

FILMES COMESTÍVEIS DE CELULOSE BACTERIANA COM ÁGAR E PROPILENOGLICOL

Jessyca Wanessa Soares Araújo Silva^{a*}, Thaís Santana de Almeida^a e Cynthia Gisele de Oliveira Coimbra^b

^a Discentes do curso de Bacharelado em Farmácia da Faculdade ASCES – Avenida Portugal, 1119 – Universitário, Caruaru – PE, 55016-400

^b Docente do curso de Bacharelado em Farmácia da Faculdade ASCES – Avenida Portugal, 1119 – Universitário, Caruaru – PE, 55016-400

*e-mail: jessyca_wanessa@hotmail.com

Resumo

Os filmes comestíveis são finas camadas que tem como intuito proteger os alimentos melhorando sua conservação. O objetivo deste trabalho foi desenvolver filmes comestíveis para aplicação em alimentos à base de celulose bacteriana adicionados de Agar e Propilenoglicol. Para a produção dos filmes foram realizado teste de solubilidade, intumescimento, transparência, espessura, solubilidade. Os filmes são blends destes polímeros, em diferentes concentrações. A associação da celulose bacteriana com outros polímeros pode ser um método efetivo para aumentar suas características e estrutura, proporcionando novas aplicações industriais. Em função de cada fruta proporcionar suas características próprias de amadurecimento, a aplicação de distintos tipos de revestimentos, bem com a concentração ideal, vem sendo muito pesquisada, a fim de ampliar o revestimento comestível mais adequada ao avanço da vida de prateleira do fruto.

Palavras-chave: Revestimento, Polímeros, Alimentos, Prateleira

Bacterial cellulose edible films with agar and propylene glycol

Abstract: Edible films are thin layers that has the intention to protect food improving their conservation. The objective of this study was to develop edible films for use in food to bacterial cellulose base added Agar and Propylene glycol. For the production of films were carried solubility test, swelling, transparency, thickness, solubility. The films are blends of these polymers in different concentrations. The association of bacterial cellulose with other polymers can be an effective method to increase their characteristics and structure, providing new industrial applications. Depending on the

individual fruit provide its own characteristics of maturity, the application of different types of coatings, as well as the ideal concentration, has been extensively researched in order to expand the edible coating most suitable to the advancement of the fruit shelf life.

Keywords: jacket, Polymers, Food, Shelf

INTRODUÇÃO

Muitos processos químicos e físicos têm sido criados para conservar a qualidade dos alimentos. Esse processo vem sendo elemento de uma progressiva evolução, buscando oferecer a população produtos de acordo com as normas específicas de segurança sanitária. (ARTIGO 3)

Filmes comestíveis são desenvolvidos para interagir favoravelmente com os alimentos. Há um grande empenho na ampliação das opções de biofilmes comestíveis ou degradáveis biologicamente, devido à demanda por alimentos de alta qualidade, questões ambientais e oportunidade para criar novos mercados de matérias-primas formadoras de filme. (ARTIGO 1)

Os filmes e coberturas, por favorecerem barreiras semipermeáveis, proporcionam à inibição ou redução à migração de umidade, oxigênio, dióxido de carbono, dentre outros. Por apresentar-se em contato com os alimentos, é desejável que os filmes comestíveis ofereçam características sensoriais neutras, de maneira a não alterar a qualidade dos produtos. (ARTIGO 2)

O primeiro documento sobre filmes e revestimentos comestíveis surgiu em torno de 1800. A partir de 1930, as ceras de abelha, parafina e de carnaúba e o óleo mineral de vegetal foram empregados na conservação de frutas. Emulsões de cera e óleo têm sido agregadas sobre frutas para melhorar a aparência, cor e brilho, conter o amadurecimento e desacelerar a perda de água. (ARTIGO 3)

O uso da celulose bacteriana tem ganhado espaço em diversos segmentos industriais. Ainda na área de alimentos, tem sido empregada como espessante em sorvetes e temperos para saladas e gelificante (gelatinas e mousses). Por ser rica em fibras, tem sido aproveitada especialmente na linha de alimentos e bebidas funcionais, que trazem benefícios à saúde.

Milhares de pessoas no mundo passam fome, entretanto, o desperdício de alimentos acontece desde sua produção até a cozinha, demonstrando a necessidade de se rever conceitos e atitudes em relação a esta situação. Os filmes invisíveis e comestíveis, poderiam reduzir o desperdício de alimentos no período que vai da pós colheita até o transporte e distribuição. O revestimento não dispensa, porém, a necessidade de proteção, como caixas, para evitar que os frutos se estraguem no transporte até o consumidor. Eles, contudo, prolongam vida do alimento (EMBRAPA).

A crescente preocupação ambiental, contudo, impulsiona o uso de materiais biodegradáveis e matérias-primas renováveis. Entre os diversos materiais pesquisados para a produção de filmes comestíveis e/ou biodegradáveis, o agar e o propilenoglicol, merecem destaque por serem largamente utilizados na indústria alimentícia. O propilenoglicol pode ser tanto usado como plastificante quanto como solvente, possuindo afinidade com compostos hidrofílicos e hidrofóbicos. (ARTIGO 4) Entre as suas principais propriedades do agar, destacam-se seu alto poder geleificante, elevada força de gel a baixas concentrações, baixa viscosidade em solução, alta transparência, gel termo-reversível e temperaturas de fusão/gelificação bem definidas.

