, n. 4, 2015.
- MEHDI, Y.; MUTLAQ, A.; AL-BALAS, Q.; AZZI, E.; BOUADJELA, L.; TAÏBI, N.; DAKICHE, H.; TOUATI, G.; BOUDRICHE, G.; BACHARI, K. Physicochemical characterization and determination of chloramphenicol residues and heavy metals in Algerian honeys. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 33, p. 33322-33333, 2018.
- MEIRELES, S.; CANÇADO, I. A. C. Mel: parâmetros de qualidade e suas implicações para a saúde. **SynThesis Revista Digital FAPAM**, v. 4, n. 4, p. 207-219, 2013.
- MELO, A. A. M.; ALMEIDA-MURADIAN, L. B.; SANCHO, M. T.; PASCUAL-MATÉ, A. Composition and properties of *Apis mellifera* honey: A review. **Journal of Apicultural Research**, v. 57, n. 1, p. 5-37, 2017.
- MELO, P. E. F.; SILVA, A. P. M.; MARQUES, F. P.; RIBEIRO, P. R. V.; SOUZA FILHO,

M. M.; BRITO, E. S.; LIMA, J. R.; AZEREDO, H. M. C. Antioxidant films from mango kernel components. **Food Hydrocolloids**, v. 95, p. 47-495, 2019.

MENDONÇA, N. F. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com cera de abelha – aproveitamento e valorização de subprodutos de apicultura. 2018. Monografia (Bachareado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná.

MENDONÇA, L. R. O.; ALCÂNTARA, O. A.; FURTADO, M. L.; LIBERATO, M. C. T. C. Caracterização dos méis de abelha *Apis mellifera* das floradas velame e marmeleiro da região de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Química, 59., 2019, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABQ, 2019. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2019/trabalhos/10/1249-27830.html>

MENEZES, B. A. D.; MATTIETTO, R. A.; LOURENÇO, L. F. H. Avaliação da qualidade de méis de abelhas africanizadas e sem ferrão nativas do Nordeste do estado do Pará. **Ciência Animal Brasileira**, v. 19, p. 1-13, 2018.

MENEGHEL, R. F. A.; BENASSI, M. T.; YAMASHITA, F. Revestimento comestível de alginato de sódio para frutos de amora-preta (*Rubus ulmifolius*). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 3, p. 609-618, 2008.

MOHAMMADHOSSEINI, H.; ALYOUSEF, R.; LIM, N. H. A. S.; TAHIR, M. M.; ALABDULJABBAR, H.; MOHAMED, A. M.; SAMADI, M. Waste metalized film food packaging as low cost and ecofriendly fibrous materials in the production of sustainable and green concrete composites. **Journal of Cleaner Production**, v. 258, p. 120726-120740, 2020.

MOLAVEISI, M.; BEIGBABAEI, A.; AKBARI, E.; NOGHABI, M. S.; MOHAMADI, M. Kinetics of temperature effect on antioxidant activity, phenolic compounds and color of Iranian jujube honey. **Heliyon**, v. 5, n. 1, 2019.

MORAES, J. O.; RESZKA, A.; LAURINDO, J. B. Espalhamento e secagem de filme de amido-glicerol-fibra preparado por "tape-casting". **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 2, p. 136-146, 2014.

MORRILON, V.; DEBEAUFORT, F.; BLOND, G.; CAPELLE, M.; VOILLEY, A. Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. **Food Science and Nutrition**, v. 42, n. 1, p. 67-89, 2002.

MÜNSTEDT, K.; MOMM, F.; HÜBNER, J. Honey in the management of side effects of radiotherapy- or radio/chemotherapy-induced oral mucositis. A systematic review. **Complementary Therapies in Clinical Practice**, v. 34, p. 145-152, 2019.

NAYIK, G. A.; NANDA, V. Application of Response Surface Methodology to Study the Combined Effect of Temperature, Time and pH on Antioxidant Activity of Cherry (*Prunus avium*) Honey. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 66, n. 4, p. 287-294, 2016.

NGUYEN, H.; PANYOYAI, N.; KASAPIS, S.; PANG, E.; MANTRI, N. Honey and Its Role in Relieving Multiple Facets of Atherosclerosis. **Nutrients**, v. 11, n. 1, p. 167-179, 2019.

