

FILMES POLIMÉRICOS BIODEGRADÁVEIS COM POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO PARA O CONTROLE DE PARASITOS NO SETOR AGROPECUÁRIO

Olga Oliveira dos Anjos

Programa de Pós Graduação Rede
Nordeste de Biotecnologia -
RENORBIO, Centro de Ciências
Biológicas, Universidade Federal do
Maranhão, UFMA, São Luís, MA,
Brazil.
olgasemear@gmail.com

Matheus Nobate Gomes

Departamento de Patologia, Universidade Federal
do Maranhão, UFMA, São Luís, MA, Brazil.
mateussnbt@gmail.com

Cristina Gomes Soares da Silva

Programa de Pós Graduação Rede
Nordeste de Biotecnologia -
RENORBIO, Centro de Ciências
Biológicas, Universidade Federal do
Maranhão, UFMA, São Luís, MA,
Brazil.
cristinagomesdasilva@gmail.com

Adeilton Pereira Maciel

Departamento de Química, Universidade Federal do
Maranhão, UFMA, São Luís, MA, Brazil.
E-mail: ap.maciел@ufma.br

RESUMO

A necessidade urgente para o desenvolvimento de insumos mais sustentáveis, tem impulsionado a busca por alternativas biodegradáveis e naturais que possam ser empregadas em substituição aos insumos de origem sintética. Polímeros naturais e biodegradáveis têm sido estudados no desenvolvimento de filmes. Os polímeros são materiais com alto potencial industrial podendo ser de origem natural ou sintética, já utilizados na agricultura em adubos de liberação lenta e no processo de substituição de plásticos sintéticos por plásticos biodegradáveis. Na indústria farmacêutica humana e veterinária, os polímeros atuam como veículos para liberação de ingredientes ativos, ou material encapsulante. Recentemente, os polímeros naturais e biodegradáveis estão sendo utilizados para obtenção de filmes com foco no controle de parasitas de interesse agrícola e pecuário. A presente revisão apresenta um compilado sobre os principais polímeros utilizados na elaboração destes insumos e a aplicação como biomateriais para o controle de parasitas na agropecuária.

Palavras chave: Polímeros. Amido. Insumos. Agricultura. Pecuária.

BIODEGRADABLE POLYMERIC FILMS WITH BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL TO CONTROL PARASITES IN THE AGRICULTURAL SECTOR

ABSTRACT

The urgent need for the development of more sustainable raw materials has driven the search for biodegradable and natural alternatives that can be used to replace synthetic raw materials. Natural and biodegradable polymers have been studied in the development of films. Polymers are materials with high industrial potential and can be of natural or synthetic origin, already used in agriculture in slow release fertilizers and in the process of replacing synthetic plastics by biodegradable plastics. In the human and veterinary pharmaceutical industry, polymers act as vehicles for the release of active ingredients, or encapsulating material. Recently, natural and biodegradable polymers are being used to obtain films focused on the control of parasites of agricultural and livestock interest. This review presents a compilation of the main polymers used in the preparation of these inputs and their application as biomaterials for parasite control in agriculture and livestock.

Keywords: Polymers. Starch. Inputs. Agriculture. Livestock.

1. INTRODUÇÃO

O controle de parasitas na agricultura é feito em sua grande parte por meio de inseticidas e fungicidas. O uso incorreto desses produtos tem sido alvo de discussões ambientais e monitoramento (EMBRAPA 2018; ARAÚJO FROTA et al, 2021).

No setor de produção animal o controle de parasitas é feito quase que exclusivamente por medicamentos veterinários de origem sintética, a exemplo dos carrapaticidas e anti-helmínticos. O crescente uso desses produtos associado a aplicação incorreta, pela sobredosagem e pela forma inadequada de aplicação, tem contribuído para o surgimento de casos de resistência entre os parasiticidas comerciais, bem como a presença de resíduos contaminantes no ambiente, na carne e no leite (UPADHAYA et al. 2020; RANA, Md SHOHHEL et al. 2019; KLAFKE et al. 2017).

Diante disso, a busca pelo desenvolvimento de novos insumos para sanidade vegetal e animal, que possam representar uma alternativa sustentável e ambientalmente correta, já está em curso e diferentes esforços têm sido empregados para encontra-los (PENHA et al. 2021; BEYS-DA-SILVA et al. 2020; BOUAYAD ALAM et al. 2017; LEE et al. 2020). A utilização de produtos naturais vem sendo uma resposta viável e que já se apresenta crescente no setor agropecuário (NWANADE et al. 2021; LÊDO et al, 2021; COELHO et al. 2020; FERNANDES et al, 2018).

