

## Propriedades mecânicas de filmes à base de polissacarídeos para embalagens de alimentos: uma revisão

### Mechanical properties of polysaccharide-based films for food packaging: a review

Augusto Bacca<sup>ab</sup>  [cabaccag@unal.edu.co](mailto:cabaccag@unal.edu.co)

Diana Edith Molina-Soler<sup>b</sup>  [diana.molina@unad.edu.co](mailto:diana.molina@unad.edu.co)

Beatriz Guevara-Guerrero<sup>bc</sup>  [beatriz.guevara@unad.edu.co](mailto:beatriz.guevara@unad.edu.co)

<sup>a</sup>Universidad Nacional de Colombia.

<sup>b</sup>Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

<sup>c</sup>Universidade de São Paulo.

Recibido: 05/04/2023 Acepto: 13/06/2023

**Citar, APA:** Bacca, A., Molina-Soler., D. E. y Guevara-Guerrero, B. (2023). Propriedades mecânicas de filmes à base de polissacarídeos para embalagens de alimentos: uma revisão. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 10 (1), 68–84. <https://doi.org/10.23850/24220582.5589>

**Sumário** Em busca de encontrar alternativas que permitam diminuir o uso indevido de polímeros derivados de hidrocarbonetos e seus efeitos colaterais com o meio ambiente. O objetivo da seguinte revisão bibliográfica sistemática foi comparar o comportamento mecânico à tração de filmes feitos com quitosana, amido de batata e hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), utilizados para a embalagem de produtos alimentícios, comparação de valores médios da tensão de tração, módulo de elasticidade e deformação à ruptura. A busca foi realizada no SCOPUS, Science Direct, Scielo a nível nacional (Colômbia) e repositórios da Universidad Nacional Abierta y Distancia (UNAD) e Universidad Nacional de Colombia (UNAL) durante 2013 - 2022, implementando diferentes equações de busca. A partir do estudo bibliográfico, foi analisado que a HPMC apresenta as melhores propriedades mecânicas de tração (tensão de tração: 32,44 MPa; deformação à ruptura: 17,37 %; módulo de elasticidade: 305 MPa), seguida de perto pela quitosana (tensão de tração: 32,01 MPa; deformação à ruptura: 15,5 %; módulo de elasticidade: 303,5 MPa) e, finalmente, amido de batata (tensão de tração: 10,56 MPa; deformação à ruptura: 11,89 %; módulo de elasticidade: 395 MPa). Espera-se que esta revisão de literatura promova o desenvolvimento e aplicação de filmes à base de polissacarídeos para embalagens de alimentos pela indústria como uma estratégia para resolver problemas ambientais e para suas propriedades mecânicas ótimas.

**Palavras-chave:** Quitosana, amido de batata, hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), tensão de tração, deformação à ruptura, módulo de elasticidade.

**Abstract** Seeking to find alternatives to reduce the misuse of polymers derived from hydrocarbons and their side effects on the environment. The aim of the following systematic literature review was to compare the tensile mechanical behavior of films made with chitosan, potato starch and hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), used for packaging food products, comparing their average values of tensile stress, modulus of elasticity and deformation in breaking. The search was carried out in SCOPUS, Science Direct, Scielo, during 2013 - 2022, implementing different search equations. From the bibliographical study, it was analyzed that HPMC presents the best tensile mechanical properties (tensile strength: 32,44 MPa; strain at break: 17,37 %; modulus of elasticity: 305 MPa), closely followed by chitosan (tensile strength: 32,01 MPa; strain at break: 15,5 %; modulus of elasticity: 303,5 MPa) and, finally, potato starch (tensile strength: 10,56 MPa; strain at break: 11,89 %; modulus of elasticity: 395 MPa). It is hoped that this literature review will promote the development and application of polysaccharide-based films for food packaging by the industry as a strategy to solve environmental problems and for their optimal mechanical properties.

**Keywords:** Chitosan, potato starch, hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), tensile stress, strain at break, modulus of elasticity.

## Introdução

Os alimentos são embalados e acondicionados para poderem ser conservados e agrupados durante o transporte e armazenamento, principalmente com polímeros, papelão, papel, metais, vidro e madeira. O mais exigível é o plástico flexível de origem fóssil, que representa 60 %, e o plástico rígido 18 %, por ser facilmente moldável, durável, leve e economicamente viável (ANDIGRAD, 2021). Greenpeace (2018), indica que 8,3 bilhões de toneladas de plástico foram produzidas desde 1950, das quais 9 % foram recicladas, 12 % foram queimadas e 79 % acabaram em aterros sanitários ou ecossistemas naturais, emitindo gases de efeito estufa e contribuindo desfavoravelmente para o aquecimento global.

Uma solução para esse problema é a utilização de biopolímeros obtidos de origem vegetal, animal e de microorganismos, como celulose, amidos e quitosana, que se destacam pelo fácil processamento, não toxicidade, biocompatibilidade e biodegradabilidade, além de sua dureza, flexibilidade, transparência e capacidade de incorporar agentes microbianos ou suplementos nutricionais, mas que apresentam menor barreira, propriedades mecânicas e térmicas em comparação com polímeros sintéticos (Villada *et al.*, 2007; Mondal *et al.*, 2013).

As propriedades mecânicas (tensão de tração, deformação à ruptura e módulo de elasticidade) de biopolímeros permitirá a identificação de seu comportamento e resistência sob diferentes condições de estresse, o que ajudará no controle do processo e qualidade de produção, para diversas aplicações e configurações dos testes mecânicos. A fim de mudar as tendências no uso de plásticos convencionais, esta pesquisa se concentra em comparar as informações obtidas em artigos científicos publicados entre 2013 e 2018, sobre a resistência mecânica à tração ou tensão de filmes de polissacarídeos de amido de batata, quitosana e hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), devido ao seu alto interesse de pesquisa na embalagem, transporte e conservação de alimentos, e assim identificar o potencial de uso dessas embalagens em substituição às embalagens produzidas com polímeros convencionais.

## Metodologia

No presente estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática (Phillips *et al.*, 2018) nas plataformas, ScienceDirect, SCOPUS, Scielo em nível nacional (Colômbia) e repositórios da Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) e Universidad Nacional de Colombia (UNAL), implementando diferentes equações de busca, e publicadas no intervalo de tempo 2013 - 2022. As equações de busca aplicadas foram:

1) Mechanical AND (Films OR Film) AND Chitosan AND (Packing OR Packaging); 2) chitosan AND in:("col") AND PUBYEAR > 2012; 3) "chitosan AND film"; 4) "chitosano AND película"; 5) "(film OR films) AND chitosan"; 6) "TITLE-ABS-KEY (mechanical AND (films OR film) AND (hpmc OR hidroxipropilmetilcelulose OR cellulose) AND (packing OR packaging)); 7) "mechanical AND (films OR film) AND (hpmc OR hidroxipropilmetilcelulose OR cellulose) AND (LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY, "Colombia"))"; 8) "(("hpmc" OR "hidroxipropilmetilcelulose" OR "cellulose") AND ("film" OR "films")) AND in: ("col") AND PUBYEAR > 2012 AND in: ("col") AND PUBYEAR > 2012"; 9) "TITLE-ABS-KEY (mechanical AND (films OR film) AND (hpmc OR hidroxipropilmetilcelulose OR cellulose) AND (packing OR packaging)); 10) "mechanical AND (films OR film) AND (hpmc OR hidroxipropilmetilcelulose OR cellulose) AND (LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY, "Colombia"))"; 11) "(("hpmc" OR "hidroxipropilmetilcelulose" OR "cellulose") AND ("film" OR "films")) AND in: ("col") AND PUBYEAR > 2012 AND in: ("col") AND PUBYEAR > 2012"; 12) "(("hpmc" OR "hidroxipropilmetilcelulose" OR "cellulose") AND (film OR films) AND in: ("col") AND PUBYEAR > 2012 AND in: ("col") AND PUBYEAR > 2012". A literatura científica que atendeu aos critérios supracitados foi selecionada e as informações coletadas foram organizadas.

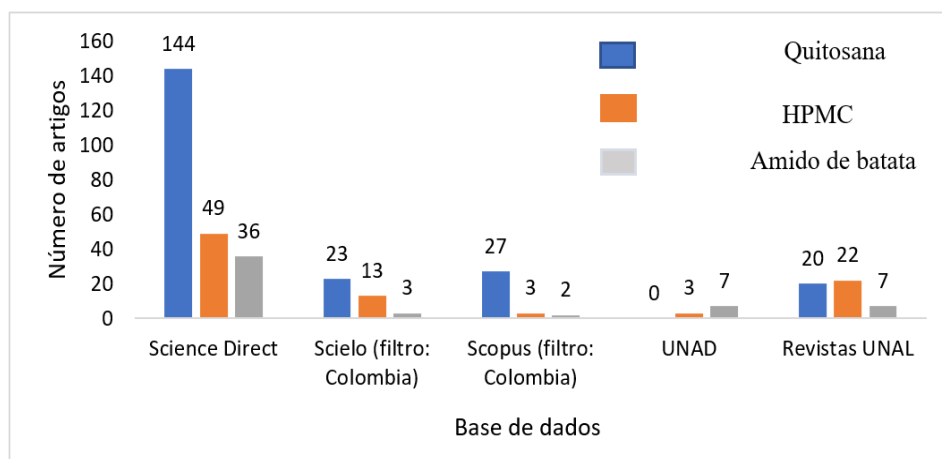
Em seguida, cada um dos documentos foi examinado em busca de corroborar preliminarmente a relevância sobre o tema de interesse e a rastreabilidade na metodologia implementada para a caracterização das amostras. Com base nessas condições, obtém-se o seguinte

número de documento, do portal ScienceDirect e da compilação da pesquisa produzida a nível nacional.

