

NANOCOMPÓSITO DE POLPA DE MAMÃO E NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANA PARA APLICAÇÃO EM EMBALAGENS**Marcos V. Lorevice^{ab}, Marcia R. de Moura^{c,*} e Luiz H. C. Mattoso^b**^aDepartamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, Brasil^bLaboratório Nacional de Nanotecnologia aplicada ao Agronegócio, EMBRAPA-CNPDI, São Carlos – SP, Brasil^cDepartamento de Física e Química, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 15385-000 Ilha Solteira – SP, Brasil

Recebido em 01/07/2013; aceito em 25/02/2014; publicado na web em 30/06/2014

NANOCOMPOSITE OF PAPAYA PUREE AND CHITOSAN NANOPARTICLES FOR APPLICATION IN PACKAGING. Nanocomposite materials have been incorporated into biopolymers, (e.g. hydroxypropyl methylcellulose), to improve their physical and chemical properties and enable them to be applied in food packaging, especially for their biodegradable and renewable properties. With this addition, fruit puree has been incorporated into the films to confer nutritional properties besides color and flavor. Chitosan is of interest in the packaging field since it is a biodegradable, bioabsorbable, antimicrobial agent. Furthermore, chitosan nanoparticles have been widely explored for their interesting properties and potential applications in food packaging. This work was divided into two stages: (1) chitosan nanoparticle synthesis; (2) addition of nanoparticles into HPMC and papaya puree films. Addition of chitosan nanoparticles to HPMC and papaya puree films improved film properties: mechanical, thermal and water vapor barrier. We have developed a novel nanomaterial with great potential for application in packaging to prolong the shelf life of food.

Keywords: nanoparticles; edible films; papaya puree.

INTRODUÇÃO

O aumento significativo no consumo de alimentos tem resultado na busca por métodos de conservação que confirmam aos alimentos características de produtos frescos. Isso se resume em produzir embalagens que protejam os alimentos, retardem o seu amadurecimento e evitem injúrias mecânicas sofridas durante o transporte. Embalagens que atendam a essas exigências devem possuir boas propriedades de barreira ao vapor de água, ao O₂ e ao gás etileno e propriedades mecânicas, protegendo os alimentos de possíveis choques mecânicos, os quais inviabilizam a sua venda. Este contexto tem encorajado pesquisas no intuito de produzir novas embalagens para os alimentos a partir de materiais que aumentem sua vida útil.¹⁻³ A utilização de biopolímeros na fabricação de embalagens, ou seja, polímeros que sofram total ou parcial degradação em algum sistema biológico⁴ e que sejam de fontes renováveis tem se mostrado algo promissor.⁵⁻⁷

O desenvolvimento de filmes e revestimentos a partir de biopolímeros vem amenizando o efeito do descarte das embalagens plásticas no ambiente.⁸⁻¹⁶ A hidroxipropil metilcelulose (HPMC) é um polissacarídeo derivado da celulose, atóxico e solúvel em água, e que forma filmes flexíveis, transparentes e resistentes, representando uma boa opção para filmes comestíveis e revestimentos.¹⁷⁻²⁰ A quitosana (QS) tem importante papel e é centro de vários trabalhos publicados, tanto como matriz polimérica para filmes quanto como estruturas nanométricas.²¹⁻²⁵ A crescente aplicação da quitosana se deve ao fato de esta ser um polissacarídeo natural e abundante, biodegradável e com certa atividade antimicrobiana.^{2,26,27}

A adição de polpas de frutas e legumes tem sido objeto de estudos recentes visando agregar propriedades nutricionais e sensoriais a filmes comestíveis.²⁸⁻³⁵ Além de suas funções básicas associadas à proteção dos alimentos, tais polpas ainda conferem sabor, cor e

propriedades nutricionais aos produtos aos quais são aplicados, e utilizam resíduos do processamento de frutas, reduzindo perdas e favorecendo economicamente o setor produtivo. O maior desafio para utilização destas duas classes de filmes é alcançar desempenho comparável ao de materiais já disponibilizados pela indústria.

Uma forma de melhorar as propriedades dos filmes é a adição de compostos às suas matrizes, aumentando a hidrofobicidade com adição de óleos essenciais.^{27,36-38} Outra melhoria é quanto às propriedades de barreira e mecânicas dos filmes pela adição de nanoestruturas às matrizes poliméricas.³⁹⁻⁴¹ Moura *et al.*¹⁹ verificaram que a estabilidade de filmes de carboximetilcelulose aumentou quando foram adicionadas nanopartículas de QS (NPQS). Lorevice *et al.*³⁴ reportaram melhorias nas propriedades dos filmes de polpa de goiaba e HPMC com a adição de NPQS. Assim, o objetivo deste trabalho foi obter filmes à base de HPMC e polpa de mamão incorporados com NPQS sintetizadas por gelatinização ionotrópica. Os filmes foram obtidos buscando propriedades importantes para embalagens satisfatórias, como barreira ao vapor de água, térmicas e mecânicas.