Polímeros biodegradáveis têm despertado o interesse para o desenvolvimento de insumos, apresentando potencial biotecnológico. As propriedades biológicas e químicas da matriz polimérica e suas interações físico-químicas com

os agroquímicos ajudam a direcionar e liberar os agentes ativos no solo (MILANI et al. 2017; ANDERSON, ISLAM, e PRATHER 2018). Na terapêutica veterinária polímeros tem sido utilizados na elaboração de sistemas de entrega de fármacos, por serem compostos facilmente assimiláveis pelo organismo do animal, e por serem compatíveis com as diversas classes farmacêuticas permitindo maior eficácia do princípio ativo no organismo (Costa et al. 2020; Prietsch et al. 2014).

Considerando o exposto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão sobre os principais polímeros utilizados na elaboração de insumos com potencial biotecnológico para aplicação no controle de parasitos com importância na agropecuária.

2. FILMES BIODEGRADÁVEIS

Filmes biodegradáveis são produtos orgânicos elaborados a partir de proteínas, polissacarídeos, lipídios e/ou derivados (SOUSA et al, 2021). Diante de um cenário global onde os conceitos de sustentabilidade e One Health ganham cada vez mais força, novas abordagens para desenvolvimento de produtos são necessárias (MARCHESINI et al. 2021). Na agropecuária, os filmes naturais têm demonstrado ser uma alternativa viável na obtenção de insumos de baixo impacto ambiental, sendo empregados principalmente como cobertura morta para o solo, em substituição aos filmes plásticos denominados mulching e no processo de obtenção de adubos de liberação lenta (ASHISH GEORGE et al. 2020; HAN et al. 2020; SVISHCHEVA et al. 2022). Recentemente estes filmes tem despertado interesse para outras finalidades, uma delas está no desenvolvimento de produtos para o controle de pragas agrícolas e parasitos (da SILVA et al, 2020; LIMON et al, 2020; COELHO ET AL. 2020).

2.1. FILMES POLIMÉRICOS BIODEGRADÁVEIS

Os filmes poliméricos são caracterizados como camadas finas e flexíveis feitas de material transparente e autoadesivo, obtidos principalmente por meio de um polímero isolado ou por misturas de polímeros naturais com polímeros sintéticos (BROUSSARD e POWERS, 2013).

Os polímeros são macromoléculas constituídas por unidades menores repetidas: os monômeros. Podem ser de origem natural ou sintética. Tem aplicação em diversas áreas, sendo utilizados principalmente na obtenção de plásticos. Os polímeros naturais são materiais que ocorrem amplamente na natureza, extraídos de plantas ou animais (CAILLOL 2020; ARCHANA GEORGE, SHAH, e SHRIVASTAV 2019). Entre os mais utilizados estão o amido, o alginato, goma guar e a quitosana (DA COSTA et al. 2021). Possuem propriedades únicas em termos de biodegradabilidade, bioatividade e biocompatibilidade o que permite que sejam direcionados para campos de aplicação, como indústria farmacêutica e utilizados para desenvolver sistemas de entrega de drogas (BARANWAL et al. 2022).

Pelas suas características mecânicas e químicas os polímeros podem ser melhorados de acordo com a especificidade da sua aplicação. Na agricultura são utilizados como hidrogeis, na liberação controlada de adubos e em formulações de agroquímicos (KLEIN, POVERENOV, 2020; MILANI et al., 2017; PASTRE et al., 2014). Na indústria de fármacos os polímeros são utilizados tanto em medicamentos para humanos quanto para uso veterinário, atuando em sistemas de transporte para liberação de moléculas dos princípios ativos,

podendo ser encontrados nas formas de filmes poliméricos, hidrogeis, micropartículas poliméricas, nanogéis, nanopartículas e comprimidos (COSTA et al., 2020; PINA, 2015; KUMAR ET AL. 2014).

Os polímeros tem seu uso comprovado no encapsulamento de materiais, na elaboração de nanopartículas, em soluções poliméricas ou como películas indicadas para o desenvolvimento de repelentes e acaricidas naturais (MOURA et al. 2021).