Uma vez selecionados os documentos, compilou-se a informação básica para a comparação dos testes de esforço mecânico entre os diferentes polissacarídeos e as referências elementares da publicação para pesquisas futuras, com base nas seguintes categorias: Informações Básicas: Nome do artigo, autores, ano de publicação, periódico, número do volume. - Informações sobre Ensaios de Tração Mecânica: Tipo de caracterização (tensão de tração, Deformação à Ruptura e/ou Módulo de Elasticidade), norma implementada, equipamento utilizado para o ensaio, velocidade dos ensaios, condições ambientais e resultados obtidos. Nesse conjunto de publicações, implementou-se a análise gráfica qualitativa, a estatística descritiva, a análise multicritério e a análise de custo-benefício.

## Resultados e discussão

Levando em conta os critérios de busca previamente declarados, um grande conjunto de documentos foi obtido (**Figura 1**), mas apenas 76 artigos para quitosana, 17 para HPMC e 18 artigos para amido de batata foram analisados, após a realização dos filtros relevantes. No caso da quitosana, aproximadamente 75 % dos artigos originalmente propostos foram descartados, 81 % foram retirados para HPMC e restaram apenas 32,7 % de amido de batata. Para obter o último filtro da revisão bibliográfica preliminar, não foram analisados os artigos com figuras de dados incompletos ou apresentação exclusiva do valor da força de tração (estes dados apresentam alta variabilidade devido ao efeito da área da seção transversal do filme ou amostra testada, cujas dimensões também não foram expostas no artigo). Ver o apêndice.



**Figura 1**

*Número de artigos obtidos com o uso das equações*

*Nota. Elaboração própria.*

A **Figura 2a** a seguir mostra a distribuição dos resultados dos valores médios da tensão de tração e deformação na ruptura, dos artigos examinados em ensaios de tração do polissacarídeo de quitosana. Qualitativamente, o gráfico apresenta alta densidade de resultados, principalmente abaixo de 60 % de deformação à ruptura (EB) e tensão de tração (TS) concentrada em valores inferiores a 100 MPa. Da mesma forma, destaca-se um grande número de valores, tanto de tensão à tração quanto deformação à ruptura, que se concentra principalmente abaixo de 50 % (com algumas exceções).

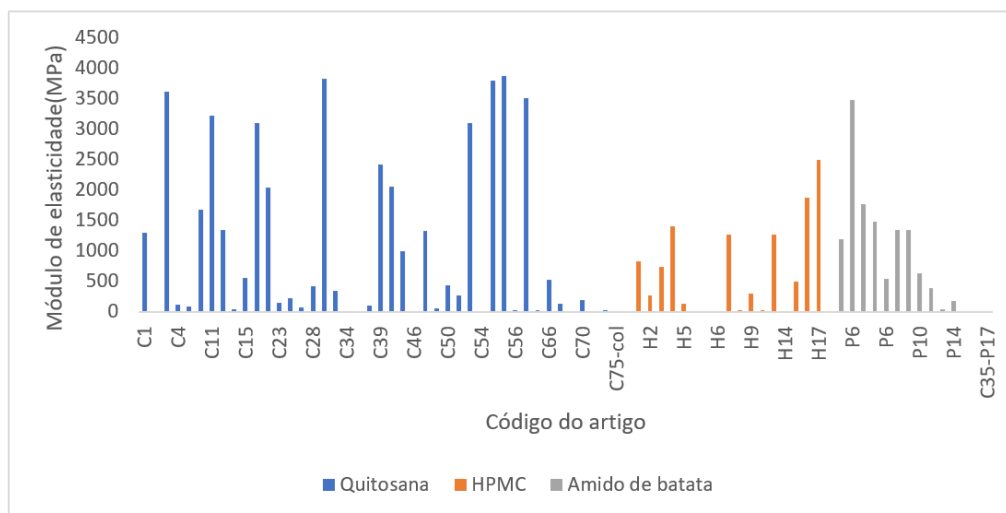
As informações sobre os valores de tensão de tração - TS e deformação à ruptura - EB, dos ensaios de tração em filmes com matriz HPMC são apresentadas na **Figura 2b**, sendo possível observar uma alta dispersão dos resultados atingindo valores aproximados de TS = 70 MPa e EB = 60 % de deformação.

Na **Figura 2c**, destaca-se o efeito oposto das propriedades mecânicas de EB e TS da fécula de batata, comprovando que quanto maior o valor



mecânicas pela variação da matéria-prima HPMC (HPMC Methocel® E15, HPMC Methocel® K4M e HPMC Methocel® E4M) também é mostrado. Finalmente, comparam-se os resultados dos testes de tração, obtidos em amido de batata "P10", modificando o condicionamento dos filmes

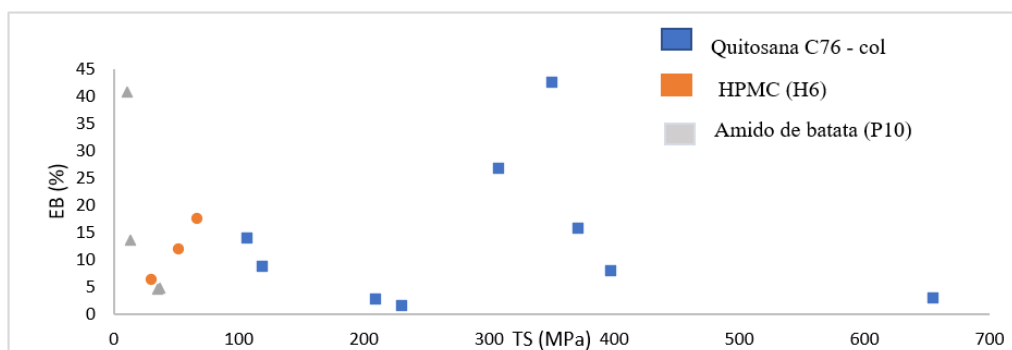
em diferentes níveis de umidade relativa (33 - 53 %) e o período para a realização do teste (1 e 5 semanas, após a obtenção do filme). Destacando o efeito que a modificação de uma ou mais variáveis do processo pode ter, seja nas características das matérias-primas, condições ou processamento na produção do filme.



**Figura 3**

*Resumo do módulo de elasticidade obtido para quitosana, HPMC e amido de batata*

*Nota. Elaboração própria.*



**Figura 4**

*Comparação dos resultados de deformação à ruptura entre quitosana, HPMC e amido de batata e suas respectivas publicações*

*Nota. Elaboração própria.*

A seguir, na **Tabela 1**, são apresentados os resultados estatísticos dos valores médios obtidos para cada polissacarídeo (quitosana, HPMC e fécula de batata). Na quitosana (**Figura 5a**), destaca-se um maior conjunto de dados para a tensão de tração-TS de 72,91 MPa (81 dados), na deformação à ruptura (EB) em 18,12 % (54 dados) e para o módulo de elasticidade (ME) em 430,02 MPa (25 dados), também se destaca um grande

conjunto de amostras com módulo de elasticidade superior a 3440 MPa (aproximadamente 17 %). Para o HPMC (**Figura 5b**) observa-se uma amplitude e desvio padrão de resultados inferiores aos apresentados para o conjunto de resultados da quitosana, da mesma forma verifica-se que o quartil 2 está mais próximo da média ou valor médio, maior número de classes principais em as propriedades de TS (classes: "18,3", "35,6"

e valores superiores) e EB (classes: "16,74" e "29,84") e para o amido de batata (**Figura 5c**) as classes principais para cada uma das propriedades

são TS (classe: "18,11", com 15 amostras), EB (classe: "17,68", com 13 amostras) e ME (classe: "695,06" com 10 amostras).

**Tabela 1**

*Resultados estatísticos de quitosana, HPMC e amido de batata*

Variável	Quitosana			HPMC			Amido de batata		
	TS (MPa)	EB (%)	ME (MPa)	TS (MPa)	EB (%)	ME (MPa)	TS (MPa)	EB (%)	ME (MPa)
Valor Máximo	656,0	162,8	3870,0	70,2	56,0	2492,0	88	86,7	3475
Meia	32,01	15,50	303,50	32,44	17,37	305,00	10,56	11,89	395,00
Desvio padrão	97,35	29,66	1304,69	21,87	14,80	760,77	21,36	25,54	942,74

Nota. Elaboração própria.