Nesse trabalho, os filmes foram sintetizados com matrizes de HPMC, NPQS e polpa de mamão. As NPQS foram caracterizadas por meio de medidas de tamanho médio e potencial zeta. Os filmes foram caracterizados a partir de medidas de espessura, propriedades mecânicas, permeabilidade ao vapor de água (WVP), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análises térmicas (DSC e TG).

PARTE EXPERIMENTAL**Material**

- Polpa de mamão; obtida da DE MARCHI.
- Quitosana; comercializada pela Polymar, Fortaleza-Brasil. (MW= 71,3 kDa, grau de desacetilação 94%).
- Tripolifosfato de Sódio; obtido da Aldrich (St. Louis, USA).
- Ácido acético; obtido da Aldrich (St. Louis, USA).

*e-mail: marciadqi@gmail.com

- Hidroxipropil Metilcelulose; produzida pela Dow Chemical Co. (Midland, Mich., U.S.A.).

Síntese das NPQS

De acordo com o método reportado detalhadamente por Calvo *et al.*,⁴² as NPQS foram sintetizadas a partir de gelatinização ionotrópica com tripolifosfato de sódio (TPP). Foram feitas duas sínteses distintas de NPQS, variando-se a quantidade de QS utilizada, identificadas como: NPQS1 (0,85 mg/mL) e NPQS2 (1,25 mg/mL). Na primeira etapa, a QS foi solubilizada à temperatura ambiente, em solução de ácido acético, sob agitação magnética (FISATOM 753A - Fisatom Equipamentos Científicos Ltda) de 500 rpm por 24 horas. Na segunda etapa, 28 mL de solução de TPP (0,11 mg/mL) foram adicionados aos 70 mL das soluções de QS. A adição foi feita sob agitação de 2500 rpm, utilizando um agitador mecânico (FISATOM 713 - Fisatom Equipamentos Científicos Ltda). A taxa de adição da solução de TPP foi de 1 mL/min.

Preparação dos filmes com polpa de mamão

Os filmes foram produzidos a partir da técnica “*casting*”, a qual consiste no preparo de uma solução coloidal composta de água, polpa de fruta, polissacarídeo, contendo ou não NPQS, e aplicação em um suporte seguida de secagem. Uma solução coloidal de HPMC com polpa de mamão (filme controle) foi produzida a partir de 3,0 g de HPMC e polpa de mamão liofilizada, em 100 mL de água destilada, sob agitação magnética (FISATOM 753A - Fisatom Equipamentos Científicos Ltda) de 500 rpm durante 12 horas. Os filmes de HPMC e polpa de mamão contendo NPQS foram obtidos adicionando-se 3,0 g de HPMC e polpa de mamão em 100 mL de solução de NPQS (sintetizadas anteriormente), sob agitação magnética de 500 rpm durante 12 horas. Depois do preparo dessas soluções, os frascos foram deixados em repouso por 4 horas para eliminação de bolhas. As soluções foram então depositadas em um suporte plástico e secas à temperatura ambiente durante 48 horas.

Determinação do tamanho médio e do potencial zeta das NPQS

O tamanho médio e o potencial zeta das NPQS foram determinados em aparelho Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Inc., Irvine, Calif., U.S.A.), o qual utiliza o princípio da difração do raio laser. As medidas foram realizadas em triplicata a 25 °C.

Determinação da espessura dos filmes

As medidas das espessuras dos filmes foram realizadas utilizando um micrômetro digital (Mitutoyo Manufacturing, Japan) em 5 diferentes pontos ao redor do filme. Os valores obtidos foram utilizados para calcular as propriedades mecânicas e os valores de permeabilidade de vapor de água.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Foi utilizado um microscópio Philips XL 30 FEG para analisar propriedades morfológicas dos filmes contendo NPQS. Os filmes foram depositados em um porta amostras contendo fita de carbono (Ted Pella Inc., Redding, CA, U.S.A.) e recobertos com ouro (Denton Vacuum Inc., Moorestown, NJ, U.S.A.) por 45 s em 20 mA.

Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas dos filmes foram avaliadas com

base na concentração e tamanho das NPQS no equipamento Instron Universal Testing Machine, modelo 5569. Os filmes foram condicionados à temperatura de 25 °C por 48 horas antes das medições. As propriedades mecânicas dos filmes foram avaliadas com relação à tensão máxima na ruptura (σ) e alongação na ruptura de acordo com o método ASTM D 882-97:⁴³ 15 mm de largura e 100 mm de comprimento. A velocidade de separação das garras foi de 50 mm/min.