Contudo, os filmes comestíveis têm evidenciado ser uma técnica eficaz de preservação de frutas para manter a aparência fresca, a firmeza e o brilho, aumentando, assim, o valor comercial. Com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre filmes comestíveis de celulose bacteriana com ágar e propilenoglicol, este trabalho discorrerá sobre os desenvolvimentos e os desafios que se encontram em suas aplicações, verificando a solubilidade, intumescimento, transparência, espessura das membranas em diversas concentrações dos aditivos.

PARTE EXPERIMENTAL

Métodos

Trata-se de um estudo experimental, cujas atividades foram desenvolvidas nos Laboratórios de Processos Biotecnológicos – Departamento de Antibióticos,

Universidade Federal de Pernambuco (LPB-UFPE), no de tecnologia de alimentos, no de produção de fitoterápicos, no de microbiologia de alimentos e no de tecnologia farmacêutica da Faculdade ASCES. Todos os experimentos e análises foram realizados em triplicata e os resultados foram tratados aplicando-se análise de Variância (ANOVA) e teste Turkey, com um nível de significância de 0,05.

Produção dos filmes

Para a produção dos filmes foi realizado um planejamento fatorial 2^2 , com composto central e pontos axiais, variando-se as concentrações de ágar e propilenoglicol (Tabela 1). Os filmes foram produzidos pelo método de coacervação simples (VILLADIEGO, 2005), mergulhando-se a membrana de celulose nas respectivas soluções, preparadas sob aquecimento para fusão e solubilização do Agar. Em seguida, as membranas embebidas foram postas em placas de Petri previamente limpas, secas e pesadas, levadas a estufa por 2 horas e logo após esse tempo, mantidas em dessecador até peso constante. Foi utilizada também uma membrana padrão, sem nenhum aditivo.

Tabela 1. Composição de Agar e propilenoglicol de acordo com o planejamento fatorial.

Experimento	Agar	Propilenoglicol	Agar (g/L)	Propilenoglicol (g/L)
1	+1	+1	12	0,8
2	-1	+1	4	0,8
3	+1	-1	12	0,2
4	-1	-1	4	0,2
5	+ α	0	13,64	0,5
6	- α	0	2,36	0,5
7	0	+ α	8	0,923
8	0	+ α	8	0,123
9	0	0	8	0,5
10	0	0	8	0,5
11	0	0	8	0,5

Todas as membranas foram para a estufa onde permaneceram 2 horas a 80°C. Após esse tempo foram transferidas para o dessecador onde permaneceram até peso constante. Quando chegaram ao peso constante foram divididas em 4 partes iguais e suas espessuras foram medidas e em seguida realizado as análises.

Avaliação da solubilidade dos filmes em água

A determinação da solubilidade dos filmes produzidos foi realizada pelo método proposto por GONTARD et al (1994) modificado: utilizaram-se recortes do filme com 2cm de lado, os quais foram secos a 80°C por 2h e depois levados para o dessecador até peso constante e pesados (m_0) em balança semi-analítica. Os recortes secos foram em seguida imersos em 50mL de água destilada e mantidos sob agitação periótica sob temperatura ambiente (~ 25°C) de 2 em 2 horas até completar 24 h. Após este período o peso-seco final das amostras (m_f) foi medido da mesma forma que o inicial e o material solubilizado (S) foi expresso em percentual, utilizando-se a fórmula abaixo⁸

$$S=(m_0 - m_f) \times 100 / m_0$$

Avaliação da espessura dos filmes

A espessura dos filmes foi medida utilizando-se um micrômetro mecânico de ponta esférica com precisão de 0 – 25 mm (0,01mm), de espessura . A membrana foi dividida em quatro partes iguais e em cada parte foram realizadas medições em quatro pontos aleatórios. A espessura foi determinada como sendo a média de quatro medidas aleatórias nas diferentes partes do filme.

Avaliação das propriedades de barreira à luz e transparência

A propriedade de barreira à luz foi medida utilizando-se o espectrofotômetro UV-VIS (Quimis Q798U2VS) realizando-se uma varredura em comprimentos de 1000 nm. A transparência foi calculada pela seguinte equação:

$$\text{Transp} = -\log T/x,$$

em que T é a transmitância (%) em cada comprimento de onda, x é a espessura do filme (mm). A medida foi repetida quatro vezes em cada pedaço em seguida retirado a média indicando a quantidade de luz que atravessou o filme.

Teste de intumescimento

A frascos Erlenmeyer de 50 mL secos e tarados adicionaram-se 25 ml de água destilada mantida sob refrigeração a 4°C. Os recortes 2 cm x 2 cm dos filmes foram submersos na água refrigerada, onde permaneceram até o final do experimento à temperatura de 4°C. O ganho de massa foi medido a cada duas horas após retirar delicadamente o excesso de água do filme com papel de filtro. As pesagens foram realizadas até peso constante. A taxa de intumescimento (TI) foi calculada pela seguinte equação:

$$TI = (M_u - M_s) / M_s \times 100,$$

em que M_u é a massa úmida do recorte da membrana e M_s é a massa seca da mesma.