Ao comparar os valores das médias, dos três polissacarídeos, fica evidente uma semelhança entre quitosana e HPMC para os valores do módulo de elasticidade (ME) e tensão de tração (TS), destacando-se também o amido. Isso ocorre principalmente, porque tem menos resistência e deformação em comparação com os outros dois polissacarídeos, mas tem um módulo de elasticidade maior. Da mesma forma, observa-se que o HPMC apresenta o melhor resultado nas propriedades de deformação à ruptura (EB) e tensão de tração (TS). Com relação à deformação do material na ruptura, os três materiais apresentam um desvio padrão de aproximadamente 2,788 % entre eles.

A tabela e as figuras de frequência, obtidos na análise estatística dos resultados, demonstram um conjunto elevado de resultados que se distanciam da média e mediana das propriedades mecânicas examinadas. No caso da quitosana, há um conjunto alto de amostras (81 de 95) com valor de tensão de tração próximo a 72,91 Mpa, enquanto seu valor médio se estabelece em 32,01 Mpa. No caso do HPMC, algo semelhante também ocorre para a tensão de tração. Em contrapartida, o amido de batata apresenta concentração de frequências mais próximas da média.

Com base nas informações obtidas na análise estatística, é possível sugerir que o HPMC apresenta os melhores resultados de tensão ou "TS" de 32,44 MPa (valor médio) e deformação de ruptura ou "EB" de 17,37 % (valor médio), seguido pela quitosana: TS = 32,01 MPa (valor médio) e EB = 15,5 % (valor médio). Em relação ao módulo de elasticidade (ME), obteve-se como melhor opção o resultado médio de 395 MPa para a fécula de batata.

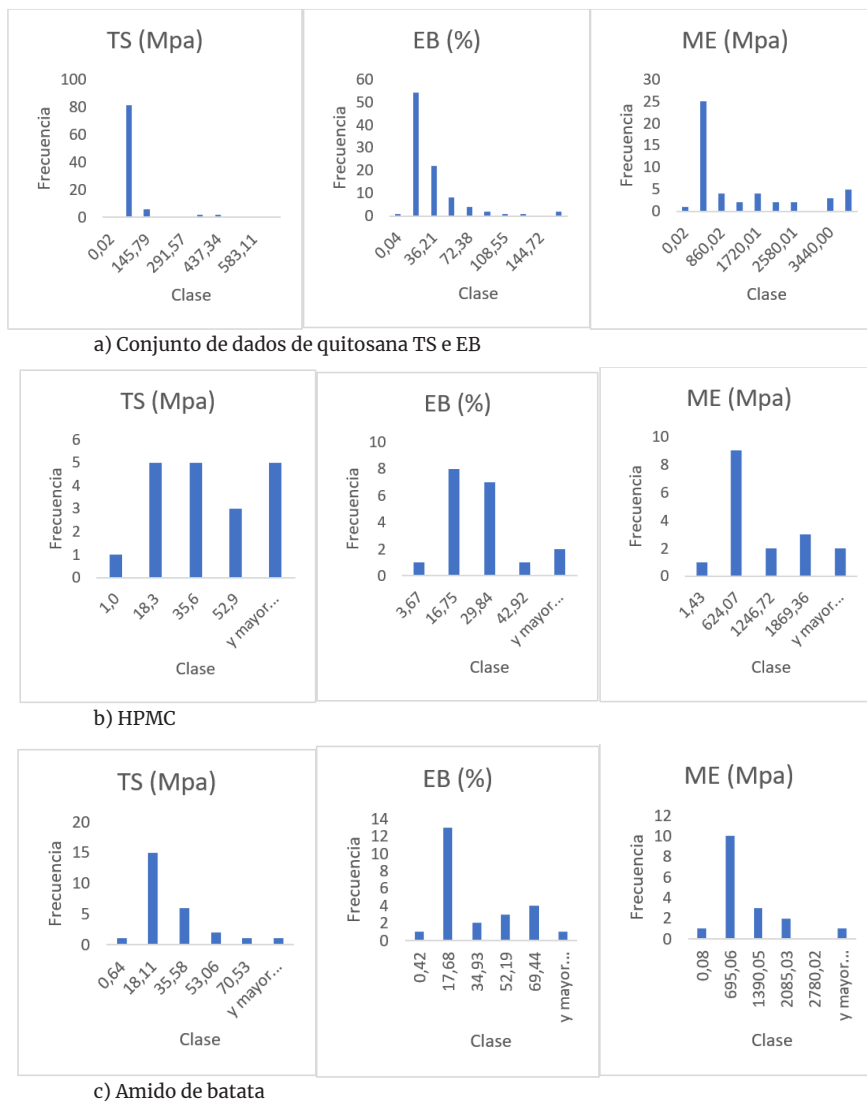
A fim de comparar os resultados com os valores definidos para polímeros convencionais de hidrocarbonetos, que são mostrados na **Tabela 2**, observa-se que os valores do módulo de elasticidade e deformação na ruptura superam os resultados obtidos na mediana de os polissacarídeos examinados, exceto no caso do polietileno de baixa densidade PEBD, utilizado em embalagens plásticas. Os resultados de tensão à tração são muito próximos entre os polímeros examinados e os resultados medianos obtidos no estudo bibliográfico apresentado na **Tabela 1**.

Para determinar entre os polissacarídeos obtidos aquele que apresenta as melhores características para o teste de estresse, foi realizada uma análise multicritério, utilizando o método conhecido como processo de hierarquia analítica ou AHP (por sua sigla em inglês), que permite avaliar cada polissacarídeo em função de suas propriedades individuais e depois comparar cada um desses critérios, que são definidos de acordo com a escala de importância relativa implementando a metodologia proposta por Ishizaka & Nemery (2013), para comparar duas ou mais variáveis, de acordo com uma escala, o critério "1" refere-se a uma equivalência "igualmente preferida", "2" a um conceito "pouco preferido" e o valor de "3" a "moderadamente preferido".

Como valoración de las variables del estudio bibliográfico: tensión na tensão (TS), deformação à ruptura (EB) e módulo de elasticidade (ME), se considerando como prioridade "fraca" a deformação à ruptura sobre o módulo de elasticidade, "moderada" entre a deformação à ruptura e a tensão à tração, e "fraca" entre o módulo de elasticidade e a tensão à tração, conforme demonstrado a seguir matriz de pares

(Tabela 3), estabelecida a partir da comparação das propriedades mecânicas dos polissacarídeos estudados e dos polímeros convencionais, sendo identificado preliminarmente que o critério mais

influyente é a deformação à ruptura, seguida do módulo de elasticidade, segundo a comparação dos valores apresentados pelos polissacarídeos com relação aos polímeros convencionais.



**Figura 5**

*Distribuição da frequência para cada uma das propriedades mecânicas examinadas sob tensão TS (Mpa), EB (%) e ME (Mpa) de a) quitosana, b) HPMC e c) amido de batata*

Nota. Elaboração própria.

**Tabela 2**

*Propriedades mecânicas de tração de filmes de alguns polímeros sintéticos usados convencionalmente em embalagens de alimentos*

Tipo de polímero	TS (MPa)	EB (%)	ME (MPa)
Polietileno de baixa densidade (LDPE)	13	126	156
Polietileno de alta densidade (HDPE)	19	576	640
Polipropileno	27	435	590

Nota. Adaptado de “Biosynthesis and Characterization of Poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate-co-4-hydroxybutyrate) Terpolymer with Various Monomer Compositions by Cupriavidus sp. USMAA2-4”. Ramachandran et al, 2011, *Applied Biochemistry and Biotechnology*. Copyright 2011 por Springer Nature

**Tabela 3**

*Matriz de pares para estudo multicritério e obtenção do autovetor de critérios*

Pares	Matriz de pares			Obtenção do autovetor de critérios				
	TS	EB	ME	Matriz de prioridade		Normalização	Autovetor	
TS	1	1/3	1/2	3	0,92	1,66	5,57	0,16
EB	3	1	2	10	3,00	5,50	18,50	0,54
ME	2	1/2	1	5,5	1,66	3,01	10,16	0,29
			Soma				34,24	1

Nota. Elaboração própria.

Ao comparar os resultados quantitativos da mediana para cada um dos valores ou critérios das propriedades mecânicas do ensaio de tração dos polissacarídeos examinados, somando inicialmente os dados numéricos de cada critério e depois normalizando, obtém-se os seguintes resultados (Tabela 4), verifica-se que a quitosana

tem a melhor possibilidade de competir com as propriedades de tração do polietileno de baixa densidade, sendo um dos polímeros de origem petroquímica mais amplamente implementados na produção de embalagens como sacolas plásticas (Pongrácz, 2007).

**Tabela 4**

*Soma dos resultados para cada critério, obtendo a matriz de alternativas e dados de decisão para a seleção de polissacarídeos*

Polissacarídeo	Soma dos resultados			Matriz de alternativas (normalização)			Decisão
	TS (Mpa)	EB (%)	ME (Mpa)	TS	EB	ME	Resultado
Quitosana	32,01	15,50	303,50	0,42	0,34	0,30	0,34
HPMC	32,44	17,37	305,03	0,43	0,38	0,30	0,37
Amido de batata	10,56	11,89	395,08	0,14	0,26	0,39	0,28
Soma	75,00	44,75	1003,50				

Nota. Elaboração própria.