NORAJIT, K.; KIM, K. M.; RYU, G. H. Comparative studies on the characterization and

antioxidant properties of biodegradable alginate films containing ginseng extract. **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 377-384, 2010.

NUNES, J.; MELO, P.; AOUADA, F.; MOURA, M. Influência da nanoemulsão de óleo essencial de limão em filmes à base de gelatina. **Química Nova**, v. 41, n. 9, p. 1006-1010, 2018.

OLIVEIRA, V. R. L.; SANTOS, F. K. G.; LEITE, R. H. L.; AROUCHA, E. M. M.; SILVA, K. N. O. Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. **Food Chemistry**, v. 259, p. 55-64, 2018.

OLIVEIRA FILHO, J. G.; RODRIGUES, J. M.; VALADARES, A. C. F.; ALMEIDA, A. B.; LIMA, T. M.; TAKEUCHI, K. P.; ALVES, C. C. F.; SOUSA, H. A. F.; SILVA, E. R.; DYSZY, F. H.; EGEA, M. B. Active food packaging: Alginate films with cottonseed protein hydrolysates. **Food Hydrocolloids**, v. 92, p. 267-275, 2019.

ORIANI, V. B.; MOLINA, G.; CHIUMARELLI, M.; PASTORE, G. M.; HUBINGER, M. D. Properties of Cassava Starch-Based Edible Coating Containing Essential Oils. **Food Engineering & Physical Properties**, v. 79, n. 2, p. 189-194, 2014.

OTA, M.; ISHIUCHI, K.; XU, X.; MINAMI, M.; NAGACHI, Y.; YAGI-UTSUMI, M.; TABUCHI, Y.; CAI, S. Q.; MAKINO, T. The Immunostimulatory Effects and Chemical Characteristics of Heated Honey. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 228, p. 11-17, 2019.

PACHECO, N.; NAAL-EK, M. G.; AYORA-TALAVERA, T.; SHIRAI, K.; ROMÁN-GUERRERO, A.; FABELA-MORÓN, M. F.; CUEVAS-BERNARDINO, J. C. Effect of biochemical chitosan and gallic acid into rheology and physicochemical properties of ternary edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 125, p. 149-158, 2019.

PAIVA, C. A.; TOMAZ, H. V. Q.; AROUCHA, E. M. M.; NUNES, G. H. S.; OLIVEIRA, A. J. F. Vida de prateleira do mel produzido por abelhas africanizadas. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 6, n. 2, p. 151-159, 2012.

PARREIDT, T.; MÜLLER, K.; SCHMID, M. Alginate-Based Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications. **Foods**, v. 7, n. 10, p. 170-208, 2018.

PASCUAL-MATÉ, A.; OSÉS, S. M.; FERNÁNDEZ-MUIÑO, M. A.; SANCHO, M. T. Methods of analysis of honey. **Journal of Apicultural Research**, v. 57, n. 1, p. 38-74, 2018.

PELLINI, G.; GOMIERO, A.; FORTIBUONI, T.; FERRÀ, C.; GRATI, F.; TASSETTI, A. N.; POLIDORI, P.; FABI, G.; SCARCELLA, G. Characterization of microplastic litter in the gastrointestinal tract of *Solea solea* from the Adriatic Sea. **Environmental Pollution**, v. 234, p. 943-952, 2018.

PEZENTE, L. G. **Características ambientais e a classificação do mel produzido em Roraima**. 2011. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Roraima, Boa Vista-RR.

PICANÇO, Y. S.; OLIVEIRA, S. S.; ALMEIDA, M.; OTANI, F. S.; PEREIRA, E. J.; SANTOS, G. C. Análise de atividade de água e umidade na qualidade do mel produzido em comunidades da reserva extrativista Tapajós - Arapiuns, Santarém, Pará. **Agroecossistemas**, v.

10, n. 2, p. 1-10, 2018.

POLICYINTERACTIVE. **New American dream poll 2014**. 2014. Disponível em: <https://www.policyinteractive.org/new-american-dream-poll-2014/>. Acesso em: 12 mai 2019.

PORTA, R.; SABBAH, M.; DI PIERRO, P. Biopolymers as Food Packaging Materials. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 14, p. 4942-4944, 2020.

PRUS-WALENDZIAK, W.; KOZLOWSKA, J. Design of Sodium Alginate/Gelatin-Based Emulsion Film Fused with Polylactide Microparticles Charged with Plant Extract. **Materials**, v. 14, n. 4, p. 745-771, 2021.