3. PRINCIPAIS POLÍMEROS UTILIZADOS NA ELABORAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS

Amido

O amido é um polímero natural que apresenta cerca de 20-30% de amilose - um polissacarídeo relativamente linear composto por cadeias longas de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4 - e pela amilopectina - um polímero altamente ramificado, formado por cadeias curtas de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6 (DONMEZ et al., 2021).

As principais fontes de obtenção do amido são o arroz, a batata, o milho e o trigo. Dada esta diversidade da qual pode ser extraído, os amidos obtidos a partir das fontes com maiores quantidades de amilose normalmente possuem melhores características para formação de filmes, o que se dá por conta das cadeias lineares da amilose que tendem a interagir por ligações de hidrogênio, resultando em filmes rígidos e relativamente fortes (NORDIN et al. 2020). Na Tabela 1 é possível observar a distribuição dos percentuais de cada polissacarídeo conforme a origem vegetal do amido.

Além de suas propriedades filmogênicas, o amido destaca-se pela biodisponibilidade, alto rendimento de extração, valor nutritivo, baixo custo, biodegradabilidade, biocompatibilidade e por ser comestível (SHAH et al., 2016).

Para formar uma solução filmogênica, o amido deve ser aquecido, pois os grânulos não são solúveis em água fria, embora absorvam uma certa quantidade de água fria e inchem. Com o aumento da temperatura, os grânulos de amido passam a vibrar intensamente, quebrando as ligações intermoleculares, estabelecendo pontes de hidrogênio com a água e causando a diminuição do número e tamanho das regiões cristalinas. Assim, a viscosidade da solução aumenta consideravelmente, pois, devido ao intumescimento, os grânulos grudam uns nos outros e, com a agitação, adquirem um aspecto gelatinoso (CORKE et al., 2016).

Quando utilizado em sua forma natural o amido é denominado amido nativo. Filmes formados por amido puro tendem a demonstrar algumas desvantagens, como fragilidade, rigidez, má resistência mecânica e térmica, podendo ser modificado ou melhorado a partir da associação com polímeros sintéticos biodegradáveis, como o álcool polivinílico ou outros aditivos como plastificantes. Essas modificações, melhoram as características físicas dos filmes, tornando-os mais resistentes e contribuem para aumentar seu potencial uso industrial (BORBA et al. 2021; PATIL et al. 2021; GÓMEZ-ALDAPA et al. 2020; CANO et al. 2015).

Quitosana

A quitosana é um polissacarídeo único derivado da quitina por desacetilação parcial. É um copolímero randômico formada por unidades de d-glucosamina e N-acetil-d-glucosamina,

unidas por ligações glicosídicas β -1,4. É o segundo biopolímero mais abundante na Terra depois da celulose (NEGM et al. 2020). Obtida a partir de cascas de camarões e outros crustáceos (YOUNES et al. 2015)

Entre as vantagens da quitosana estão: biocompatibilidade, segurança, não toxicidade, facilidade de modificação, retenção de umidade, antibacteriana, biodegradabilidade, barata e de fácil aquisição (WANG et al, 2018; MENG et al. 2023).

Por conta de suas características e principalmente pelo potencial antimicrobiano é um polímero atrativo na área biomédica, podendo ainda ser usada em composições com outros polímeros, a exemplo do alginato, no preparo de microcápsulas e na liberação de agentes químicos (REN et al. 2016; KONG et al. 2020). Para fins agrícolas a quitosana é utilizada no encapsulamento da ureia e de micronutrientes agindo na liberação controlada desses fertilizantes. A quitosana pode promover o crescimento vegetal e auxiliar na proteção contra o ataque de patógenos (SABBOUR e SAHAB 2015; MULEY et al. 2019; KONDAL et al. 2021; El ASSIMI et al. 2020).

Goma guar

A goma guar é um polímero encontrado na forma de goma, extraída das leguminosas *Cyamopsis tetragonoloba* ou da *Cyamopsis psoraloides*, nativas da Índia. É um polissacarídeo de alto peso molecular com aparência branca a amarelada e inodoro. Amplamente utilizada na indústria de alimentos como espessante e estabilizante. Quimicamente as gomas guar constituem o exemplo de polissacarídeos hidrofílicos. É também um galactomanano funcional que consiste em unidades de manose

ligadas via ligação β -1,4 como estrutura principal e unidades de galactose ligadas via ligação α -1,6 na cadeia lateral (LV et al. 2017).