Permeabilidade ao vapor de água (WVP)

Um bom filme deve apresentar boa barreira às trocas de vapor de água, o que permite prolongar a vida útil dos alimentos. As medidas de WVP permitem identificar as propriedades de barreira do filme. Os valores de WVP foram determinados a partir do método modificado ASTM E96-92,⁴⁴ utilizado para determinar a umidade relativa (RH) na superfície inferior do filme, descrito por Mchugh *et al.*⁴⁵

As células foram armazenadas em dessecadores com sílica gel, para controle de umidade, os quais foram alocados com ventilação e temperatura de 25 °C. As massas das células foram periodicamente medidas para calcular os valores de RH e WVP.

Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Todas as medidas de DSC foram realizadas em um equipamento TA Instruments Q100. Para cada análise, pesaram-se cerca de 4 mg de amostra em painéis de alumínio, as quais foram seladas e alocadas no equipamento. A programação utilizada para todas as análises foi uma rampa de aquecimento de -30 até 350 °C; razão de 10 °C/min sob atmosfera de nitrogênio com vazão de 50 mL/min. Todas as análises foram feitas em triplicata.

Termogravimetria (TGA)

As análises foram realizadas no aparelho TGA Q-500. Colocaram-se aproximadamente 3 a 4 mg da amostra em panela de platina. Os experimentos utilizaram programação de rampa de aquecimento de 20 até 600 °C, com razão de aquecimento de 10 °C/min. A vazão de nitrogênio na balança e ar sintético na amostra foram mantidas em 50 mL/min. Todas as análises foram feitas em triplicatas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta as concentrações de QS e de TPP utilizadas nas sínteses das NPQS. A quantidade de TPP foi mantida constante e variou-se a quantidade de QS, com intuito de obter diferentes tamanhos de NPQS, como proposto por Calvo *et al.*⁴² O tamanho médio das NPQS variou com a quantidade de QS (Tabela 1). Segundo Moura *et al.*,¹⁷ o tamanho médio das NPQS aumenta devido ao aumento na viscosidade da solução de QS, o que dificulta as interações entre os precursores das NPQS, permitindo assim a formação de partículas maiores, às quais não necessitam de alta energia favorável à formação. Portanto, a síntese NPQS1 apresentou menor tamanho devido à menor concentração de QS.

A estabilidade de uma solução coloidal de NPQS pode ser medida determinando-se os valores de potencial zeta para cada síntese de NPQS com concentrações diferentes de QS. O potencial aumenta com o aumento do tamanho das NPQS, já que o tamanho está relacionado à quantidade de QS. Um aumento no tamanho aumenta a quantidade de íons NH_3^+ , aumentando também o potencial zeta da superfície das NPQS. Isso pode ser observado na Tabela 1, a qual relaciona o tamanho das NPQS com o potencial zeta. Com os dados da Tabela 1, a estabilidade das soluções coloidais de NPQS é confirmada, uma vez que valores de potencial zeta são maiores que ± 20 mV para

NPQS, segundo Moura *et al.*,²¹ comprovando assim, a estabilidade dessas nanoestruturas.

Tabela 1. Concentrações de QS e TPP, tamanho médio e potencial zeta para as duas sínteses de nanopartículas

	Concentração de QS (mg/mL)	Concentração de TPP (mg/mL)	Tamanho Médio (nm)	Potencial Zeta (mV)
NPQS1	0,85	0,11	250 ± 9	25,7 ± 5
NPQS2	1,25	0,11	351 ± 20	61,3 ± 3

Os filmes controle preparados apenas com polpa de mamão diluída em água se formaram, entretanto com pouca resistência, quebradiço e manuseabilidade baixa. Devido a essa condição, o filme se tornou inviável para ser tratado como controle. Sendo assim, adicionou-se um biopolímero comestível, a HPMC, para auxiliar a formação desses filmes. Este foi adicionado por ser solúvel em água, comestível e inodoro, além de formar uma matriz polimérica com características aplicáveis à produção de embalagens.²⁰ As adições de HPMC às soluções coloidais de polpa de mamão possibilitaram a formação de filmes com propriedades como aspecto tátil não quebradiço, manuseio, homogeneidade e continuidade, interessantes se comparadas com as embalagens convencionais. Essas características fizeram parte de uma avaliação subjetiva onde foram observadas as seguintes características: continuidade (ausência de rupturas e fraturas após a secagem), homogeneidade (ausência de partículas insolúveis visíveis a olho nu, zonas de opacidade ou de cores diferenciadas) e manuseabilidade (possibilidade de manusear o filme sem riscos de ruptura). Como dito anteriormente, os filmes mostraram-se satisfatórios.