QAMER, S.; AHAMED, F.; ALI, S. S.; SHAKOORI, A. R. Effect of Storage on Various Honey Quality Parameters of *Apis dorsata* Honey from Nepal*. **Pakistan Journal of Zoology**, v. 45, n. 3, p. 741-747, 2013.

RAMACHANDRAIAH, K.; GNOC, N. T. B.; CHIN, K. B. Biosynthesis of Silver Nanoparticles from Persimmon Byproducts and Incorporation in Biodegradable Sodium Alginate Thin Film. **Food Engineering, Materials Science, & Nanotechnology**, v. 82, n. 10, p. 2329-2336, 2017.

RAMSAY, E. I.; RAO, S.; MADATHIL, L.; HEGDE, S. K.; BALIGA-RAO, M. P.; GEORGE, T.; BALIGA, M. S. Honey in oral health and care: a mini review. **Journal of Oral Biosciences**, v. 61, n. 1, p. 32-36, 2019.

REIS, A. B.; NOLETTO, A. P. R. Taxa de Permeabilidade ao Vapor D'água: Influência da concentração de solução de quitosana aplicada como revestimento em folhas de papel Kraft. **Voices dos Vales**, Ano IV, n. 8, 2015.

RIBEIRO, A. M.; ESTEVINHO, B. N.; ROCHA, F. Edible Films Prepared with Different Biopolymers, Containing Polyphenols Extracted from Elderberry (*Sambucus Nigra L.*), to Protect Food Products and to Improve Food Functionality. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, p. 1742-1754, 2020.

ROBERTS, J. A. Green consumers in the 1990s: profile and implications for advertising. **Journal of Business Research**, v. 36, n. 3, p. 217-231, 1996.

ROCCA-SMITH, J. R.; MARCUZZO, E.; KARBOWIAK, T.; CENTA, J.; GIACOMETTI, M.; SCAPIN, F.; VENIR, E.; SENSIDONI, A.; DEBEAUFORT, F. Effect of lipid incorporation on functional properties of wheat gluten based edible films. **Journal of Cereal Science**, v. 69, p. 275-282, 2016.

ROMMI, K.; RAHIKAINEN, J.; VARTIAINEN, J.; HOLOPAINEN, U.; LAHTINEN, P.; HONKAPÄÄ, K.; LANTTO, R. Potato peeling costreams as raw materials for biopolymer film preparation. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 133, n. 5, 2016.

RUIZ-MATUTE, A. I.; SANZ, M. L.; MARTÍNEZ-CASTRO, I. Use of gas chromatography-mass spectrometry for identification of a new disaccharide in honey. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, n. 3, p. 273-276, 2007.

SAKAČ, M. B.; JOVANOVIĆ, P. T.; MARIĆ, A. Z.; PEZO, L. L.; KEVREŠAN, Ž. S.; NOVAKOVIĆ, A. R.; NEDELJKOVIĆ, N. M. Physicochemical properties and mineral content of honey samples from Vojvodina (Republic of Serbia). **Food Chemistry**, v. 276, p. 15-21, 2019.

SANT'ANA, L. D. O.; FERREIRA, A. B. B.; LORENZON, M. C. A.; BERBARA, R. L. L.; CASTRO, R. N. Correlation of total phenolic and flavonoid contents of Brazilian honeys with colour and antioxidant capacity. **International Journal of Food Properties**, v. 17, n. 1, p. 65-76, 2014.

SARICAOĞLU, F. T.; TURHAN, S. Physical, Chemical, Thermal and Microstructural Characterization of Edible Films from Mechanically Deboned Chicken Meat Proteins. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 27, n. 5, p. 1071-1085, 2019.

SCHROEDER, P. Assessing effectiveness of governance approaches for sustainable consumption and production in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 63, p. 64-73, 2014.

SEBRAE. **A embalagem como ferramenta de marketing para pequenos negócios do setor de apicultura**. 2014. Disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/apicultura/files/2010/05/RI_Api_Agosto_Embalagens.pdf. Acesso em 31 mar. 2019.

SHAPLA, U. M.; SOLAYMAN, M.; ALAM, N.; KHALIL, M. I.; GAN, S. H. 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: effects on bees and human health. **Chemistry Central Journal**, v. 12, n. 1, 2018.