Medida de permeabilidade dos filmes ao vapor d'água ($\text{g}\cdot\text{mm}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Kpa}^{-1}$)

A medida foi realizada gravimetricamente. Para isto, foi utilizados tubos previamente limpos, secos, pesados e cujos diâmetros internos eram conhecidos do tubo cone com 15 mm e da proveta com 25 mm. A este foi adicionada solução saturada de ZnSO_4 (RH 90%) e vedados com o filme a ser analisado. Após esse procedimento foi realizada a pesagem do conjunto. Em seguida os mesmos foram postos em dessecador contendo sílica gel (RH 0%). A permeabilidade ao vapor de água (WVP) foi calculada utilizando-se a seguinte equação (Mu et al, 2012):

$$WVP = W \cdot \delta / [t \cdot S \cdot (vp_1 - vp_2)]$$

Em que W é a quantidade de vapor de água que atravessou o filme após 48h (g), δ é a espessura do filme em milímetros, t indica o tempo em horas, S é a área de permeação do filme (m^2), vp_1 é a pressão de vapor de água pura (100%), e vp_2 é a pressão do vapor de água da sílica em gel (0%). Após 48 h no dessecador o conjunto foi pesado novamente para identificar a quantidade de sulfato de zinco que atravessou a membrana.

Avaliação da molhabilidade dos filmes

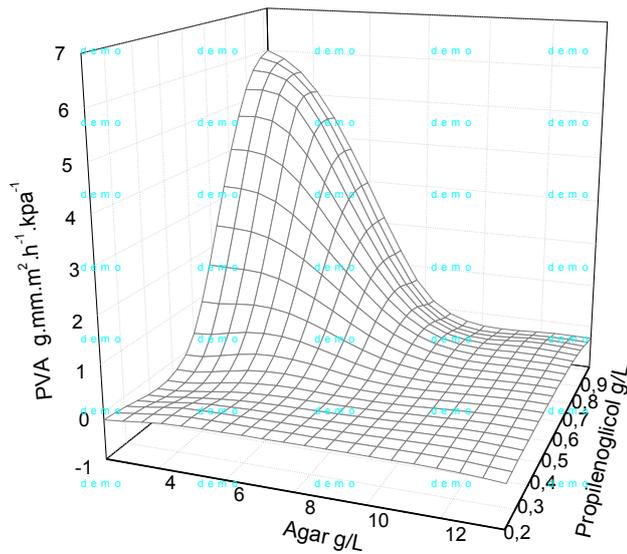
Foi determinada através do método de gota séssil. O teste foi realizado em todos os filmes produzidos adicionando-se uma gota d'água deionizada de 4 μ L. Em seguida a imagem da gota sobre o filme foi registrada para a medida do ângulo da gota, o qual seria determinado com o auxílio do software Image Tool.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade dos filmes produzidos foi influenciada pelas concentrações de propilenoglicol e de Agar como pode ser verificado na Figura 1.

Figura 1. Variação da permeabilidade ao vapor de água dos filmes produzidos com celulose, Agar e propilenoglicol.



Quando foram utilizadas concentrações de propilenoglicol inferiores a $0,45 \text{ g.L}^{-1}$, a mudança da concentração de Agar não influenciou a permeabilidade e quando foram utilizadas concentrações de Agar a partir de 9 g.L^{-1} , a mudança na concentração de propilenoglicol não influenciou a permeabilidade. A influência da concentração do propilenoglicol sobre a permeabilidade, porém, foi acentuada quando se utilizaram baixas concentrações de Agar, e a influência da concentração de Agar também pôde ser percebida quando associadas a concentrações elevadas de propilenoglicol. A influência condicional da mudança dos níveis de um fator sobre o nível utilizado do outro fator estudado caracteriza efeito de interação.

O aumento da concentração de Agar reduziu a permeabilidade, enquanto o contrário pôde ser observado com o aumento da concentração de propilenoglicol. O que ocorre é que como o agar é uma substancia altamente gelatinosa ela em altas concentrações faz com que a membrana crie uma barreira impedindo que o vapor de agua passe com facilidade. Diferente das membranas que receberam altas concentrações de propilenoglicol pois com ele é uma substancia hidrofílica vai fazer com que ocorra uma passagem maior de vapor de agua por entre a membrana por conta dessa afinidade do propilenoglicol com a agua.

A permeabilidade diminuiu quando se aumentou a concentração de ágar e diminuiu a concentração de propilenoglicol atingindo a menor PVA de $0,00028$, enquanto a maior PVA foi de $(6 \pm 0,003202) 5,4347$

Contudo foi analisado que quando se diminuía o ágar e aumentava a concentração de propilenoglicol a barreira de passagem do vapor de água se tornava menor e assim permitia que a permeabilidade ao vapor de água fosse melhor alcançada, o mesmo ocorria quando diminuía ambas as concentrações dos reagentes utilizados chegando também numa melhor permeabilidade ao vapor de água. Por que como a membrana vai estar com baixas concentrações de propilenoglicol e ágar vai ocorrer de apresentar uma maior facilidade para passagem de vapor de água.

foi visto que quando se aumentava a concentração de ágar e diminuía a concentração de propilenoglicol observou que a permeabilidade ao vapor de água era bastante baixa como se a passagem do vapor de água fosse impedido por alguma barreira impossibilitando que o vapor passasse por entre a membrana .