Os materiais contendo polpa de mamão apresentaram coloração laranja forte característica da polpa, mas o aroma foi muito brando se comparado à polpa de mamão *in natura*. Ainda, apresentaram aroma característico da polpa mesmo após um longo período de tempo armazenado em sacos plásticos (cerca de dois meses).

A adição de NPQS não modificou as características visuais dos filmes com polpa de mamão, nem a formação dos mesmos. Tais filmes não modificaram sua coloração laranja e seu aroma mesmo após a adição das NPQS. Assim como nos filmes controles de HPMC e polpa de mamão, com a adição das NPQS, estes apresentaram propriedades como aspecto tátil não quebradiço, manuseio, homogeneidade, continuidade e ainda leve transparência.

Adição de NPQS aos filmes contendo polpa de mamão foi feita com o objetivo de melhorar as propriedades físicas dos filmes (mecânicas e de barreira ao vapor de água), conforme Moura *et al.*¹⁷ e Moura *et al.*,²¹ nos quais duas nanopartículas diferentes de QS, quando adicionadas à matriz de HPMC, incrementaram as propriedades físicas dos filmes. Já nos trabalhos de Lorevice *et al.*³⁴ e Martelli *et al.*,³⁵ o efeito plastificante nos filmes, causado pela presença de açúcares da polpa, foi minimizado com a adição de NPQS sintetizadas por polimerização do ácido metacrílico.

O valor da espessura dos filmes de polpa de mamão variou com a adição das polpas à matriz de HPMC. Em filmes contendo somente HPMC, a espessura foi de (40 ± 1 μm). Com a adição de polpa e NPQS, a espessura foi de (70 ± 3) μm.

Na Figura 1 é apresentada uma micrografia da fratura dos nanocompósitos obtidos e esta foi feita com intuito de observar a parte interna dos filmes. A Figura 1(a) mostra a matriz dos filmes contendo apenas HPMC e polpa de fruta. É possível observar poros na matriz com a polpa. Já na Figura 1(b), observam-se NPQS inseridas na matriz do filme de HPMC e polpa de fruta. Isso indica que as NPQS preencheram os poros da matriz de HPMC, compactando-a. Esse fato

contribuiu de maneira satisfatória para a melhoria tanto de propriedades de resistência quanto de barreira dos filmes. No trabalho de Martelli *et al.*,³⁵ a adição de NPQS à matriz de pectina e plastificante promoveu um preenchimento dos poros do filme, tornando este mais compacto.

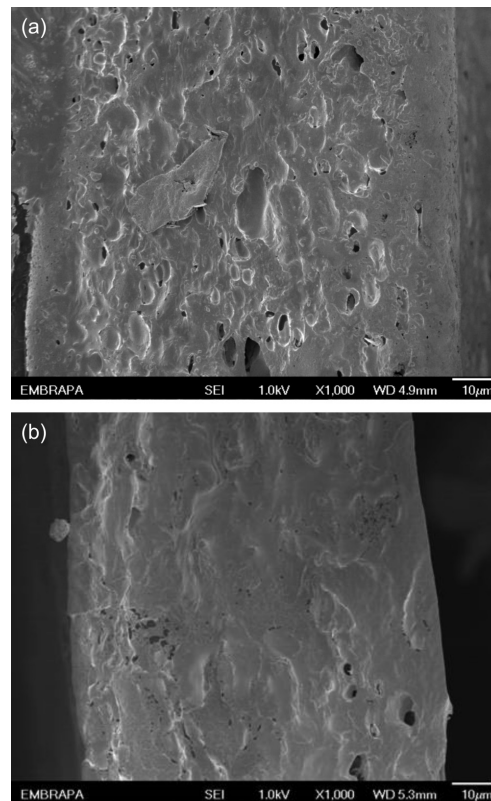


Figura 1. Microscopia Eletrônica de Varredura da fratura de filme de HPMC e polpa de mamão com NPQS1: a) sem nanopartícula; b) com nanopartícula NPQS1

Com a finalidade de observar a superfície dos filmes, realizou-se a análise de microscopia da superfície do material. Na Figura 2 está a superfície de um filme contendo NPQS1, e observa-se que a matriz foi preenchida pelas NPQS1, como na Figura 1(b), as quais apresentam tamanho uniforme e forma arredondada.