Os grupos hidroxila presentes na estrutura polimérica auxiliam na fabricação de diversos derivados utilizados para várias aplicações industriais. Suas propriedades dependem principalmente das características químicas como comprimento da cadeia, abundância de grupos cis-OH, impedimentos estéricos, grau de polimerização e presença de substituintes (SHARMA et al. 2018).

Pela capacidade polimérica de formar filme a goma guar foi utilizada para fabricação de filmes biodegradáveis utilizados como embalagens com proteção antimicrobianas por meio de associação com óleos de laranja e curcumina (AYDOGDU et al. 2020). Filmes de cobertura contendo goma guar foram avaliados em recobrimentos de amora, proporcionando menor taxa de deterioração para os frutos (PÉREZ, GÓMEZ, e CASTELLANOS, 2021). A goma guar foi associada a areia e avaliada como substrato na agricultura mostrando-se importante para promover a retenção de água e facilitando a germinação de grão de bico e feijão mugo (KUMARI et al. 2023).

Alginato

É um polissacarídeo encontrado em algas marinhas, mas pode ser produzido a partir de microorganismos como bactérias dos gêneros *Azotobacter* e *Pseudomonas*. É atóxico, biocompatível, biodegradável além de não alérgico (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2013).

Apresenta caráter polianiónico devido os grupos carboxila que aparecem ao longo da cadeia. As propriedades físicas do alginato são determinadas pela composição, comprimento das

sequências e o peso molecular (PASIN, AZÓN, E GARRIGA, 2012)

Na agropecuária o alginato tem sido avaliado no controle biológico de pulgões, no controle de carrapatos, para obtenção de filmes com proteção anti-UV, na obtenção de embalagens biodegradáveis com proteção antimicrobiana, na encapsulação de bioinseticidas, como sistema de liberação de herbicidas e no recobrimento de sementes (LIU et al. 2021; WU et al. 2018; BRANDELERO, DE ALMEIDA, e ALFARO 2015; LÊDO et al. 2021; SHINOMURA, KAWANY M. B. MUNHOZ et al. 2017; SILVA et al. 2010; OLIVEIRA, et al. 2009).

Alcool polivinílico (PVA)

O PVA é um polímero sintético biodegradável. É semicristalino, solúvel em água, exibindo baixa condutividade elétrica, não tóxico e não cancerígeno (PRAVAKAR et al. 2019). É obtido pela remoção dos grupos acetatos do polivinilacetato, resultando em um polímero de álcool polivinílico parcial ou completamente substituído com diferentes graus de hidrólise (BRANDELERO, DE ALMEIDA, e ALFARO, 2015).

Apresenta excelentes propriedades físicas e resistência química, sendo compatível com outros materiais, possui capacidade para formação de filme, altas propriedades emulsificantes e adesivas, podendo ótimo candidato em extensas utilizações industriais (MITREA et al. 2020; KIM et al. 2013; GUIRGUIS e MOSELHEY, 2012).

4. MISTURAS POLIMÉRICAS E ADITIVOS

Apesar da grande aplicabilidade dos filmes poliméricos biodegradáveis, os biopolímeros apresentam algumas limitações técnicas que podem dificultar o processamento,

como forma de superar essa dificuldade os polímeros podem ser associados a outros materiais formando misturas poliméricas, melhorando a processabilidade, resistência térmica, propriedades mecânicas e propriedades reológicas (ALVARADO et al. 2018).

Misturas podem favorecer a estabilização química das dispersões poliméricas, melhorar a capacidade filmogênica, o controle da resistência mecânica, a modulação da velocidade de dissolução e consequente liberação de fármacos, além de promover intumescimento e solubilidade (ZEPON et al., 2013).

A seguir será apresentada uma síntese sobre os principais aditivos utilizados e sua importância para o processo de obtenção dos filmes poliméricos biodegradáveis.

Plastificantes

O plastificante é uma molécula pequena, de baixa volatilidade e de natureza química similar à do polímero usado na constituição do filme, são usados para melhorar a capacidade de processamento do polímero ou para conferir flexibilidade ao filme (ANTUNES et al. 2019).

O tamanho molecular dos plastificantes faz com que eles ocupem espaços intermoleculares entre as cadeias poliméricas, aumentando assim o volume livre entre as cadeias. A presença deles pode alterar a organização molecular tridimensional dos polímeros, reduzir a energia necessária para o movimento molecular e prevenir a formação de ligações secundárias entre as cadeias. Desta forma os plastificantes aumentam a mobilidade das cadeias poliméricas proporcionando maior flexibilidade ao filme (YUN et al. 2016).