Dos dados extraídos para o estudo bibliográfico, destaca-se um elevado número de publicações que não apresentam todos os resultados esperados das três propriedades mecânicas em tração, de interesse para esta monografia: Esforço em tração (2 dos artigos não apresentam esta propriedade), deformação à ruptura (4 artigos não fornecem esta informação) e módulo de elasticidade (aproximadamente 42 % dos artigos de pesquisa examinados não fornecem informação sobre esta propriedade).

Para obter um maior conjunto de resultados de propriedades mecânicas em tensão, os valores que foram documentados graficamente em alguns artigos deveriam ter sido usados de forma aproximada. O 18,3 % das publicações apresentam os resultados de forma gráfica, suprimindo os resultados numéricos nas propriedades do teste de estresse de interesse.

Outra fragilidade encontrada entre os pesquisadores que fazem esse tipo de caracterização é comparar os dados obtidos em termos percentuais. Mas a maioria dos artigos publicou tabelas com os dados numéricos, e até anexou os gráficos, sendo de grande interesse para identificar o comportamento mecânico do filme ao longo do ensaio de estresse.

## Conclusões

Existem múltiplas variáveis na produção de filmes que afetam o comportamento mecânico dos materiais, como as características das matérias-primas, formulação das misturas, condições no processo de preparação dos filmes (velocidade de agitação, rampas de temperatura, método de moldagem, condicionamento ambiental, entre outros parâmetros), mas também é necessário incluir controles rigorosos



na medição dimensional das amostras obtidas, especificar todos os detalhes do equipamento utilizado para as medições (marca, modelo, software, capacidade do célula de carga, uso de dispositivo extensômetro, etc.), condições de teste (principalmente velocidade de teste e condições ambientais) e método de teste (padrão ou protocolo aplicado e equações para determinar os principais valores esperados: tensão de tração, porcentagem de deformação e módulo de elasticidade).

Os resultados das propriedades mecânicas sob tensão permitem avaliar a resistência de filmes de polissacarídeos submetidos a esta situação, mas é necessário estimar conjuntamente todas as outras propriedades físicas, químicas e biológicas, para definir um biopolímero que atenda a todas as expectativas esperadas na embalagem do alimento: produto econômico, películas de fácil obtenção, resistente às condições dos diversos alimentos a serem transportados (mudanças de temperatura, permeabilidade ao vapor, proteção do meio externo, etc.), capacidade de isolar o alimento do meio ambiente, controle na proliferação de microorganismos, restringem os efeitos da contaminação cruzada, biodegradabilidade, entre outros.

A grande dispersão de resultados demonstra o efeito de cada uma das variáveis implícitas na produção de um filme, sendo que no caso do estudo bibliográfico, a busca limitou-se à revelação de filmes obtidos em escala laboratorial, portanto, ao dimensionar a produção a nível industrial das embalagens alimentares é necessário, uma vez mais, determinar os efeitos do processo, sendo muito útil a implementação de ensaios mecânicos para estabelecer controles de qualidade das propriedades de módulo de elasticidade, deformação à ruptura e tensão de tração.

## Referências

- Adel, A., El-shafei, A., Ibrahim, A., & Al-shemy, M. (2018). Industrial Crops & Products Extraction of oxidized nanocellulose from date palm (*Phoenix Dactylifera L.*) sheath fibers: Influence of CI and CII polymorphs on the properties of chitosan / bionanocomposite films. *Industrial Crops & Products*, 124 (July), 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.073>
- Ahmed, J., Mulla, M., Ali, Y., Arockia, L., & Thai, T. (2017). Food Hydrocolloids Mechanical, thermal, structural and barrier properties of crab shell chitosan / graphene oxide composite films. *Food Hydrocolloids*, 71, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.013>
- Aila-suárez, S., Palma-rodríguez, H. M., Rodríguez-hernández, A. I., Hernández-uribe, J. P., Bello-pérez, L. A., & Vargas-torres, A. (2013). Characterization of films made with chayote tuber and potato starches blending with cellulose nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.022>
- Akyuz, L., Kaya, M., Ilk, S., Selim, Y., Salaberria, A. M., & Labidi, J. (2018). Effect of different animal fat and plant oil additives on physicochemical, mechanical, antimicrobial and antioxidant properties of chitosan films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 111, 475–484. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.045>
- Akyuz, L., Kaya, M., Mujtaba, M., Ilk, S., Sargin, I., Salaberria, A. M., Islek, C. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Supplementing capsaicin with chitosan-based films enhanced the anti-quorum sensin, antimicrobial, antioxidant, transparency, elasticity and hydrophobicity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 115, 438–446. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.040>
- Aljawish, A., Muniglia, L., Klouj, A., & Jasniewski, J. (2016). Characterization of films based on enzymatically modified chitosan derivatives with phenol compounds. *Food Hydrocolloids*, 60, 551–558. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.032>
- Almeida, M. R., Magalh, J. M. C. S., Química, D. D. E., Engenharia, F. De Porto, U., & Frias, R. R. (2018). the role of choline chloride-based deep eutectic solvent and curcumin on chitosan films properties. *Food Hydrocolloids*, 81, 456–466. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.025>
- ANDIGRAD. (2021). Perfil envases y empaques. *Investigaciones económicas*. <https://andigraf.com.co/wp-content/uploads/2021/03/Envases-y-Empaques-2021.pdf>
- Aguirre-loredo, R. Y., Velazquez, G., Gutierrez, M. C., Castro-rosas, J., Rangel-vargas, E., & Gómez-aldapa, C. A. (2018). Effect of air flow presence during the manufacturing of biodegradable films from polymers with different structural conformation. *Food Packaging and Shelf Life*, 17, 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.06.007>
- Akhtar, M., Jacquot, M., Jamshidian, M., Imran, M., & Arab-tehrány, E. (2013). Food Hydrocolloids Fabrication and physicochemical characterization of HPMC films with commercial plant extract: Influence of light and film composition. *Food Hydrocolloids*, 31(2), 420–427. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.10.008>
- Azadbakht, E., Maghsoudlou, Y., Khomiri, M., & Kashiri, M. (2018). Development and structural characterization of chitosan films containing Eucalyptus globulus essential oil: Potential as an antimicrobial carrier for packaging of sliced sausage. *Food Packaging and Shelf Life*, 17(November 2017), 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.007>

- Balti, R., Ben, M., Sayari, N., Yacoubi, L., Rabaoui, L., Brodu, N., & Masse, A. (2017). International Journal of Biological Macromolecules Development and characterization of bioactive edible films from spider crab (*Maja crispata*) chitosan incorporated with Spirulina extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 1464–1472. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.046>
- Bansal, M., Chauhan, G. S., Kaushik, A., & Sharma, A. (2016). International Journal of Biological Macromolecules Extraction and functionalization of bagasse cellulose nanofibres to Schiff-base based antimicrobial membranes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 91, 887–894. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.045>
- Basiak, E., Lenart, A., & Debeaufort, F. (2017). International Journal of Biological Macromolecules Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98, 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.122>
- Beigzadeh Ghelejlou, S., Esmaili, M., & Almasi, H. (2016). Characterization of chitosan-nanoclay bionanocomposite active films containing milk thistle extract. *International journal of biological macromolecules*, 86, 613–621. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.02.012>
- Bonilla, J., Fortunati, E., Atarés, L., Chiralt, A., & Kenny, J. M. (2014). Food Hydrocolloids Physical, structural and antimicrobial properties of poly vinyl alcohol e chitosan biodegradable films. *Food Hydrocolloids*, 35, 463–470. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.07.002>
- Bonilla, J., & Sobral, P. J. A. (2016). Food Bioscience Investigation of the physicochemical, antimicrobial and antioxidant properties of gelatin-chitosan edible film mixed with plant ethanolic extracts. *Food Bioscience*, 16, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.07.003>
- Bonilla, J., Poloni, T., Lourenço, R. V. & Sobral, P. J. A. (2018). Food Bioscience Antioxidant potential of eugenol and ginger essential oils with gelatin / chitosan films. *Food Bioscience*, 23 (August 2017), 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.03.007>
- Cano, A., Jiménez, A., Cháfer, M., González, C., & Chiralt, A. (2014). Effect of amylose: amylopectin ratio and rice bran addition on starch films properties. *Carbohydrate polymers*, 111, 543–555. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.075>
- Chang, W., Liu, F., Sharif, H. R., Huang, Z., Goff, H. D., & Zhong, F. (2018). Preparation of chitosan films by neutralization for improving their preservation effects on chilled meat. *Food Hydrocolloids* 90, 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.026>
- Chi, K., & Catchmark, J. M. (2018). Food Hydrocolloids Improved eco-friendly barrier materials based on crystalline nanocellulose / chitosan / carboxymethyl cellulose polyelectrolyte complexes. *Food Hydrocolloids*, 80, 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.003>
- Cieśla, K., Sartowska B. (2016). Modification of the microstructure of the films formed by gamma irradiated starch examined by SEM. *Radiation Physics and Chemistry* 118, 87–95
- Coelho, C. C. S., Cerqueira, M. A., Pereira, R. N., Pastrana, L. M., Freitas-silva, O., Vicente, A. A. Teixeira, J. A. (2017). Effect of moderate electric fields in the properties of starch and chitosan films reinforced with microcrystalline cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 174, 1181–1191. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.07.007>
- Costa, M. J., Cerqueira, M. A., Ruiz, H. A., Fougnes, C., Richel, A., Vicente, A. A., ... Aguedo, M. (2015). Use of wheat bran arabinoxylans in chitosan-based films: Effect on physicochemical properties. *Industrial Crops & Products*, 66, 305–311. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.003>
- Ding, C., Zhang, M., & Li, G. (2015). Preparation and characterization of collagen / hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) blend film. *Carbohydrate Polymers*, 119, 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.11.057>
- Escobar-Sierra, D. M., & Perea-Mesa, Y. P. (2017). Manufacturing and evaluation of Chitosan, PVA and Aloe Vera hydrogels for skin applications. *DYNA*, 84 (203), 134–142.
- Ferreira, A. R. V, Torres, C. A. V, Freitas, F., Sevrin, C., Grandfils, C., Reis, M. A. M.Coelhoso, I. M. (2016). Development and characterization of bilayer films of FucóPol and chitosan. *Carbohydrate Polymers*, 147, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.089>
- Ghosh, T. K., Gope, S., Mondal, D., Bhowmik, B., Mollick, M. M. R., Maity, D., ... Chattopadhyay, D. (2014). Assessment of morphology and property of graphene oxide-hydroxypropylmethylcellulose nanocomposite films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 66, 338–345. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.02.054>
- Giannakas, A., Vlachas, M., Salmas, C., Leontiou, A., Katapodis, P., Stamatis, H., & Barkoula, N. (2016). Preparation, characterization, mechanical, barrier and antimicrobial properties of chitosan / PVOH / clay nanocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 140, 408–415. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.12.072>
- Gomes, V., Souza, L., Pires, J. R. A., Freitas, P., Lopes, A. A. S., Fernandes, F. M. B., ... Luisa, A. (2018). Bionanocomposites of chitosan/montmorillonite incorporated with Rosmarinus officinalis essential oil: Development and physical characterization. *Food Packaging and Shelf Life*, 16 (April), 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.009>
- Grande-Tovar, C. D., Serio, A., Delgado-Ospina, J., Paparella, A., Rossi, C., & Chaves-López, C. (2018). Chitosan films incorporated with *Thymus capitatus* essential oil: mechanical properties and antimicrobial activity against degradative bacterial species isolated from tuna (*Thunnus sp.*) and swordfish (*Xiphias gladius*). *Journal of food science and technology*, 55(10), 4256–4265. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3364-y>
- Grande, C. D., Mangadlao, J., Fan, J., De Leon, A., Delgado-Ospina, J., Rojas, J. G., Rodrigues, D. F., & Advincula, R. (2017). Chitosan Cross-Linked Graphene Oxide Nanocomposite Films with Antimicrobial