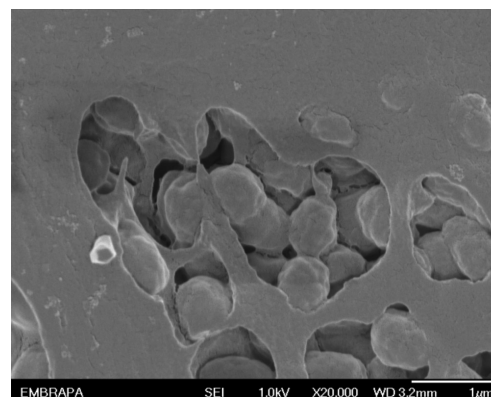


Figura 2. Microscopia Eletrônica de Varredura da superfície de filme de HPMC e polpa de mamão com NPQS1

Os nanocompósitos só serão viáveis para aplicação industrial se estes apresentarem boas propriedades físicas (barreira ao vapor de água e propriedades mecânicas como elongação e tensão máxima)

próximas ou superiores às embalagens produzidas a partir de polímeros sintéticos. Maiores valores de alongação indicam maior flexibilidade do filme antes de se romper e valores altos de tensão indicam filmes mais resistentes. Diferentemente de filmes de HPMC contendo polpa de goiaba, cuja adição reduziu as propriedades mecânicas dos filmes, apresentada por Lorevice *et al.*,³⁴ a polpa de mamão aumentou a tensão na ruptura devido à presença de pectina na polpa. A adição de NPQS aumentou as propriedades de tensão e alongação dos filmes (Tabela 2), uma vez que as NPQS, assim como a presença de pectina da polpa, interagem com a matriz polimérica, diminuindo o escoamento das cadeias uma sobre as outras, reforçando mecanicamente os filmes. Esse aumento foi mais apreciável para NPQS menores, o que se deve à maior superfície de contato entre a NPQS e a HPMC, formando assim uma matriz polimérica mais compacta e melhorando as propriedades mecânicas dos filmes. NPQS maiores, contudo, são dispersas de maneira menos homogênea na matriz, o que diminui sua compactação e diminui os valores de tensão e alongação dos filmes. Em termos de alongação, os filmes contendo NPQS menores proporcionaram maiores valores, o que faz com que seja mantida a tenacidade dos filmes. Esse fato favorece a aplicação na área de embalagens e nas demais áreas nas quais a capacidade de deformação do material antes de se romper é importante.

Tabela 2. Valores da alongação e tensão máxima dos filmes de mamão

Tipos de Filmes	Elongação (%)	Tensão Máxima (MPa)
HPMC	9,1±0,4	22,4±1,3
HPMC + polpa de mamão	2,9±0,1	20,1±1,2
HPMC + NPQS1+ Polpa de mamão	8,4±0,3	30,8±2,1
HPMC + NPQS2+ Polpa de mamão	3,9±0,2	23,4±1,4

Para que um filme seja aplicado a alimentos, este deve apresentar boas propriedades de barreira ao vapor de água e a gases como O₂ e etileno, este último sendo responsável pelo amadurecimento dos frutos climatéricos. A Figura 3 apresenta a dependência dos valores de WVP para os filmes de HPMC sem e com polpa de mamão e com NPQS. Analisando os valores de WVP dos filmes controle de HPMC, observa-se uma diminuição nas propriedades de barreira dos filmes com a adição de polpa de mamão. As propriedades de barreira ao vapor de água de filmes (WVP) podem ser influenciadas por fatores, como citado no trabalho de Wang *et al.*:³² pureza do filme; razão hidrofiliicidade/hidrofobicidade dos componentes do filme; razão zona cristalina/zona amorfa; mobilidade das cadeias poliméricas. No caso dos filmes de HPMC e polpa de mamão, essa diminuição da WVP ocorre devido às características hidrofílicas dos açúcares da polpa e dos polissacarídeos (HPMC e pectina, no caso). O aumento da permeabilidade se deve à diferença entre a quantidade de moléculas que se difundiram totalmente no filme, ou seja, moléculas que atravessam toda a película do filme, e a quantidade de moléculas que se desprenderam evaporando-se, uma vez que a análise de WVP se baseia na perda de uma massa inicial de água, na célula de análise, por evaporação à temperatura controlada. A quantidade de moléculas que atravessam toda a extensão do filme e as que se desprenderam do líquido não foram as mesmas, pois parte delas se alocou na matriz, como um efeito de hidratação do filme.

Verificou-se, ainda, uma diminuição na WVP dos filmes de HPMC, polpa de mamão e NPQS para os dois tamanhos de partículas. A diminuição foi mais efetiva com as NPQS menores, que apresentaram maior barreira ao vapor de água. Essa diminuição se deve ao fato das NPQS de tamanho menor preencherem mais facilmente espaços entre as cadeias da matriz de HPMC, dificultando a difusão

do vapor de água pelo filme, como já foi observado anteriormente em outras análises.