Santos em 2012 realizou experimentos no qual ele utilizava monocristais de celulose juntamente com glicerol onde foi observado que as membranas que não apresentava monocristais de celulose não alcançaram valores elevados de permeabilidade ao vapor de água o contrário ocorreu com as membranas que recebiam glicerol onde foi visto que a permeabilidade ao vapor de água foi bastante elevada isso se deu por conta das características químicas presentes no glicerol.

Almeida em 2013 utilizou como aditivo para interagir com a membrana a fécula de batata e a celulose bacteriana onde foi observado que a permeabilidade ao vapor de água foi melhorando quando ele aumentava o celulose bacteriana observado um aumento progressivo da PVA

O que ocorre para se ter uma boa permeabilidade ao vapor de água vai depender bastante das características dos aditivos que são utilizados na membrana, no caso do Ágar e do propilenoglicol que foram os reagentes adicionados à membrana foi analisado que a PVA foi melhorando quando se diminuía a concentração de Ágar. Mais quando se diminuía as concentrações de ambos os aditivos eram obtidos valores elevados de PVA, já em outros experimentos foi visto que quanto mais se aumentava a concentração de propilenoglicol melhor se tornava a permeabilidade da membrana que recebia o aditivo

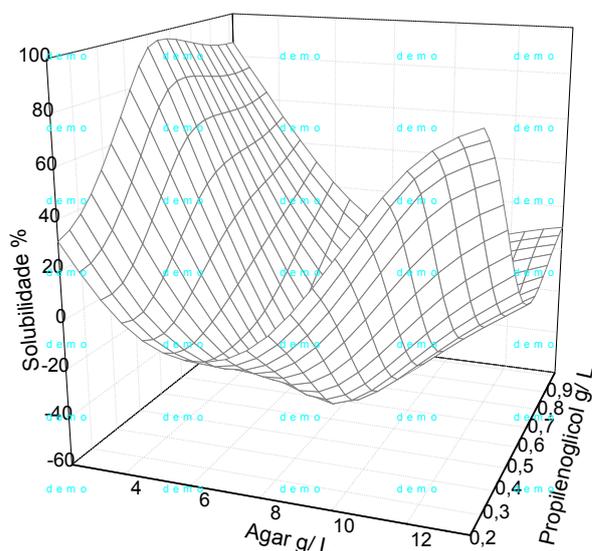
O que foi analisado é que quando o aditivo apresentava característica hidrofílica essa característica refletia na permeabilidade ao vapor de água da membrana. O que ocorre é que os aditivos eles vão mudar certas características das membranas como ocorreu na PVA fazendo com que a membrana ela apresente uma alta capacidade de interagir com a água e assim bastante permeável ao vapor de água

Nos artigos analisados observou-se que a maioria dos reagentes utilizados apresentaram características hidrofílicas onde tais resultados refletiram numa boa permeabilidade ao vapor de água. Pois à partir do momento que o aditivo apresenta características hidrofílicas a sua permeabilidade ao vapor de água é mais elevada que os aditivos que não apresentam essa característica.

Solubilidade

A solubilidade dos filmes produzidos foi influenciada pelas concentrações de propilenoglicol e de Agar como pode ser verificado na Figura 2.

Figura 2 . Variação da solubilidade dos filmes produzidos com celulose, Agar e propilenoglicol.



Quando foram utilizadas concentrações de Agar superiores a $8,5\text{g.L}^{-1}$. E concentrações de propilenoglicol inferiores a $0,6\text{g.L}^{-1}$ não apresentava influencia na solubilidade da membrana diferente se utilizasse Agar em concentrações inferiores a 4g.L^{-1} e Propilenoglicol em concentrações superiores a $0,8\text{g.L}^{-1}$ fazendo com que a solubilidade da membrana se torna-se maior .A influência da concentração de propilenoglicol pode ser percebida em concentrações elevadas do mesmo juntamente com a baixas concentrações do agar mostrando assim que ocorreu efeitos de interação entre as concentrações dos aditivos utilizadas na solubilidade

O aumento da concentração de Propilenoglicol aumentou a solubilidade, enquanto o contrario ocorria quando se aumentava a concentração de Agar. O que ocorreu é que como o propilenoglicol é um ótimo agente solubilizante ele influenciou nas

características das membranas que recebiam altas concentrações de Propilenoglicol fazendo com que a membrana se torna-se bastante solúvel. O Agar ele não é um ótimo agente solubilizante sua solubilidade ela vai variar de acordo com a temperatura da água e isso influencia na solubilidade da membrana

Almeida em 2013 elaborou filmes com celulose bacteriana e fécula de batata onde foi observado que nos filmes que não receberam celulose bacteriana foram encontrados os melhores valores de solubilidade com respectivos valores de 86,2% e 80,2%, o bom valor de solubilidade foi alcançada por meio da estrutura química presente nos aditivos utilizados, já quando Almeida atribuiu-o em seus filmes celulose bacteriana e fécula de batata foi observado que a solubilidade caiu para 56% essa sendo uma baixa solubilidade por conta das características químicas dos reagentes utilizados principalmente da celulose bacteriana.