Activity for Application in Food Industry. *Macromolecular Symposia*, 374 (1), [1600114]. <https://doi.org/10.1002/masy.201600114>

Greenpeace. (2018). Colombia, mejor sin plásticos. La contaminación plástica en Colombia y el mundo. [http://greenpeace.co/pdf/reporte\\_plasticos.pdf](http://greenpeace.co/pdf/reporte_plasticos.pdf)

Gursoy, M., Sargin, I., Mujtaba, M., Akyuz, B., Ilk, S., Akyuz, & L. Erdem, N. (2018). International Journal of Biological Macromolecules False flax (*Camelina sativa*) Seed oil as suitable ingredient for the enhancement of physicochemical and biological properties of chitosan films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 1224–1232. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.029>

Hassan, E. A., Fadel, S. M., & Hassan, M. L. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Influence of TEMPO-oxidized NFC on the mechanical, barrier properties and nisin release of hydroxypropyl methylcellulose bioactive films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 616–622. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.140>

Homez-Jara, A., Daza, L. D., Aguirre, D. M., Muñoz, J. A., Solanilla, J. F., & Vaquiro, H. A. (2018). Characterization of chitosan edible films obtained with various polymer concentrations and drying temperatures. *International journal of biological macromolecules*, 113, 1233–1240. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.057>

Huang, X., Xie, F., & Xiong, X. (2018). *Surface-modified microcrystalline cellulose for reinforcement of chitosan film*, 2018(March), 367–373. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.085>

Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). Multi-Criteria Decision Analysis. New Delhi: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118644898>

Jafari, H., Pirouzifard, M., Khaledabad, M. A., & Almasi, H. (2016). International Journal of Biological Macromolecules Effect of chitin nanofiber on the morphological and physical properties of chitosan / silver nanoparticle bio-nanocomposite films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 461–466. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.07.051>

Jiang, S., Liu, C., Wang, X., Xiong, L., & Sun, Q. (2016). *LWT - Food Science and Technology* Physicochemical properties of starch nanocomposite films enhanced by self-assembled potato starch nanoparticles. *LWT - Food Science and Technology*, 69, 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.053>

Kadam, D., & Lele, S. S. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Cross-linking effect of polyphenolic extracts of *Lepidium sativum* seedcake on physicochemical properties of chitosan films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 1240–1247. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.018>

Kadam, D., Shah, N., Palamthodi, S., & Lele, S. S. (2018). An investigation on the effect of polyphenolic extracts of *Nigella sativa* seedcake on physicochemical properties of chitosan-based films. *Carbohydrate Polymers*, 192, 347–355. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.052>

Kaewklin, P., Siripatrawan, U., Suwanagul, A., & Suk, Y. (2018). International Journal of Biological Macromolecules Active packaging from chitosan-titanium dioxide nanocomposite film for prolonging storage life of tomato fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112, 523–529. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.124>

Kenny, M., Peponi, L., Sessini, V., & Arrieta, M. P. (2016). Processing of edible films based on nanoreinforced gelatinized starch, 132. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.02.026>

Kalaycıoğlu, Z., Torlak, E., Akın-Evingür, G., Özen, I., & Erim, F. B. (2017). Antimicrobial and physical properties of chitosan films incorporated with turmeric extract. *International journal of biological macromolecules*, 101, 882–888. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.174>

Klangmuang, P., & Sothornvit, R. (2016). Barrier properties, mechanical properties and antimicrobial activity of hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite films incorporated with Thai essential oils. *Food Hydrocolloids*, 61, 609–616. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.018>

Klangmuang, P., & Sothornvit, R. (2016). Combination of beeswax and nanoclay on barriers, sorption isotherm and mechanical properties of hydroxypropyl methylcellulose-based composite films. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 222–227. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.003>

Lamarra, J., Giannuzzi, L., Rivero, S., & Pinotti, A. (2017). Assembly of chitosan support matrix with gallic acid-functionalized nanoparticles. *Materials Science & Engineering C*, 79, 848–859. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.05.104>

Leceta, I., Guerrero, P., Ibarburu, I., Dueñas, M. T., & Caba, K. De. (2013). Characterization and antimicrobial analysis of chitosan-based films. *Journal of Food Engineering*, 116(4), 889–899. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.022>

Lee, M. H., Kim, S. Y., & Park, H. J. (2018). Effect of halloysite nanoclay on the physical, mechanical, and antioxidant properties of chitosan films incorporated with clove essential oil. *Food Hydrocolloids*, 84, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.048>

Li, J., Ye, F., Liu, J., & Zhao, G. (2015). Effects of octenylsuccination on physical, mechanical and moisture-proof properties of stretchable sweet potato starch film. *Food Hydrocolloids*, 46, 226–232. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.12.017>

Li, X., Tu, H., Huang, M., Chen, J., Shi, X., Deng, H. Du, Y. (2017). Incorporation of lysozyme-rectorite composites into chitosan films for antibacterial properties enhancement. *International Journal of Biological Macromolecules*, 102, 789–795. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.04.076>

Liu, J., Liu, S., Wu, Q., Gu, Y., Kan, J., & Jin, C. (2017). Effect of protocatechuic acid incorporation on the physical, mechanical, structural and antioxidant properties of chitosan film. *Food Hydrocolloids*, 73, 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.035>

Liu, J., Meng, C., Liu, S., Kan, J., & Jin, C. (2017). Preparation and characterization of protocatechuic

acid grafted chitosan films with antioxidant activity. *Food Hydrocolloids*, 63, 457-466. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.035>

Liu, P., Wang, R., Kang, X., Cui, B., & Yu, B. (2018). Effects of ultrasonic treatment on amylose-lipid complex formation and properties of sweet potato starch-based films. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 44, 215-222. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.02.029>

Ma, W., Tang, C., Yang, X., & Yin, S. (2013). Fabrication and characterization of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L) protein isolate e chitosan composite films at acidic pH. *Food Hydrocolloids*, 31(2), 237-247. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.10.007>

Ma, X., Lv, M., Anderson, D. P., & Chang, P. R. (2017). Natural polysaccharide composites based on modified cellulose spheres and plasticized chitosan matrix. *Food Hydrocolloids*, 66, 276-285. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.11.038>

Mondal, D., Bhowmick, B., Mollick, M. R., Maity, D., Mukhopadhyay, A., Rana, D., & Chattopadhyay, D. (2013). Effect of clay concentration on morphology and properties of hydroxypropylmethylcellulose films. *Carbohydrate Polymers*, 96(1), 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.03.064>