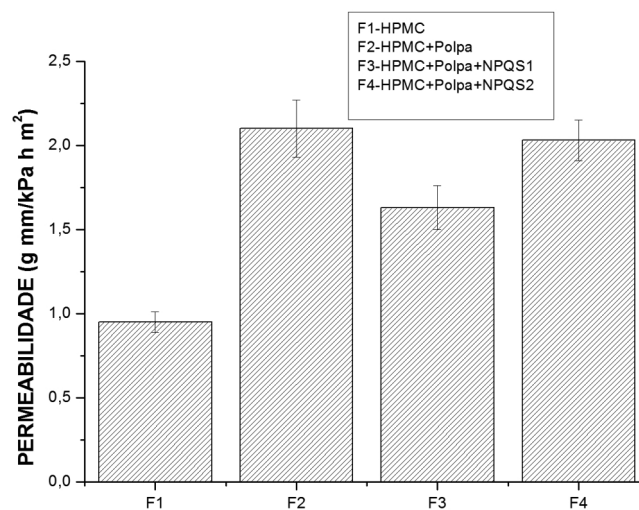


Figura 3. Diferentes valores de permeabilidade ao vapor de água dos nanocompósitos produzidos

A mobilidade de uma cadeia polimérica determina as características físicas do produto e é diretamente proporcional à temperatura na qual o polímero é submetido durante seu processamento. Portanto, a característica térmica do polímero, principalmente no caso de materiais utilizados em embalagens, é de extrema importância, uma vez que esses materiais poderão ser produzidos em escala industrial e em temperatura elevada, a fim de diminuir o tempo de processamento e aumentar a produtividade, desde que se saiba de antemão que a temperatura de degradação do material não será atingida.

Para os filmes de mamão foram feitas as análises da temperatura de degradação (TD) por TGA e temperatura de transição vítrea (Tg) por DSC. No caso da TD, o filme de HPMC apresentou valor de 232 °C. Com a adição de polpa de mamão, a TD caiu para 230 °C. A Figura 4 mostra as duas curvas termogravimétricas de filmes de HPMC puros e com polpa de mamão. A adição de polpa de mamão diminuiu a temperatura inicial de degradação, uma vez que a polpa degrada a uma temperatura menor que o HPMC. Este resultado melhorou com a adição das NPQS. Para as NPQS1, com tamanho médio menor, foi verificado um valor de 293 °C enquanto para as NPQS2, com tamanho médio maior, o valor foi de 278 °C.

A adição de NPQS em diferentes matrizes de polissacarídeos

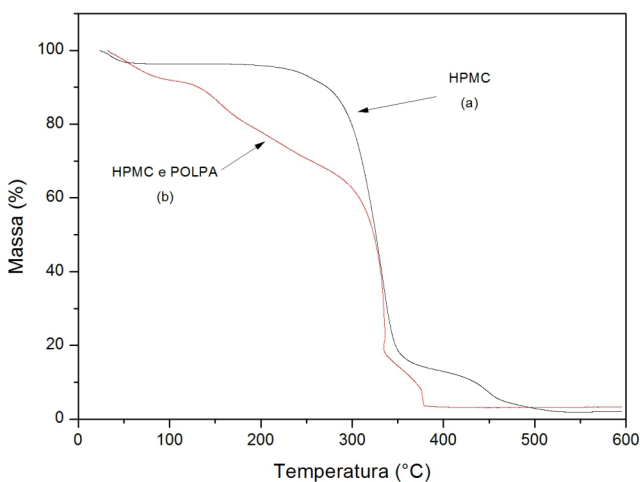


Figura 4. Curvas termogravimétricas dos filmes: (a) HPMC; (b) HPMC e Polpa de mamão

HPMC,^{17,34} CMC,¹⁹ Pectina,³⁵ também resultou em um incremento nas propriedades térmicas dos filmes, uma vez que as nanoestruturas tornam a matriz mais compacta, diminuindo a mobilidade das cadeias devido à interação de ordem secundária das NPQS com a matriz polimérica. Essa diferença na mobilidade das cadeias nos filmes de HPMC com polpa com e sem NPQS pode ser evidenciada pelas Tgs dos filmes obtidas por curvas de DSC. Menores valores Tg indicam maior mobilidade das cadeias poliméricas em temperaturas mais baixas. A Tabela 3 identifica as Tg dos filmes de mamão com e sem NPQS. Observa-se um incremento na Tg com a adição de NPQS devido à incorporação destas na matriz polimérica, tornando-a mais compacta. O efeito plastificante⁴⁶ causado pela presença da polpa na matriz polimérica diminuiria a Tg dos filmes, entretanto, esse efeito foi minimizado com a adição de NPQS. O aumento da TD e Tg é interessante, pois permite a previsão da temperatura de preparação dos filmes, em escala industrial, de tal forma que não degrade os materiais e viabilize seu processamento.