Nos testes que foram realizados como o ágar e como propilenoglicol foi observado que dependendo das concentrações utilizadas tanto do ágar como o propilenoglicol a solubilidade vai variando.

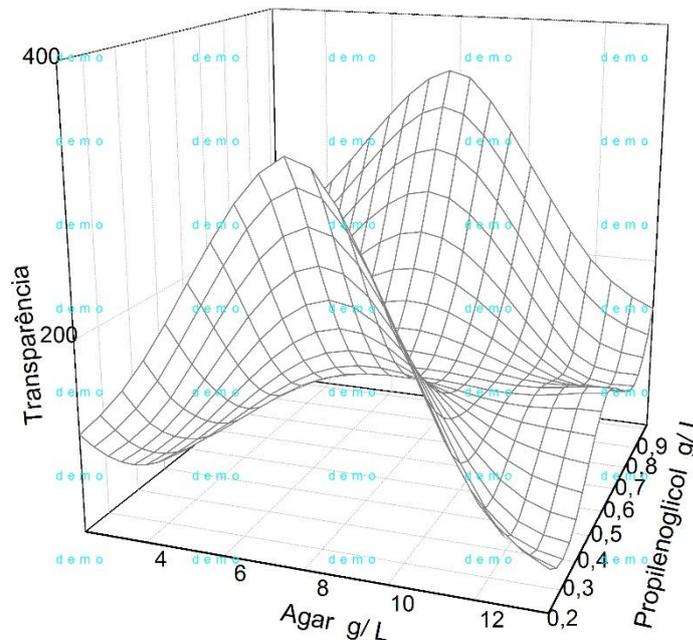
A solubilidade dos filmes que são produzidos eles estão diretamente relacionados com os componentes que são adicionados a ele características essas que podem ser tanto estruturais como químicas, é muito importante observar a quantidade de água presente no filme como também do alimento que vão ser revertido pois a água que vai estar presente pode interferir nas propriedades mecânicas gerando uma instabilidade no filme produzido.)

No geral a solubilidade ela vai variando bastante pois tanto quando se aumentava a concentração o propilenoglicol ou diminuía a concentração do ágar a solubilidade ela vai se moldando de acordo com a concentração de cada reagente usado.

Transparência

A Transparência dos filmes produzidos foi influenciada pelas concentrações de propilenoglicol e de Agar como pode ser verificado na Figura 3.

Figura 3 . Variação da Transparência dos filmes produzidos com celulose, Agar e propilenoglicol.



Quando se utilizou concentrações de propilenoglicol inferiores a $0,4\text{g.L}^{-1}$ e concentrações de Agar superiores a 11g.L^{-1} foi observado uma opacidade elevada o contrário ocorreu em concentrações superiores a $0,8\text{g.L}^{-1}$ e concentrações de Agar inferiores a 8g.L^{-1} fazendo com que o filme apresente uma opacidade baixa. A influência da concentração do propilenoglicol sobre a opacidade da membrana foi acentuada quando se utilizava baixas concentrações de agar. A influência condicional da mudança dos níveis de um fator sobre o nível utilizado do outro fator estudado foi caracterizada efeito de interação.

As características dos aditivos influenciaram bastante nos resultados foi observado que quanto mais se aumentava a concentração de propilenoglicol mais baixa era a opacidade da membrana o contrário ocorria quando se aumentava a concentração de Agar. O Agar como é um agente gelificante bastante forte ele criava uma barreira espessa envolta da membrana fazendo com que em elevadas concentrações da Agar a

opacidade fosse bastante elevada já em elevadas concentrações de propilenoglicol o inverso ocorria pois como o propilenoglicol é bastante solúvel ele apresentava uma ótima interação com a membrana e com isso a membrana apresentava uma opacidade baixa

Quanto maior for o valor obtido de transparência seguindo a fórmula que foi utilizada maior vai ser a opacidade da membrana já se o valor for menor ele vai apresentar uma maior transparência

Almeida em 2013 verificou em seu estudo que a opacidade da membrana padrão de celulose, sem aditivos, era mais elevada do que a das que receberam a fécula de batata. Almeida observou que a celulose bacteriana demonstrou ser fator de contribuição para opacidade elevada dos filmes. Por que como a celulose bacteriana apresenta na sua estrutura fitas ultrafinas com comprimentos que variam de 1 a 9 mm e, formam uma densa estrutura reticulada que é estabilizada por extensas pontes de hidrogênio e com isso faz com que a opacidade seja mais elevada que as que não receberam celulose bacteriana.

Almeida também analisou em seu artigo que utilizando como reagentes a fécula de batata juntamente com a celulose bacteriana ele observou que os filmes que receberam 62,5% de fécula de batata e 25% de celulose bacteriana como também os que receberam 75% de fécula de batata e 12,5% de celulose os filmes apresentaram uma opacidade elevada essa opacidade na qual foi observada por Almeida pode ter sido atribuída pelas características tanto morfológicas como químicas dos reagentes no qual foram utilizados.

O agente gelificante que Almeida utilizou foi a fécula de batata onde o mesmo atribui a presença da opacidade que foi observada, a fécula de batata isso ocorreu pois vai ter uma perda na estrutura e cristalinidade dos grãos de amido fazendo assim com que a membrana se torna mais opaca.