Montoya, U., Zuluaga, R., Castro, C., Goyanes, S., & Ganán, P. (2014). Development of composite films based on thermoplastic starch and cellulose microfibrils from Colombian agroindustrial wastes. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27(3), 413-426. <http://dx.doi.org/10.1177/0892705712461663>

Moraes, T. De, Oliveira, A. De, Alves, V. D., & Hickmann, S. (2018). Active food packaging prepared with chitosan and olive pomace. *Food Hydrocolloids*, 74, 139-150. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.007>

Moreno, O., Atarés, L., & Chiralt, A. (2015). Effect of the incorporation of antimicrobial/antioxidant proteins on the properties of potato starch films. *Carbohydrate Polymers*, 133, 353-364. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.07.047>

Mujtaba, M., Salaberria, A. M., Andres, M. A., Kaya, M., Gunyakti, A., & Labidi, J. (2017). Utilization of flax (*Linum usitatissimum*) cellulose nanocrystals as reinforcing material for chitosan films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 944-952. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.127>

Nouri, A., Tavakkoli, M., & Ghorbanpour, M. (2018). Enhanced Antibacterial effect of chitosan film using Montmorillonite / CuO nanocomposite. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1219-1231. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.119>

Oleyaei SA, Almasi H, Ghanbarzadeh B, Moayedi AA, (2016). Synergistic reinforcing effect of TiO2 and montmorillonite on potato starch nanocomposite films: thermal, mechanical and barrier properties. *Carbohydr Polym*, 152, 253-262. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.04027516271>

Otoni, C. G., Lodi, B. D., Lorevice, M. V., Leitão, R. C., Ferreira, M. D., Moura, M. R. De, & Mattoso, L. H. C. (2018). Optimized and scaled-up production of cellulose-reinforced biodegradable composite films

made up of carrot processing waste. *Industrial Crops & Products*, 121, 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.003>

Otoni, C. G., Lorevice, M. V., Moura, M. R. De, & Mattoso, L. H. C. (2018). On the Effects of hydroxyl substitution degree and molecular weight on mechanical and water barrier properties of hydroxypropyl methylcellulose films. *Carbohydrate Polymers*, 185 (November 2017), 105-111. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.016>

Peng, Y., Wu, Y., & Li, Y. (2013). Development of tea extracts and chitosan composite films for active packaging materials. *International Journal of Biological Macromolecules*, 59, 282-289. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.04.019>

Pereda, M., Dufresne, A., Aranguren, M. I., & Marcovich, N. E. (2014). Polyelectrolyte films based on chitosan/olive oil and reinforced with cellulose nanocrystals. *Carbohydrate Polymers*, 101, 1018-1026. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.046>

Pereira, Jr. Arruda, Q. De, Stefani, R. (2015). Active chitosan/PVA films with anthocyanins from *Brassica oleracea* (Red Cabbage) as Time Temperature Indicators for application in intelligent food packaging. *Food Hydrocolloids*, 43, 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.05.014>

Perone, N., Torrieri, E., Adalgisa, M., Cavella, S., Addeo, F., & Masi, P. (2014). Structure and properties of hydroxypropyl methyl cellulose - Sodium caseinate film cross-linked by TGase. *Food Packaging and Shelf Life*, 1(2), 113-122. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.03.002>

Phillips, M., Epps, A. V., Johnson, N., & Zwicky, D. (2018). Effective Engineering Information Literacy Instruction: A Systematic Literature Review. *The Journal of Academic Librarianship*, 44, 705-71. <https://doi.org/10.1016/j.acalib.2018.10.006>

Priyadarshi, R., Kumar, B., & Negi, Y. S. (2018). Chitosan film incorporated with citric acid and glycerol as an active packaging material for extension of green chilli shelf life. *Carbohydrate Polymers*, 195, 329-338. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.089>

Priyadarshi, R., Kumar, B., Deeba, F., & Kulshreshtha, A. (2018). Food Hydrocolloids Chitosan films incorporated with Apricot (*Prunus armeniaca*) kernel essential oil as active food packaging material. *Food Hydrocolloids*, 85, 158-166. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.003>

Pongrácz, E. (2007). The Environmental Impacts of Packaging. In M. Kutz, *Environmentally Conscious Materials and Chemicals Processing*, (pp. 237-278). Oulu, Finland: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470168219.ch9>

Priyadarshi, R., Kumar, B., & Negi, Y. S. (2018). Chitosan film incorporated with citric acid and glycerol as an active packaging material for extension of green chilli shelf life. *Carbohydrate Polymers*, 195, 329-338. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.089>

Priyadarshi, R., Kumar, B., Deeba, F., & Kulshreshtha, A. (2018). Chitosan films incorporated with Apricot (*Prunus armeniaca*) kernel essential oil as active food

packaging material. *Food Hydrocolloids*, 85, 158–166. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.003>

Rahmani, B., Hosseini, H., Khani, M., Farhoodj, M., Honarvar, Z., Feizollahi, E.; Shojaee-alibadi, S. (2017). Development and characterization of chitosan or alginate-coated low density polyethylene films containing *Satureja hortensis* extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.002>

Ramachandran, H., Iqbal, N., Sipaut, C., & Abdullah, A. (2011). Biosynthesis and Characterization of Poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate-co-4-hydroxybutyrate) Terpolymer with Various Monomer Compositions by *Cupriavidus* sp. USMAA2-4. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 164(6), 867–877. <http://dx.doi.org/10.1007/s12010-011-9180-8>

Rezaee, M., Askari, G., Emamdjomeh, Z., & Salami, M. (2018). Effect of organic additives on physicochemical properties and anti-oxidant release from chitosan-gelatin composite films to fatty food simulant. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 844–850. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.122>

Riaz, A., Lei, S., Akhtar, S., Wan, P., Chen, D., Jabbar, S., Zeng, X. (2018). Preparation and characterization of chitosan-based antimicrobial active food packaging film incorporated with apple peel polyphenols. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 547–555. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.126>

Rui, L., Xie, M., Hu, B., Zhou, L., Yin, D., & Zeng, X. (2017). A comparative study on chitosan / gelatin composite films with conjugated or incorporated gallic acid. *Carbohydrate Polymers*, 173, 473–481. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.05.072>

Salaberria, A. M., Diaz, R. H., Labidi, J., & Fernandes, S. C. M. (2015). Preparing valuable renewable nanocomposite films based exclusively on oceanic biomass – Chitin nanofillers and chitosan. *Reactive and functional polymers*, 89, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2015.03.003>

Salari, M., Sowti, M., Rezaei, R., & Ghanbarzadeh, B. (2018). Development and evaluation of chitosan based active nanocomposite films containing bacterial cellulose nanocrystals and silver nanoparticles. *Food Hydrocolloids*, 84, 414–423. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.037>

Sánchez-González, L., Iván, J., Saavedra, Q., & Chiralt, A. (2013). Physical properties and antilisterial activity of bioactive edible films containing *Lactobacillus plantarum*. *Food Hydrocolloids*, 33 (1), 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.02.011>

Santacruz, S., Rivadeneira, C., & Castro, M. (2015). Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant and hydrophobic tail and mechanical treatment. *Food Hydrocolloids*, 49, 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.019>

Shankar, S., & Rhim, J. (2018). Preparation of sulfur nanoparticle-incorporated antimicrobial chitosan films. *Food Hydrocolloids*, 82, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.054>

Shen, Z., & Kamdem, D. P. (2015). Development and characterization of biodegradable chitosan films containing two essential oils. *International Journal of Biological Macromolecules*, 74, 289–296. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.11.046>

Sadegh-Hassani, F., & Nafchi, A. M. (2014). Macromolecules Preparation and characterization of bionanocomposite films based on potato starch / halloysite nanoclay. *International Journal of Biological Macromolecules*, 67, 458–462. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.04.009>

Silva, R. T. De, Mantilaka, M. M. M. G. P. G., Ratnayake, S. P., Amaratunga, G. A. J., & Silva, K. M. N. De. (2017). Nano-MgO reinforced chitosan nanocomposites for high performance packaging applications with improved mechanical, thermal and barrier properties. *Carbohydrate Polymers*, 157, 739–747. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.038>

Sivaselvi, K., & Ghosh, P. (2017). Characterization of modified Chitosan thin film. *Materials Today: Proceedings*, 4 (2), 442–451. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.043>

Siripatrawan, U., & Kaewklin, P. (2018). Fabrication and characterization of chitosan-titanium dioxide nanocomposite film as ethylene scavenging and antimicrobial active food packaging. *Food Hydrocolloids*, 84, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.049>

Siripatrawan, U., & Vitchayakitti, W. (2016). Improving functional properties of chitosan films as active food packaging by incorporating with propolis. *Food Hydrocolloids*, 61, 695–702. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.001>

Sivaselvi, K., & Ghosh, P. (2017). Characterization of modified Chitosan thin film. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 442–451. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.043>

Sivaselvi, K., & Ghosh, P. (2018). Polymer thin film coating on Biomaterial. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3418–3424. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.587>

Sogut, E., & Seydim, A. C. (2018). The Effects of Chitosan and grape seed extract-based edible films on the quality of vacuum packaged chicken breast fillets. *Food packaging*, 18, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.07.006>

Soni, B., Barbary, E., Schilling, M. W., & Mahmoud, B. (2016). Transparent bionanocomposite films based on chitosan and TEMPO-oxidized cellulose nanofibers with enhanced mechanical and barrier properties. *Carbohydrate Polymers*, 151, 779–789. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.022>

Souza, B., Cerqueira, M., Martins, J., & Casariego, A. (2010). Influence of electric fields on the structure of chitosan edible coatings. *Food Hydrocolloids*, 24(4), 330–335.