Tabela 3. Valores de temperatura de transição vítrea (Tg) dos filmes de mamão

Tipos de Filmes	Tg
HPMC	169 °C
HPMC + polpa de mamão	232 °C
HPMC + NPQS1+ Polpa de mamão	236 °C
HPMC + NPQS2+ Polpa de mamão	238 °C

CONCLUSÃO

As NPQS foram sintetizadas pelo método de gelatinização iônica com dois tamanhos diferentes, apresentando boa estabilidade para as soluções coloidais formadas. Os filmes de HPMC, polpa de mamão e NPQS apresentaram continuidade, homogeneidade e manuseabilidade satisfatórias, além do aroma e coloração adquiridos pela adição de polpa da fruta. A presença de NPQS nos filmes incrementou as propriedades mecânicas, de barreira ao vapor de água e térmicas, nas quais a adição de NPQS mostrou um discreto aumento na temperatura de degradação e de transição vítrea. Desta forma, conclui-se que tais melhorias nas propriedades dos filmes de HPMC e polpas de mamão tornam este material uma alternativa na aplicação de novas embalagens por apresentarem, além de todas estas propriedades, a característica de ser biodegradável e oriundo de fonte renovável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (Projeto2012/24362-6) pelo auxílio à pesquisa, à Embrapa pela estrutura de pesquisa e aos demais órgãos de fomento e financiamento à pesquisa FINEP/MCT, CAPES, CNPq. A autora Marcia R. de Moura agradece ao Programa de Pós-graduação em Ciência dos Materiais da UNESP-Ilha Solteira.