Entre os plastificantes mais utilizados em misturas poliméricas está o glicerol.

Quimicamente o glicerol é um tri-álcool com 3 carbonos, tendo como nome sistemático (IUPAC) 1,2,3-propanotriol. Apresenta-se como líquido incolor, com sabor adocicado, inodoro com alta viscosidade, derivado de fontes naturais ou petroquímica. Comercialmente, o glicerol recebe o nome de glicerina. Filmes poliméricos com glicerol apresentam maior flexibilidade, são menos quebradiços e apresentam boa elasticidade (GONZÁLEZ-TORRES et al. 2021; HAZROL et al. 2021).

Óleos essenciais

Os óleos essenciais são produtos do metabolismo secundário das plantas. São misturas complexas de substâncias voláteis, lipofílicas, odoríferas e líquidas. São extraídos de diversas partes das plantas como: flor, folha, casca, semente e raiz. São constituídos de diferentes componentes como terpenos e seus derivados (carvacrol, timol, eugenol, terpineno, linalol e carvona), aldeídos, cetonas, álcoois e fenóis (ASBAHANI et al. 2015).

Por serem derivados do metabolismo de defesa das plantas, tais compostos apresentam um extenso espectro de atividade biológica com efeito antibacteriano, antifúngico, antiviral, antioxidante e podem atuar no controle de pragas agrícolas com efeito repelente e sobre algumas espécies de carrapatos e mosquitos (ALANAZI et al. 2022; WANG et al. 2022, KONIG, et al 2022; ABOELHADID et al. 2022; de OLIVEIRA, et al. 2021; ADHIKARI, et al. 2022).

Os óleos essenciais são excelentes fontes de fitoquímicos farmacologicamente ativos, por isso têm sido estudados com o objetivo de otimizar e melhorar propriedades de filmes poliméricos biodegradáveis (CHIRIAC et al. 2021). Eles podem modificar as propriedades

físicas e mecânicas dos filmes tornando-os possíveis de aplicações biotecnológicas (SOUZA et al. 2013; ANDRADE, CHIRALT, e GONZ 2020; OTHMAN et al. 2021; NORDIN et al. 2020).

Filmes poliméricos contendo óleos essenciais foram utilizados para obtenção de embalagens biodegradáveis, ou para cobertura de frutas com objetivo de funcionarem como barreira a microrganismos (GABRIELI et al. 2020; WALID et al. 2022).

Na agropecuária os óleos essenciais são utilizados devido ao seu efeito sobre vários fungos fitopatogênicos (*Alternaria alternata*, *Colletotrichum sp.* e *Lasiodiplodia sp.*, entre outros), sobre bactérias fitopatogênicas (*Brenneria nigrifluens*, *Ralstonia solanacearum*, *Xanthomonas citri*, entre outras) e na tentativa de obter formulações para o controle parasitário em animais de criação (CARDOSO et al. 2020; PENHA et al. 2021; BRESSANI et al. 2021; NWANADE et al. 2021).

Estudos *in vitro* e *in vivo* comprovam que a associação de monoterpenos a produtos sintéticos apresentam-se com potencial para integrar novas ferramentas, capazes de reduzir problemas enfrentados pelo uso inadequado de agroquímicos, no setor agropecuário (NWANADE et al. 2021; LÊDO et al, 2021; COELHO et al. 2020; FERNANDES et al, 2018). No entanto, moléculas orgânicas como os monoterpenos apresentam como questão limitante alguns fatores relacionados as suas propriedades físico-químicas, como alta volatilidade, baixa estabilidade, baixa solubilidade em água, forte influência nas propriedades organolépticas e efeitos fitotóxicos. A formulação com polímeros pode auxiliar na diminuição desses efeitos

compensando as dificuldades relatadas (CHANG et al. 2022).

5. APLICAÇÕES DOS FILMES POLIMÉRICOS PARA A AGROPECUÁRIA.

Conforme observado nas figuras 1 e 2 houve um aumento significativo no número de estudos relatando o uso de filmes poliméricos na agricultura e veterinária, o que mostra o crescente interesse nesta área. Considerando o período compreendido entre 2012 a 2022 é possível observar um aumento de 12 para 141 no número de publicações que associam o termo “filme polimérico” com “agricultura”, e de 2 para 17 no número de publicações relacionando o mesmo termo com a palavra “veterinária”, o que comprova que os filmes poliméricos vem sendo fonte de estudos para o desenvolvimento de novos insumos. Na tabela 2 estão listados os principais estudos, selecionados para esta revisão, que apresentam filmes poliméricos com a finalidade de aplicação no controle de parasitos de interesse agrícola e no desenvolvimento de medicamentos para uso veterinário.