Sun, L., Sun, J., Chen, L., Niu, P., Yang, X., & Guo, Y. (2017). Preparation and characterization of chitosan film incorporated with thinned young apple polyphenols as an active packaging material. *Carbohydrate Polymers*, 163, 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.016>

- Tan, Y. M., Lim, S. H., Tay, B. Y., Lee, M. W., & Thian, E. S. (2015). Functional chitosan-based grapefruit seed extract composite films for applications in food packaging technology. *Materials Research Bulletin*, 69, 142–146. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2014.11.041>
- Vargas, G., Martínez, P., & Velezmoro, C. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria*, 7(3), 223–230. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.09>
- Vaštag, G., Popovic, S. Z., Markov, S. L., Šuput, D. Z., Hrmiš, N. M., Lazic, V. L., Popović, L. M. (2015). Optimization of chitosan biofilm properties by addition of caraway essential oil and beeswax. *Journal of Food Engineering*, 158, 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.01.001>
- Velásquez-Cock, J., Ramírez, E., Betancourt, S., Putaux, J. L., Osorio, M., Castro, C., Gañan, P., & Zuluaga, R. (2014). Influence of the acid type in the production of chitosan films reinforced with bacterial nanocellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, 69, 208–213. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.05.040>
- Vilela, C., Pinto, R. J. B., Coelho, J., Domingues, M. R. M., Daina, S., Santos, A. O., Sadocco, P. (2017). Bioactive chitosan/ellagic acid films with UV-light protection for active food packaging. *Food Hydrocolloids*, 73, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.037>
- Villada, H., Acosta, H., & Velasco, R. (2007). Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas Agrarios*, 12(2), 5–13.
- Vlacha, M., Giannakas, A., Katapodis, P., Stamatis, H., Ladavos, A., & Barkoula, N. (2016). On the efficiency of oleic acid as plasticizer of chitosan / clay nanocomposites and its role on thermo-mechanical, barrier and antimicrobial properties e Comparison with glycerol. *Food Hydrocolloids*, 57, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.01.003>
- Yang, W., Owczarek, J. S., Fortunati, E., Kozanecki, M., Mazzaglia, A., Balestra, G. M., Puglia, D. (2016). Antioxidant and antibacterial lignin nanoparticles in polyvinyl alcohol / chitosan films for active packaging. *Industrial Crops & Products*, 94, 800–811. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.061>
- Yoshida, C. M. P., Borges, V., Maciel, V., Eleonora, M., & Mendonça, D. (2014). Chitosan biobased and intelligent films: Monitoring pH variations. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.015>
- Youssef, A. M., Abou-yousef, H., El-sayed, S. M., & Kamel, S. (2015). Mechanical and antibacterial properties of novel high performance chitosan/nanocomposite films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 76, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.02.016>
- Yu, Z., Li, B., Chu, J., & Zhang, P. (2018). Silica in situ enhanced PVA/chitosan biodegradable films for food packages. *Carbohydrate Polymers*, 184, 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.12.043>
- Wang, Q., & Padua, G. (2005). Properties of zein films coated with drying oils. *Agric Food Chem*, 53, 3444–3448.
- Wang, Y., Yu, L., Xie, F., Zhang, L., Liao, L., Liu, H., & Chen, L. (2016). Morphology and properties of thermal/cooling-gel bi-phasic systems based on hydroxypropyl methylcellulose and hydroxypropyl starch. *Composites Part B*, 101, 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.06.081>
- Wu, Y., Ying, Y., Liu, Y., Zhang, H., & Huang, J. (2018). Preparation of chitosan/poly vinyl alcohol films and their inhibition of biofilm formation against *Pseudomonas aeruginosa* PAO1. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, 2131–2137. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.07.061>
- Wang, Y., Yu, L., Xie, F., Li, S., Sun, Q., Liu, H., & Chen, L. (2018). On the investigation of thermal/cooling-gel biphasic systems based on hydroxypropyl methylcellulose and hydroxypropyl starch. *Industrial Crops & Products*, 124, 418–428. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.010>
- Wu, M., Wang, L., Li, D., Mao, Z., & Adhikari, B. (2013). Effect of flaxseed meal on the dynamic mechanical properties of starch-based films. *Journal of Food Engineering*, 118(4), 365–370. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.04.017>
- Zdanowicz, M., & Johansson, C. (2016). Mechanical and barrier properties of starch-based films plasticized with two- or three component deep eutectic solvents. *Carbohydrate Polymers*, 151, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.061>
- Zhang, W., Chen, J., Chen, Y., Xia, W., Xiong, Y. L., & Wang, H. (2016). Enhanced physicochemical properties of chitosan / whey protein isolate composite film by sodium laurate-modified TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 138, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.11.031>
- Zhang, L., Zhao, Y., Qian, J., Jiang, S., Liu, J., & He, X. (2017). Relationship between multi-scale structures and properties of photophobic films based on hydroxypropyl methylcellulose and monosodium phosphate. *Carbohydrate Polymers*, 174, 572–579. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.06.083>
- Zhang, X., Xiao, G., Wang, Y., Zhao, Y., Su, H., & Tan, T. (2017). Preparation of chitosan-TiO<sub>2</sub> composite film with efficient antimicrobial activities under visible light for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 169, 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.073>
- Zhang, L., Lu, Y., Peng, Y., Yu, Y., Zhao, Y., Ma, Y., & Qian, J. (2018). Microstructures and properties of photophobic films composed of hydroxypropyl methylcellulose and different salts. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 945–951. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.011>
- Zhang, L., Wang, X., Liu, H., Yu, L., Wang, Y., Simon, G. P., & Qian, J. (2018). Effect of plasticizers on microstructure, compatibility and mechanical property of hydroxypropyl methylcellulose/hydroxypropyl starch blends. *International Journal of Biological Macromolecules*, 119, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.07.064>

## Apêndice

### Resumo das propriedades mecânicas para cada artigo selecionado

Artigo	TS (MPa)	EB (%)	ME (MPa)	Fonte
C1	50,96	14,10	1307,03	Sogut y Seydim (2018)
C2	29,90	5,32	9,68	Huang <i>et al.</i> (2018)
C3	9,45	4,86	3610,00	Priyadarshi <i>et al.</i> (2018)
C4	16,74	50,81	113,65	Adel <i>et al.</i> (2018)
C5	11,50	58,00		Siripatrawan y Kaewklin (2018)
C6	19,00	72,00		Lee <i>et al.</i> (2018)
C7	21,07	33,84	97,05	Salari <i>et al.</i> (2018)
C8	31,78	20,71		Wu <i>et al.</i> (2018)
C9	65,50	3,20		Chang <i>et al.</i> (2018)
C10	32,30	21,40	1680,00	Shankar y Rhim (2018)
C11	52,22	2,22	3221,20	Priyadarshi <i>et al.</i> (2018)
C12	36,70	21,58		Azadbakht <i>et al.</i> (2018)
C13	27,23	3,73	1346,82	Akyuz <i>et al.</i> (2018)
C14	33,80	2,10	42,80	Almeida <i>et al.</i> (2018)
C15	13,97	16,58	554,25	Gursoy <i>et al.</i> (2018)
C16	27,13	28,00		Riaz <i>et al.</i> (2018)
C17	48,72	28,59		Kadam y Lele (2018)
C18	97,63	14,24		Rezaee <i>et al.</i> (2018)
C19	52,82	22,88		Kadam <i>et al.</i> (2018)
C20	43,20	2,40	3100,00	Chi y Catchmark (2018)
C21	46,70	17,90	2047,00	Gomes <i>et al.</i> (2018)
C22	10,96	57,71		Kaewklin <i>et al.</i> (2018)
C23	55,00	5,70	148,00	Bonilla <i>et al.</i> (2018)
C24	5,54	17,92	224,28	Akyuz <i>et al.</i> (2018)
C25	46,20	8,20		Nouri <i>et al.</i> (2018)
C26	28,00	110,00		Yu <i>et al.</i> (2018)
C27	16,76	23,05	69,11	Moraes <i>et al.</i> (2018)
C28	0,02	0,08	429,00	Sivaselvi y Ghosh (2018)
C29	21,24	26,13		Balti <i>et al.</i> (2017)
C30	55,30	22,00	3830,00	Vilela <i>et al.</i> (2017)
C31	40,84	62,80		Liu <i>et al.</i> (2017)
C32	2,70	38,27		Rahmani <i>et al.</i> (2017)
C33	20,00	35,00	342,00	Souza <i>et al.</i> (2017)
C34	5,40	37,16	21,75	Mujtaba <i>et al.</i> (2017)
C35-P17	3,05	108,21	0,02	Coelho <i>et al.</i> (2017)
C36	6,99	72,70		Ahmed <i>et al.</i> (2017)
C37	23,50	18,00		Lamarra <i>et al.</i> (2017)
C38	27,14	26,30	103,18	Rui <i>et al.</i> , (2017)
C39	38,39	12,44	2419,69	Li <i>et al.</i> (2017)
C40	32,20	6,35	2064,00	Kalaycioğlu <i>et al.</i> (2017)
C41	24,43	15,23		Zhang <i>et al.</i> (2017)
C42	26,50	162,80		Sun <i>et al.</i> , (2017)
0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
C43	26,80	50,90		Ma <i>et al.</i> , (2017)
C44	22,10	5,50	1000,00	Silva <i>et al.</i> (2017)
C45	38,37	4,17		Liu <i>et al.</i> (2017)
C46	0,02	0,03	0,97	Sivaselvi y Ghosh (2017)