REFERÊNCIAS

- Dias, A. B.; Müller, C. M. O.; Larotonda, F. D. S.; Laurindo, J. B.; *J. Cereal Sci.* **2010**, *51*, 213.
- Bourbon A. I.; Pinheiro A. C.; Cerqueira M. A.; Rocha, Cristina M. R.; Avides M. C.; Quintas, M. A. C.; Vicente, A. A.; *J. Food Eng.* **2011**, *106*, 111.
- Zahedi, Y.; Ghanbarzadeh, B.; Sedaghat, N.; *J. Food Eng.* **2010**, *100*, 102.
- Durán, N.; Mattoso, L. H. C.; Morais, P. C. de.; *Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*. Artliber: São Paulo, 2006, 208 p.
- Ghasemlou, M.; Khodaiyan, F.; Oromiehie, A.; Yarmand, M. S.; *Food Chem.* **2011**, *127*, 1496.
- Ghanbarzadeh, B.; Almasi, H.; Entezami, A. A.; *Ind. Crops Prod.* **2011**, *33*, 229.
- Ghanbarzadeh, B.; Almasi, H.; *Int. J. Biol. Macromol.* **2011**, *48*, 44.
- Kang, H. J.; Jo C.; Kwon, J. H.; Kim, J. H.; Chung, H. J.; Byun, M. W.; *Food Control* **2007**, *18*, 430.
- Vartiainen, J.; Tammelin, T.; Pere, J.; Tapper, U.; Harlin, A.; *Carbohydr. Polym.* **2010**, *82*, 969.
- Alves, S. S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2008.
- Galus, S.; Lenart, A.; *J. Food Eng.* **2013**, *115*, 459.
- Pérez, C. D.; De'Nobili, M. D.; Rizzo, S.A.; Gerschenson, L. N.; Descalzo, A. M.; Rojas, A. M.; *J. Food Eng.* **2013**, *116*, 162.
- Al-Hassan, A.A.; Norziah, M. H.; *Food Hydrocolloids* **2012**, *26*, 108.
- Jiménez, A.; Fabra, M. J.; Talens, P.; Chiralt, A.; *Carbohydr. Polym.* **2012**, *89*, 676.
- Maran, J. P.; Sivakumar, V.; Sridhar, R.; Immanuel, V. P.; *Ind. Crops Prod.* **2013**, *42*, 159.
- Lago-Vanzela, E. S.; Nascimento, P. do; Fontes, E. A. F.; Mauro, M. A.; Kimura, M.; *LWT – Food Sci. Technol.* **2013**, *50*, 420.
- Moura, M. R. de; Aouada, F. A.; Avena-Bustillos, R. J.; McHugh, T. H.; Krochta, J. M.; Mattoso, L. H. C.; *J. Food Eng.* **2009**, *92*, 448.
- Osorio, F. A.; Molina, P.; Matiacevich, S.; Enrione, J.; Skurtys, O.; *Procedia Food Sci.* **2011**, *1*, 287.
- Moura, M. R. de; Lorevice, M. V.; Mattoso, L. H. C.; Zucolotto, V.; *J. Food Sci.* **2011**, *76*, N25.
- Akhtar, M. J.; Jacquot, M.; Jasniewski, J.; Jacquot, C.; Imran, M.; Jamshidian, M.; Paris, C.; Desobry, C.; *Carbohydr. Polym.* **2012**, *89*, 1150.
- Moura, M. R. de; Avena-Bustillos, R. J.; Mchugh, T. H.; Krochta, J. M.; Mattoso, L. H. C.; *J. Food Sci.* **2008**, *73*, 31.
- Jia, D.; Fang, Y.; Yao, K.; *Food Bioprod. Process.* **2009**, *87*, 7.
- Kong, M.; Chen, X. G.; Xing, K.; Park, H. J.; *Int. J. Food Microbiol.* **2010**, *144*, 51.
- Moura, M. R. de; Avena-Bustillos, R. J.; McHugh, T. H.; Wood, D. F.; Otoni, C. G.; Mattoso, L. H. C.; *J. Food Eng.* **2011**, *104*, 154.
- Hosseini, S. F.; Rezaei, M.; Zandi, M.; Ghavi, F. F.; *Food Chem.* **2013**, *136*, 1490.
- Moreira, M. del R.; Roura, S. I.; Ponce, A.; *LWT – Food Sci. Technol.* **2011**, *44*, 2335.
- Pereda, M.; Amica, G.; Marcovich, N. E.; *Carbohydr. Polym.* **2012**, *87*, 1318.
- McHugh, T. H.; Senesi, E.; *J. Food Sci.* **2000**, *65*, 480.
- Rojas-Graü, M. A.; Raybaudi-Massila, R. M.; Soliva-Fortuny, R. C.; Avena-Bustillos, R. J.; McHugh, T. H.; Martín-Belloso, O.; *Postharvest Biol. Technol.* **2007**, *45*, 254.
- Sothornvit, R.; Pitak, N.; *Food Res. Int.* **2007**, *40*, 365.
- Tong, Q.; Xiao, Q.; Lim, L.; *Food Res. Int.* **2008**, *41*, 1007.
- Wang, X.; Sun, X.; Liu, H.; Li, M.; Ma, Z.; *Food Bioprod. Process.* **2011**, *89*, 149.
- Azeredo, H. M.; Miranda, K. W. E.; Rosa, M.F.; Nascimento, D. M.; Moura, M. R.; *LWT – Food Sci. Technol.* **2012**, *46*, 294.
- Lorevice, M. V.; Moura, M. R. de; Aouada, F. A.; Mattoso, L. H. C.; *Nanosci. Nanotechnol.* **2012**, *12*, 2711.
- Martelli, M. R.; Barros, T. T.; Moura, M. R. de; Mattoso, L. C. H.; Assis, O. B. G.; *J. Food Sci.* **2013**, *78*, N98.
- Bonilla, J.; Atarés, L.; Vargas, M.; Chiralt, A.; *J. Food Eng.* **2012**, *110*, 208.
- Matsakidou, A.; Biliaderis, C.G.; Kiosseoglou, V.; *Food Hydrocolloids* **2013**, *30*, 232.
- Valenzuela, C.; Abugoch, L.; Tapia, C.; *LWT – Food Sci. Technol.* **2013**, *50*, 531.

39. Azeredo, H. M. C.; Mattoso, L. H. C.; Wood, D.; Williams, T. G.; Avena-Bustillos, R. J.; Mchugh, T. H.; *J. Food Sci.* **2009**, *74*, 31.
40. Sanchez-Garcia, M. D.; Lopez-Rubio, A.; Lagaron, J. M.; *Food Sci. Technol.* **2010**, *21*, 528.
41. Peralta-Videa, J. R.; Zhao, L.; Lopez-Moreno, M. L.; Rosa, G. de la.; Hong, J.; Gardea-Torresdey, J. L.; *J. Hazard. Mater.* **2011**, *186*, 1.
42. Calvo, P.; Remunán-López, C.; Vila-Jato, J. L.; Alonso, M. J.; *J. Appl. Polym. Sci.* **1997**, *63*, 125.
43. American Society for Testing and Materials; *Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting* ASTM D882-97, 1997.
44. American Society for Testing and Materials; *Standard test method for water vapor transmission of materials* ASTM E96-80, 1980.
45. Mchugh, T. H.; Avena-Bustillos, R.; Krochta, J. M.; *J. Food Sci.* **1993**, *58*, 899.
46. Espitia, P. J. P.; Du, W. X.; Avena-Bustillos, R. de J.; Soares, N. de F. F.; McHugh, T. H.; *Food Hydrocolloids* **2014**, *35*, 287.