Aplicações contra pragas agrícolas

Formulações poliméricas tem sido desenvolvidas para proteger agentes de controle biológico, como fungos entomopatogênicos, de fatores abióticos (frio, calor, umidade, e radiação) que podem diminuir sua virulência e restringir seu uso sobre insetos alvo (LE GRAND, 2013). Um estudo realizado por Felizatti et al. (2021) avaliou diversos biopolímeros (alginato de sódio, celulose, amido) em formulações para proteção de conídios do fungo entomopatogênico *Beauveria baussiana*. Os ensaios biológicos utilizando este fungo demonstraram que as formulações preparadas com os biopolímeros, apresentaram

ganhos em dispersão aquosa e foram viáveis no controle da lagarta *Spodoptera cosmioides*, proporcionando taxa de mortalidade de até 90%. Tais resultados indicaram que o uso dos polímeros tornou os conídios mais estáveis em dispersão aquosa sem perda de viabilidade e virulência.

Filmes poliméricos de quitosana foram avaliados no recobrimento de mangas para proteção contra doenças e injúrias ocorridas no pós-colheita. Os filmes foram pulverizados sobre as frutas criando uma barreira física, impedindo a ovipostura da mosca das frutas *Anastrepha obliqua* e do fungo *Colletotrichum gloeosporioides* responsável por causar a antracnose, doença que afeta diretamente a comercialização das frutas pois provoca injúrias na casca prejudicando o aspecto visual (LIMON et al. 2021).

Adjuvantes comerciais a base de polímeros e a goma xantana, foram utilizados em associação com nematoides entomopatogênicos para o controle da cochonilha dos citros *Planococcus citri*. Os filmes poliméricos auxiliaram na diminuição da sedimentação dos nematoides na calda de aplicação, proporcionando melhor distribuição do produto sobre as folhas de citros e aumentando a eficácia do controle. A goma xantana na concentração de 0,2% foi altamente eficaz em retardar a sedimentação dos nematoides, garantindo 72% desses microrganismos ainda em suspensão após 1h (VAN NIEKERK e MALAN 2015).

Filmes poliméricos de quitosana foram associados ao fungo *Trichoderma asperellum* como forma de biocontrole da esca – uma doença fungica responsável pela morte de videiras. Os resultados obtidos nesta pesquisa, demonstraram que os esporos de *T. asperellum* incorporados à

matriz polimérica exibiram atividade antagônica contra as espécies fúngicas *Phaeoconiella chlamydosporum* e *Phaeoacremonium aleophilum*, sendo considerados como novos dispositivos agrofarmacêuticos para o controle dessa doença fungica em videiras (SPASOVA et al. 2022).

HAY et al., 2020 desenvolveram e avaliaram misturas poliméricas de amido com PVOH como formadores de filmes para reduzir impactos diretos e indiretos de insetos provocados em plantas. Os resultados encontrados demonstraram que as soluções filmogênicas foram capazes de aderir fortemente aos tecidos vegetais, não prejudicando a planta, mas diminuindo o consumo das folhas por larvas da lagarta *Trichoplusia ni* (Hübner), portanto, apresentando características positivas para aplicação no biocontrole.

Um filme polimérico obtido a partir da goma guar em composição com citral - metabólito secundário encontrado naturalmente nos óleos essenciais de capim limão (*Cymbopogon citratus*), citronela (*Cymbopogon winterianus*) e erva cidreira (*Melissa officinalis*), entre outros - foi testado para o controle da cigarrinha marrom (*Nilaparvata lugens* Stål, Hemiptera: Delphacidae) - um inseto oligófago que se alimenta principalmente de arroz cultivado (*Oryza sativa* L.) – o filme polimérico demonstrou 60% de repelência nos testes em que foi avaliado, evidenciando potencial efeito como repelente, podendo ajudar no desenvolvimento de abordagens alternativas para o controle desses insetos (GAO et al. 2022).