Já em 2014 Onofre ele utilizou na produção dos filmes como agente gelificante o ágar juntamente com outro reagente que foi o glicerol em seus estudos ele observou que o ágar não irá atribuir coloração nos polímeros como também junto com o glicerol vai tornar a membrana mais flexível e não irá apresentar rachaduras e vai ser bastante homogêneo sua estrutura. Diferente de outros agentes que foram utilizados em sua pesquisa

Nos nossos experimentos que foram realizados com o Agar e o propilenoglicol também foi observado uma transparência boa nas membranas que receberam essas reagentes como observado por Onofre que também utilizou o ágar nos seus estudos.

A boa transparência obtida pelos polímeros pode ser atribuída pelos reagentes que foram adicionados sendo um deles o Agar que em baixas concentrações não vai mudar a opacidade da membrana além disso como o agar é bastante utilizado para revestir alimento por que ele não atribui coloração nos alimentos, o propilenoglicol que também foi utilizado ele é facilmente dissolvido além de não atribuir coloração ao material que ele está sendo incluído.

Juntos o propilenoglicol e o ágar não vão gerar nem uma alteração química na estrutura do polímero pois como foi observado nos resultados de transparência não vai ocorrer alteração na estrutura da membrana a ponto de deixar essa membrana com opacidade elevada. Fator esse que é muito importante para uma boa membrana de revestimento de alimentos. Pois para se revestir alimentos os revestimentos eles devem ser as mais transparentes possíveis para não ocorrer nem uma alteração visual no alimento.

MEMBRANA PADRÃO

A membrana padrão vai ser a que não irar receber nem um aditivo onde a mesma vai ser exposta aos mesmos testes das outras membranas que receberam aditivos ela apresentou uma opacidade elevada de 98.0 que ocorreu é que como a membrana padrão só apresentava celulose bacteriana e não recebeu nem um aditivo esse fator deve ter influenciado a opacidade da membrana. Os cálculos que foram realizados se compararmos com as membranas que receberam reagentes vai ser observado que as membranas com reagentes tiveram uma opacidade mais baixa que a membrana padrão. As membranas de celulose padrão analisadas por Almeida em 2013 apresentaram opacidade mais elevada do que as utilizadas neste trabalho. Almeida além de utilizar membrana padrão do com celulose bacteriana pura ele utilizou membranas com composições de 62,5% de fécula de batata e 25% de celulose bacteriana e, 75% de fécula de batata e 12,5% celulose bacteriana e em ambos os experimentos a opacidade foi elevada

Tais valores que foram obtidos através da realização dos testes com a membrana pura podem estar diretamente relacionados à falta dos aditivos que não foram colocados na membrana teste. O que ocorreu foi que nos experimentos que receberam os aditivos foi visto que o aditivo melhorava a qualidade da membrana como foi observado nos testes de solubilidade, intumescimento, transparência como também nos demais testes que foram realizados.

ESPESSURA

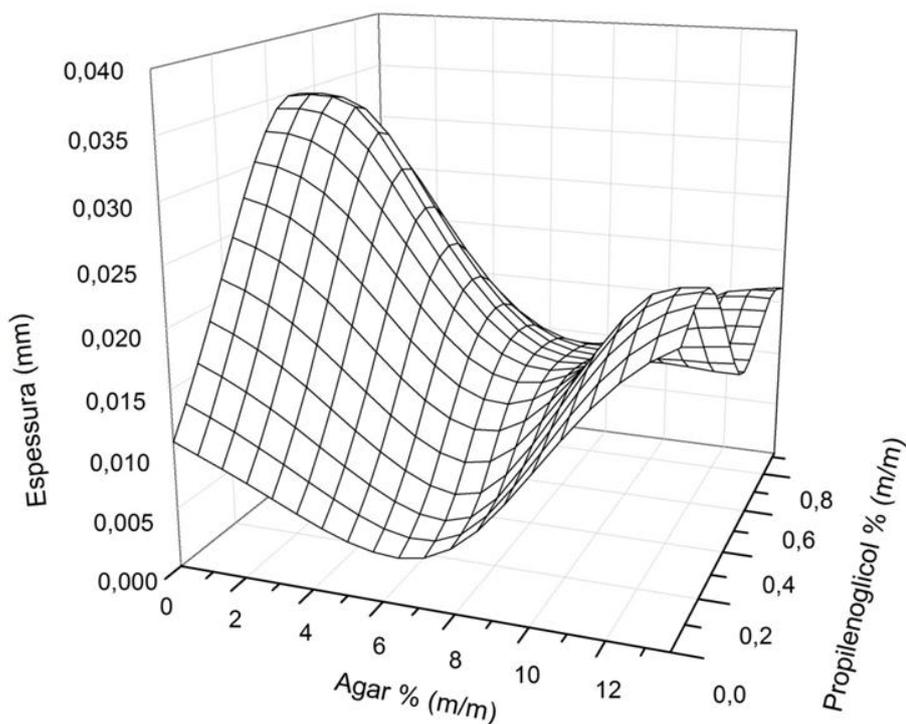
Um dos parâmetros que influencia as propriedades dos filmes é a espessura. Este é importante para avaliar a homogeneidade, definir a uniformidade dos materiais e para a repetibilidade das medidas das propriedades dos filmes. Foram notadas alterações significativas $p \leq 0,05$ nos valores de espessura e intumescimento entre os tratamentos, confirmados pelo teste de Tukey.