SILVA, M. A.; BIERHALZ, A. C. K.; KIECKBUSCH, T. G. Modelling natamycin release from alginate/chitosan active films. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 47, p. 740-746, 2012.

SILVA, M. A.; BIERHALZ, A. C. K.; KIECKBUSCH, T. G. Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca²⁺ ions: Effect of the plasticizer concentration. **Carbohydrate Polymers**, v. 77, p. 736-742, 2009.

SILVA, A. P. P. **Determinação de identidade e qualidade em méis comercializados na região de Ponta Grossa- PR**. 2016. Monografia (Graduação em Tecnologia de Alimentos). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa-PR.

SILVA, P. M.; GAUCHE, C.; GONZAGA, L. V.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Honey: Chemical composition, stability and authenticity. **Food Chemistry**, v. 196, p. 309-323, 2016.

SILVA, M. G. C.; FIGUEIRA, P. T.; HOSCHEID, J.; FUKUMOTO, N. Análise das propriedades físico-químicas de amostras de mel comercializado em feiras livres do município de Assis Chateaubriand, PR. **Higiene Alimentar**, v. 32, n. 278/279, p. 68-73, 2018.

SILVA, O. A.; PELLÁ, M. G.; PELLÁ, M. G.; CAETANO, J.; SIMÕES, M. R.; BITTENCOURT, P. R. S.; DRAGUNSKI, D. C. Synthesis and characterization of a low solubility edible film based on native cassava starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 128, p. 290-296, 2019.

SINGH, I.; SINGH, S. Honey moisture reduction and its quality. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 10, p. 3861-3871, 2018.

SOLAYMAN M. D.; ISLAM, A. M. D.; PAUL, S.; ALI, Y.; KHALIL, I. M. D.; ALAM, N.; GAN, S. H. Physicochemical Properties, Minerals, Trace Elements, and Heavy Metals in Honey of Different Origins: A Comprehensive Review. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 15, p. 219-233, 2016.

SOMERVILLE, M.; WILLIAMS, C. Sustainability education in early childhood: An updated review of research in the field. **Contemporary Issues in Early Childhood**, v. 16, n. 2, p. 102-117, 2015.

SRINIVASA, P. C.; RAMESH, M. N.; KUMAR, K. R.; THARANATHAN, R. N. Properties and sorption studies of chitosan–polyvinyl alcohol blend films. **Carbohydrate Polymers**, v. 53, n. 4, p. 431-438, 2003.

STEVENS, C. Linking sustainable consumption and production: The government role. **Natural Resources Forum**, v. 34, n. 1, p. 16-23, 2010.

STEVENSON, A.; BURKHARDT, J.; COCKELL, C. S.; CRAY, J. A.; DIJKSTERHUIS, J.; FOX-POWELL, M.; KEE, T. P.; KMINEK, G.; MCGENITY, T. J.; TIMMIS, K. N.; TIMSON, D. J.; VOYTEK, M. A.; WESTALL, F.; YAKIMOV, M. M.; HALLSWORTH, J. E. Multiplication of microbes below 0.690 water activity: implications for terrestrial and extraterrestrial life. **Environmental Microbiology**, v. 17, n. 2, p. 257-277, 2015.

SUBRAMANIAN, R.; HEBBAR, H. U.; RASTOGI, N. K. Processing of Honey: A Review. **International Journal of Food Properties**, v. 10, n. 1, p. 127-143, 2007.

SZULC, J.; MACHNOWSKI, W.; KOWALSKA, S.; JACHOWICZ, A.; RUMAN, T.; STEGLIŃSKA, A.; GUTAROWSKA, B. Beeswax-Modified Textiles: Method of Preparation and Assessment of Antimicrobial Properties. **Polymers**, v. 12, n. 2, p. 344-358, 2020.

TANADA-PALMU, P. S.; HELÉN, H.; HYVÖNEN, L. Preparation, properties and applications of wheat gluten edible films. **Agricultural and Food Science in Finland**, v. 9, p. 23-35, 2000.

TANG, S.; WANG, Z.; LI, P.; LI, W.; LI, C.; WANG, Y.; CHU, P. K. Degradable and Photocatalytic Antibacterial Au-TiO₂/Sodium Alginate Nanocomposite Films for Active Food Packaging. **Nanomaterials**, v. 8, n. 11, p. 930-940, 2018.