Aplicações contra parasitas de interesse veterinário

O uso de filmes poliméricos em formulações para produtos veterinários, tem se tornado objeto de interesse de empresas farmacêuticas, pois estes filmes podem favorecer a ação do princípio ativo no medicamento, tornando-se mais efetivo. Estes filmes podem atuar na formulação como uma barreira de proteção aos princípios ativos, pois compostos orgânicos naturais possuem persistência limitada em condições de campo, devido a exposição a fatores abióticos. Temperatura, radiação ultravioleta, pH, chuva e outros fatores ambientais podem diminuir a persistência e eficácia destes compostos (BARROS, GARCIA, e ANDREOTTI 2019).

Estudos desenvolvidos em ovinos, avaliaram o efeito de filmes poliméricos incorporados com cisplatina, medicamento utilizado no tratamento de mesotelioma pleural maligno. Os filmes incorporados com cisplatina atingiram níveis plasmáticos e intrapleurais mais elevados e reduziram significativamente a toxicidade causada pelo medicamento, mostrando-se assim uma alternativa promissora para esta finalidade (AMPOLLINI et al. 2018).

Em outro estudo Kumar et al. (2014) utilizaram filmes poliméricos de polivinilpirrolidona (PVP) – polímero sintético, solúvel em água, atóxico, com propriedades que aumentam a solubilidade de alguns fármacos - incorporados com enrofloxacin, já utilizada na medicina veterinária no tratamento de infecções do trato urinário, respiratório e de pele em animais. Análises de microscopia eletrônica demonstraram interações entre o fármaco e o polímero. Os testes de natureza térmica e química comprovaram que os filmes apresentaram boa capacidade de absorção de água, perfil de

liberação com pH controlado – indicando que o filme não causou irritabilidade oral - e tiveram boa atividade antibacteriana contra *Klebsiella pneumonia*.

Estudos recentes confirmam os efeitos de produtos comerciais a base de siloxanos constituídos por uma mistura polimérica, no controle do carrapato *R. microplus*. Testes in vitro e in vivo demonstraram que o uso de siloxanos de forma individual ou em associação com acaricidas comerciais (butóxido de piperonila), ocasionaram alterações e desintegrações em células de fêmeas de *R. microplus* (RIES et al, 2021; MARQUES et al. 2019).

Duas formulações contendo timol, glicerol e tensoativos foram avaliadas no controle do carrapato *Rhipicephalus sanguineus*, os resultados obtidos demonstraram que as formulações exerceram potencial acaricida. Segundo o estudo, a presença do glicerol contribuiu para formação de uma película hidrófila na superfície do carrapato, o que pode ter ocasionado um efeito deletério da associação da glicerina com o timol sobre as larvas, resultando em aumento de perda de água pela cutícula, e a oclusão dos canais de trocas gasosas (DELMONTE et al. 2017).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os filmes poliméricos biodegradáveis vêm se concretizando como uma alternativa sustentável na obtenção de bioinsumos agropecuários. No entanto, apesar do aumento no número de pesquisas com foco no desenvolvimento desses materiais algumas respostas ainda precisam ser dadas, é necessário aprofundar os estudos sobre os mecanismos de interação entre polímeros e moléculas orgânicas,

bem como explorar o uso destes filmes para o controle de parasitos de interesse veterinário. Observamos que existe um vasto campo para o desenvolvimento de biomateriais nessa área. Associações como a de filmes poliméricos com óleos essenciais/monoterpenos podem representar uma estratégia importante para o controle de parasitos. Por fim, é necessário que os biomateriais formulados possam atender as exigências regulatórias dos órgãos responsáveis pelo registro de insumos e medicamentos e serem obtidos a partir de técnicas simples, com baixo custo e em escala industrial.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio da Fundação de Amparo a Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão (FAPEMA) pela concessão de bolsa de estudos a O. O. Anjos (BD-06399/18).

REFERENCIAS

ABOELHADID, S.M; et al. Synergistic larvicidal and repellent effects of essential oils of three *Origanum* species on *Rhipicephalus annulatus* tick. **Experimental acarology**. 87(2-3):273-287. 2022. <https://doi.org/10.1007/s10493-022-00737-4>

ADHIKARI, K., et al. Repellent Activity of Citrus Essential Oils and Two Constituent Compounds Against *Aedes aegypti*. **Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect. B Biol. Sci.** 92, 621–628. 2022. <https://doi.org/10.1007/s40011-022-01347-1>

ALANAZI, Abdullah D. et al. Acaricidal, Larvicidal, and Repellent Activity of *Elettaria cardamomum* Essential Oil against *Hyalomma anatolicum* Ticks Infesting Saudi Arabian Cattle. **Plants (Basel)**, v. 11, n. 9, p. 1221. 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11091221>

ALVARADO, Nancy, et al. Improvement of Physicochemical Properties of Starch Films by Blending it with Poly(N-Vinyl-2-Pyrrolidone). **Journal of Food Science and Nutrition** 4 (3): 1–8. 2018. <https://doi.org/10.24966/fnsn-1076/100036>.