Os efeitos da variação das concentrações de ambos os aditivos na espessura dos filmes foi significativo de acordo com os resultados obtidos pelo SPSS. O aumento da concentração de agar provocou um aumento na espessura dos filmes.

A espessura refere-se à distância entre as duas superfícies principais do material. Quanto maiores as espessuras, mais resistentes à perfuração são os filmes e maior a sua permeabilidade ao vapor de água. O efeito da espessura sobre a permeabilidade ao vapor de água de filmes hidrofílicos foi observado por muitos autores que mostraram a ocorrência de filmes com diferentes capacidades de se ligar à água e, conseqüentemente, com distintas permeabilidades, sendo desenvolvidos a diversas espessuras. (ARTIGO 5)

A espessura dos filmes produzidos foi influenciada pelas concentrações de propilenoglicol e de Agar como pode ser verificado na Figura 1.

Figura 1. Variação da permeabilidade ao vapor de água dos filmes produzidos com celulose, Agar e Propilenoglicol.



Conhecendo-se a espessura é possível obter informações sobre a resistência mecânica e as propriedades de barreira ao vapor de água do material (ARTIGO 5), uma vez que é um parâmetro que interfere nestas propriedades. O controle da espessura dos filmes é importante para se avaliar a uniformidade desses materiais. Mudanças na espessura de um material ocasionam flutuações no seu desempenho mecânico e nas propriedades das barreiras.

A espessura dos filmes produzidos pelo processo de casting, em que os mesmos são secos em suportes, eram filmes não homogêneos de espessuras diferentes. A Tabela 1 mostra que os filmes biodegradáveis elaborados com agar e propilenoglicol possuem diferentes espessuras com distintas concentrações do aditivos. As composições 6 e 11 com 17,48% de agar mais 82,52% de propilenoglicol e 94,11% de agar e 5,89% de propilenoglicol, respectivamente apresentaram os valores mais significativos. Ressaltando que o agar tem propriedades como baixa viscosidade, elevada transparência. De maneira geral, os biofilmes mais resistentes são menos flexíveis, isto é, apresentam menor deformação na ruptura.

Ela é bastante fina levando em conta que a espessura de cada filme varia dependendo de como foi produzida e das características que a celulose pode apresenta, mas também pode ocorrer de quando ela recebe algum tipo de reagente como o agar a sua espessura também pode aumentar mesmo sendo pouco.

Tabela 1 – Espessura: Desvio padrão e peso médio das análises para todos os experimentos.

EXPERIMENTO	Peso médio (mg)	Desvio Padrão do peso
1	0,017	0,005
2	0,012	0,000
3	0,025	9,655
4	0,014	5,153
5	0,012	0,007
6	0,035	7,216
7	0,005	0,000
8	0,005	3,535
9	0,004	0
10	0,007	0,005
11	0,030	0,005

Tanto a diferença de cor, opacidade dos filmes diminuíram com o aumento da concentração de agar, provavelmente pelo efeito de diluição provocado pelo agar, que é um produto incolor e transparente. Quanto maior a concentração do propilenoglicol e agar, maior a espessura do filme, resultante da característica higroscópio dos compostos.

INTUMESCIMENTO

A análise de intumescimento mostrou que os filmes inicialmente absorvem líquido, com posterior perda de massa. A elevada taxa de absorção de água traz consequências indesejáveis. Esse fato faz com que ocorra diminuição da estabilidade estrutural do polímero (ARTIGO 3). O uso dos aditivos possibilitou uma alta da taxa de intumescimento dos filmes,

Diante dos experimentos realizados observou-se curvas da variação do grau de intumescimento de algumas formulações. É possível ressaltar que os filmes apresentam valores de intumescimentos próximos entre si.

As propriedades de intumescimento são principalmente afetadas pela composição, pela hidrofobicidade e também pelo grau de reticulação química e física da cadeia polimérica. Os filmes mantiveram a sua integridade na presença dos aditivos. Todas as amostras absorveram uma quantidade de água muito maior que sua massa seca.

O equilíbrio de intumescimento muda significativamente de acordo com a composição da amostra. Os ensaios mostram que a habilidade de absorver água dos filmes decresce com o aumento do conteúdo de propilenoglicol.

A dependência da composição sobre o comportamento de intumescimento pode ter sido causada principalmente pela capacidade de intumescimento dos componentes poliméricos individualmente. O aditivo agar é insolúvel em água fria porém expande-se consideravelmente e absorve uma quantidade de água de cerca de até vinte vezes o seu próprio peso. Já o propilenoglicol é um líquido higroscópico e miscível. Essas características evidenciam o potencial do resultado final do produto obtido em aumentar o filme comestível.

Os mecanismos de intumescimento de polímeros são dependentes da difusão do solvente penetrante e da estabilidade polimérica. O grau deste intumescimento depende da interação polímero-solvente e do grau de reticulação do polímero. Ao se analisar os valores de intumescimento, observou-se que houve diferenças significativas no decorrer das pesagens.