TANLEQUE-ALBERTO, F.; JUAN-BORRÁS, M.; ESCRICHE, I. Quality parameters, pollen and volatile profiles of honey from North and Central Mozambique. **Food Chemistry**, v. 277, p. 543-553, 2019.

TIKKANEN, A. **Beeswax**. Britannica Academic, Encyclopædia Britannica. 2010. Disponível em: <https://academic-eb-com.eres.qnl.qa/levels/collegiate/article/beeswax/14113>

TÔRRES, W. D. L.; AROUCHA, E. M. M.; MARTINS, J. C. P.; OLIVEIRA, F. D. A. D.; MARACAJA, P. B. Caracterização físico-química e sensorial de Amostras de mel de abelhas africanizadas (*Apis mellifera L.*) produzidas em quatro áreas do município de Apodi/RN.

Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 8, n. 4, p. 57-66, 2013.

TOSI, E. A.; RÉ, E.; LUCERO, H.; BULACIO, L. Effect of honey high-temperature short-time heating on parameters related to quality, crystallisation phenomena and fungal inhibition. **Lebensmittel-Wissenschaft Technologie**, v. 37, n. 6, p. 669-678, 2004.

ÜLKÜ, M. A.; HSUAN, J. Towards sustainable consumption and production: Competitive pricing of modular products for green consumers. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 4230-4242, 2017.

VALDÉS-SILVERIO, L. A.; ITURRALDE, G.; GARCÍA-TENESACA, M.; PAREDES-MORETA, J.; NARVÁEZ-NARVÁEZ, D. A.; ROJAS-CARRILLO, M.; TEJERA, E.; BELTRÁN-AYALA, P.; GIAMPIERI, F.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M. Physicochemical parameters, chemical composition, antioxidant capacity, microbial contamination and antimicrobial activity of Eucalyptus honey from the Andean region of Ecuador. **Journal of Apicultural Research**, v. 57, n. 3, p. 382-394, 2018.

VENTURINI, K. S.; SARCINELLI, M. F.; SILVA, L. C. **Características do Mel**. Boletim Técnico - PIE-UFES: 01107. Espírito Santo: UFES, 2007.

VIEIRA, A. C.; DELONZEK, E. C.; LÜDKE, M. V.; BREYER, D.; LORSCHIEDER, C. A. Caracterização físico-química de mel de diferentes floradas produzido por apicultores orgânicos da região centro-sul e sudeste no estado do Paraná. **Acta Iguazu**, v. 3, n. 3, p. 138-148, 2014.

VLAEVA, I.; NIKOLOVA, K.; BODUROV, I.; MARUDOVA, M.; TSANKOVA, D.; LEKOVA, S.; VIRANEVA, A.; YOVCHEVA, T. Using differential scanning calorimetry, laser refractometry, electrical conductivity and spectrophotometry for discrimination of different types of Bulgarian honey. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 794, n. 1, 2017.

WHITE JR., J. W.; RIETHOF, M. L.; SUBERS M. H.; KUSHNIR, I. Composition of American honeys. **US Department of Agriculture**, n. 1962, p. 1-124, 1962.

WU, H.; LEI, Y.; ZHU, R.; ZHAO, M.; LU, J.; XIAO, D.; JIAO, C.; ZHANG, Z.; SHEN, G.; LI, S. Preparation and characterization of bioactive edible packaging films based on pomelo peel flours incorporating tea polyphenol. **Food Hydrocolloids**, v. 90, p. 41-49, 2019.

YANG, M.; WANG, L.; XIA, Y. Ammonium persulphate induced synthesis of polymethyl methacrylate grafted sodium alginate composite films with high strength for food packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 124, p. 1238-1245, 2019.

YILMAZ, T.; MALDONADO, L.; TURASAN, H.; KOKINI, J. Thermodynamic mechanism of particulation of sodium alginate and chitosan polyelectrolyte complexes as a function of charge ratio and order of addition. **Journal of Food Engineering**, v. 254, p. 42-50, 2019.

ZHOU, X.-J.; CHEN, J.; SHI, Y.-P. Rapid and sensitive determination of polyphenols composition of unifloral honey samples with their antioxidant capacities. **Cogent Chemistry**, v. 1, n. 1, 2015.