Artigo	TS (MPa)	EB (%)	ME (MPa)	Fonte
C47	36,00	5,72	1334,00	Yang <i>et al.</i> , (2016)
C48	6,00	5,40		Siripatrawan y Vitchayakitti, (2016)
C49	3,40	28,00	61,00	Bonilla y Sobral, (2016)
C50	21,98	23,09	435,76	Jafari <i>et al.</i> , (2016)
C51	10,70	9,20	265,00	Soni <i>et al.</i> , (2016)
C52	66,20	10,80	3100,00	Aljawish <i>et al.</i> , (2016)
C53		3,00	957,00	Bansal <i>et al.</i> , (2016)
C54	18,50	86,70	20,80	Ferreira <i>et al.</i> , (2016)
C55	145,00	11,00	3791,00	Vlacha <i>et al.</i> , (2016)
C55	138,00	9,00	3870,00	Vlacha <i>et al.</i> , (2016)
C56	10,8,00	47,20	36,25,00	Beigzadeh <i>et al.</i> , (2016)
C57	95,33	7,02	3515,00	Giannakas <i>et al.</i> , (2016)
C58	14,32	156,74		Zhang <i>et al.</i> , (2016)
C59	54,90	4,72		Tan <i>et al.</i> , (2015)
C60	52,77	14,32		Vaštag <i>et al.</i> , (2015)
C61		2,93	523,66	Youssef <i>et al.</i> , (2015)
C62	38,00		2220,00	Salaberria <i>et al.</i> , (2015)
C63	8,25	31,26		Costa <i>et al.</i> , (2015)
C64	39,68	13,00		Shen y Kamdem (2015)
C65	31,8	16,2	24,37	Pereira <i>et al.</i> (2015)
C66	20	6,00	533,00	Bonilla <i>et al.</i> , (2014)
C67	8,40	19,6	134,60	Pereda <i>et al.</i> , (2014)
C68	49,98	3,89	2,40	Yoshida <i>et al.</i> , (2014)
C69	31,80	32,40		Peng <i>et al.</i> , (2013)
C70	21,30	38,90	191,50	Ma <i>et al.</i> , (2013)
C71	61,82	4,59		Leceta <i>et al.</i> , (2013)
C71	43,41	11,14		Leceta <i>et al.</i> , (2013)
C71	31,89	30,51		Leceta <i>et al.</i> , (2013)
C71	68,47	15,37		Leceta <i>et al.</i> , (2013)
C71	43,60	17,00		Leceta <i>et al.</i> , (2013)
C71	37,93	20,58		Leceta <i>et al.</i> , (2013)
C71	55,83	4,58		Leceta <i>et al.</i> , (2013)
C71	36,85	27,34		Leceta <i>et al.</i> , (2013)
C71	23,87	37,67		Leceta <i>et al.</i> , (2013)
C71	53,98	8,50		Leceta <i>et al.</i> , (2013)
C71	38,25	10,12		Leceta <i>et al.</i> , (2013)
C71	32,01	17,23		Leceta <i>et al.</i> , (2013)
C72-col	30,55		98,90	Escobar-Sierra y Perea-Mesa, (2017)
C73-col	1,697	27,32	6,41	Grande-Tovar <i>et al.</i> , (2018)
C74-col	32,4	8,40	22,70	Grande <i>et al.</i> , (2017)
C75-col	3,30	0,57	4,50	Velásquez-Cock <i>et al.</i> , (2014)
C75-col	1,80	0,83	1,80	Velásquez-Cock <i>et al.</i> , (2014)
C76-col	120,00	8,51		Homez-Jara <i>et al.</i> , 2018.
C76-col	351,00	42,4		Homez-Jara <i>et al.</i> , 2018
C76-col	398,00	7,72		Homez-Jara <i>et al.</i> , 2018
C76-col	107,00	13,80		Homez-Jara <i>et al.</i> , 2018
C76-col	372,00	15,5		Homez-Jara <i>et al.</i> , 2018
C76-col	309,00	26,5		Homez-Jara <i>et al.</i> , 2018
C76-col	210,00	2,46		Homez-Jara <i>et al.</i> , 2018
C76-col	231,00	1,50		Homez-Jara <i>et al.</i> , 2018



Artigo	TS (MPa)	EB (%)	ME (MPa)	Fonte
C76-col	656,00	2,77		Homez-Jara <i>et al.</i> , 2018
H1	54,93	26,09	828,57	Zhang <i>et al.</i> , (2018)
H2	15,05	24,86	270,28	Wang <i>et al.</i> , (2018)
H3	24,40	7,00	740,00	Zhang <i>et al.</i> , (2018)
H4	65,40	11,30	1400,00	Otoni <i>et al.</i> , (2018)
H5	1,00	6,70	140,00	Hassan <i>et al.</i> , (2018)
H6	30,83	6,06	1,45	Otoni <i>et al.</i> , (2018)
H6	52,3	11,89	1,74	Otoni <i>et al.</i> , (2018)
H6	67,28	17,37	1,76	Otoni <i>et al.</i> , (2018)
H7	37,50	14,00	1275,00	Zhang <i>et al.</i> , (2017)
H8	13,50	56,00	30,00	Klangmuang y Sothornvit (2016)
H9	16,50	27,00	305,00	Yanfei <i>et al.</i> , (2016)
H10	13,54	26,75		Esteghlal <i>et al.</i> , (2016)
H11	10,89	51,24	29,23	Klangmuang y Sothornvit, (2016)
H12	70,20	20,3		Ding <i>et al.</i> , (2016).
H13	33,00	7,50	1264	Perone <i>et al.</i> , (2014).
H14	32,44	3,67	1,43	Ghosh <i>et al.</i> , (2014).
H15	26,70	31,00	500,00	Sánchez-González <i>et al.</i> , (2013).
H16	50,20	20,40	1875	Mondal <i>et al.</i> , (2013).
H17	64,5	4,30	2492	Akhtar <i>et al.</i> , (2013).
P1	4,28	48,40		Aguirre-Loredo <i>et al.</i> , (2018).
P1	4,85	58,10		Aguirre-Loredo <i>et al.</i> , (2018).
P2	6,16	10,27		Liu <i>et al.</i> , (2018).
P3	6,56	5,33	5,67	Basiak <i>et al.</i> , (2017).
P4	88,00	2,70		Oleyaei <i>et al.</i> , (2016).
P5	46,40	9,00	1190,00	Zdanowicz y Johansson, (2016)
P6	66,00	5,00	3475,00	Kenny <i>et al.</i> , (2016).
P6	29,00	3,00	1775,00	Kenny <i>et al.</i> , (2016).
P6	21,00	19,00	1475,00	Kenny <i>et al.</i> , (2016).
P6	12,00	37,50	550,00	Kenny <i>et al.</i> , (2016).
P7	2,66	86,70		Oleyaei <i>et al.</i> , (2016).
P8	8,80	53,40		Jiang <i>et al.</i> , (2016).
P9	22,20	6,50		Cieśła y Sartowska (2014)
P9	24,90	6,50		Cieśła y Sartowska (2014)
P10	37,00	4,75	1350,00	Moreno <i>et al.</i> , (2015).
P10	34,50	4,50	1350,00	Moreno <i>et al.</i> , (2015).
P10	13,50	13,50	635,00	Moreno <i>et al.</i> , (2015).
P10	10,50	40,91	395,00	Moreno <i>et al.</i> , (2015).
P11	10,61		0,08	Santacruz <i>et al.</i> , (2015).
P12	1,73	0,42		Li <i>et al.</i> , (2015).
P13	3,04	29,00	40,00	Cano <i>et al.</i> , (2014).
P14	7,33	68,00	188,00	Sadegh-Hassani y Mohammadi (2014)
P15	0,64	61,50	0,87	Aila-Suárez <i>et al.</i> , (2013)
P16	6,65	13,50	6,00	Wu <i>et al.</i> , (2013)
C35-P17	31,70	3,07	14,51	Coelho <i>et al.</i> , (2017)
P18-col	1,50		16,40	Montoya <i>et al.</i> , (2014)

Nota. TS: Tensão de tração; EB: deformação à ruptura; ME: Módulo de Elasticidade; C: Quitosana; H: Hidroxipropilmetilcelulose (HPMC); P: amido de batata; “-col”: publicações na Colômbia.