CONCLUSÃO

Os filmes comestíveis produzidos a partir de biopolímeros apresentam numerosas vantagens, dentre elas a de serem biodegradáveis. Eles compõem parte importante do cenário de pesquisa nacional e internacional, com trabalhos importantes quanto à produção, caracterização e aplicação destes materiais.

Os benefícios e aplicações de filmes em alimentos são evidentes. Mantem ou melhoraram a qualidade dos alimentos, estabilidade ou segurança dos alimentos. Contudo, apresentam algumas desvantagens, como reações alérgicas e intolerância a seus componentes.

Recentemente, pesquisas têm-se desenvolvido estudos nesse campo, devido a fatores como demanda por alimentos de alta qualidade pelo consumidor, indústrias de alimentos que precisam de novas técnicas de estocagem com o objetivo de conservar os alimentos proporcionando a população produtos de qualidade por mais tempo na prateleira.

A concentração ideal na formulação do filme, requeridas para determinadas propriedades, depende do uso específico e da técnica de aplicação. Com as características apresentadas neste trabalho, pode potencialmente estimular vários campos de aplicação como na indústria alimentícia, indústria farmacêutica. Contudo, é essencial avaliar cada vez mais as propriedades funcionais dos filmes em relação não apenas ao alimento, mas também aos diversos fatores ambientais a que estarão expostos, o que recomenda a precisão de novas pesquisas sobre aspectos básicos e aplicados destes compostos.

REFERÊNCIAS

1. VILLADIEGO, A.M.D; Filmes e revestimentos comestíveis na conservação de produtos alimentícios. *Revista CERES* 2005, 52, 221.
2. FAKHOURI, F.M; FONTES, L.C.B; GONÇALVES, P.V.M; MILANEZ, C.R; STEEL,C.J; QUEIROZ, F.P; Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. *Biofilmes e coberturas de amido e gelatina. Ciênc. Tecnol. Aliment* 2007, 27, 369.
3. KROCHTA, J. M.; MULDER-JOHNSTON, C; Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technol* 1997, 51,61.
4. USP; Novos nanobiossensores vão analisar presença de OGM's em alimentos e produtos biotecnológicos. *Revista Analytica* 2005, 75, 8. 5. <http://www.revista-fi.com/materias/146.pdf>, acessada em Maio, 2015.
6. GONTARD, N.; DUCHEZ, C.; CUQ, J.L.; GUILBERT, S; Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapor permeability and other physical properties. *International Journal of Food Science and Technology* 1994, 29, 39.
7. Mu, C.; Guo, J.; Lib, X.; Lin, W.; Li, D; Preparation and properties of dialdehyde carboxymethyl cellulose crosslinked gelatin edible films. *Food Hydrocolloids* 2012, 27,22.
8. ALMEIDA, D. M; WAICICCHAWSKI, A. L; WASIACKI, G; Propriedades físicas, químicas e de barreira em filme formadas por blinda de celulose bacteriana e fécula de batata. *Polimero* 2013, 23, 538.
9. HENRIQUE, C. M; CEREDA, M. P; SARMENTO , S. B. S; Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amido modificado de mandioca. *Ciência e tecnologia de alimento* 2008, 28, 231.
10. MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E.; YAMASHITA, F; Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. *Semina: Ciências Agrárias* 2010, 31, 137.
11. SOUZA, S. M. S. de; SOBRAL, P. J. A.; MENEGALLI, F. C; Propriedades físicas de filmes comestíveis a base de proteínas miofibrilares de carne bovina. *Semina: Ciências Agrárias* 2012, 33, 283.
12. GOMES, D; As grandes gomas . *Food ingredientes brasil* 2011, 17, 25.
13. SANTOS, T. M; Influencia de nano cristais de celulose sobre as propriedades de filmes de gelatina de resíduos de tulipa. *Dissertação Mestrado, Universidade Federal do Ceara, Brasil* 2012.
14. RIBEIRO, V. G; PASQUAL, M; RAMOS, J. D; CARVALHO, G. R; JUNIOR, A. F.O; Influencia do agar e do pH sobre a cultura in vivo de embriões de laranja "natal". *Revista Ceres* 1999, 46, 587.

15. ONOFRE, N. A; Desenvolvimento e caracterização de filmes poliméricos a partir de ágar, agarose e Zeferina com incorporação de Nano partículas de prata. Dissertação Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil 2014.
16. SOUZA, G. M; Desenvolvimento de filmes biodegradáveis ativos e aplicação na conservação de massa alimentícia fresca. Dissertação Pós-graduação, Universidade Federal de Goiás, 2012.
17. ASSIS, O.B.G; Alteração do caráter hidrofílico de filmes de quitosana por tratamento de plasma de HMDS. Quim. Nova 2010, 33, 603.
18. FERNANDES, L.L; Produção e caracterização de membranas de quitosina e quitosina com sulfato de condroitina para aplicações biomédicas. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2009.
19. MOTA, R. D. P; Elaboração e caracterização de filmes biodegradáveis através de blenda polimérica de amido de lírio-do-brejo(*Hedychium coro narum*) e de amido de fruto-do-lobo(*Solanum lycarpum* st hill). Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Goiás, Brasil , 2009.
20. BOLETIM TECNICO; Propilenglicol , Grande Química 2014, 1, 01.