AMPOLLINI, Luca, et al. Polymeric films loaded with cisplatin for malignant pleural mesothelioma: a pharmacokinetic study in an ovine model. **Journal of Thoracic Disease**. V.10 (Suppl 2). 2018.

<https://doi.org/10.21037/jtd.2017.10.74>.

ANDERSON, L., ISLAM, M. A; PRATHER, K. L.J. Synthetic biology strategies for improving microbial synthesis of ‘green’ biopolymers. **Journal of Biological Chemistry** 293 (14): 5053–61. 2018. <https://doi.org/10.1074/JBC.TM117.000368>.

ANDRADE, J; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, CHIRALT, A. Effect of carvacrol in the properties of films based on poly (vinyl alcohol) with different molecular characteristics. **Polymer Degradation and Stability**. 179. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109282>.

ANTUNES, L. B. et al. Efeito do Glicerol nas Propriedades Mecânicas de Filmes a Base de Quitosana. **Revista Desafios**. 6 (Especial): 110–17. 2019. <https://doi.org/10.20873/uft.2359365220196especialp110>.

ARAUJO, M. T. B. F.; SIQUEIRA C. E. Pesticides: The hidden poisons on our table. **Cadernos de Saude Publica** 37 (2): 1–5. 2021. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00004321>.

ASBAHANI, A. El, et al. Essential oils: From extraction to encapsulation. **International Journal of Pharmaceutics** 483 (1–2): 220–43. 2015. <https://doi.org/10.1016/J.IJPHARM.2014.12.069>.

ASSIMI, T. El, et al. Sustainable coating material based on chitosan-clay composite and paraffin wax for slow-release DAP fertilizer. **International Journal of Biological Macromolecules** 161 (outubro): 492–502. 2020. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.06.04>.

AYDOGDU, A., et al. Characterization of curcumin incorporated guar gum / orange oil antimicrobial emulsion films. **International Journal of Biological Macromolecules**. 148: 110–20. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.255>.

BARANWAL, J. et al.. Biopolymer: A Sustainable Material for Food and Medical Applications. **Polymers** 14 (5): 1–22. 2022. <https://doi.org/10.3390/polym14050983>.

BARBOSA, P. F. P.; de MENDONÇA, P. P.; ANDRADE, R. D.A., et al. Application of polymeric nanoparticles for controlled release of ethanolic extract of guapeva leaves (*Pouteria gardneriana* Radlk) against *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* through *in vitro* studies. **African Journal of Biotechnology**. 15 (49): 2778–86. 2016. <https://doi.org/10.5897/ajb2016.15230>.

BARROS, J. C.; GARCIA, M. V.; ANDREOTTI, R. Óleo essencial de *Tagetes minuta* como fitoterápico no controle dos carrapatos. In: ANDREOTTI, R.; GARCIA, M. V.; KOLLER, W. W. (Ed.). **Carrapatos na cadeia produtiva de bovinos**. Brasília, DF:

Embrapa, 2019. 240 p. il. color. p. 169-180

BEYS-DA-SILVA, W. O, et al.Updating the application of *Metarhizium anisopliae* to control cattle tick *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). **Experimental Parasitology**. 208.107812. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2019.107812>.

BORBA, V S. de, et al. Modificações do Amido e suas implicações tecnológicas e nutricionais. In **Ciência e Tecnologia de Alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas**, 428–57. 2021. <https://doi.org/10.37885/210504724>.

BOUAYAD A. S; DIB,M.El A.; DJABOU, N; TABTI, B, et al. Essential Oils as Biocides for the Control of Fungal Infections and Devastating Pest (*Tuta absoluta*) of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Chemistry & biodiversity** 14 (7). 2017. <https://doi.org/10.1002/CBDV.201700065>.

BRANDELERO, R. P.H., ALMEIDA, F. M. de; ALFARO, A. Microestrutura e propriedades de filmes de amido-álcool polivinílico-alginato adicionados de óleos essenciais de copaíba e capim limão. **Química Nova** 38 (7): 910–16. 2015b. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150098>.

BRESSANI, G. G. N; MELO, A. L. T; PERINOTTO, W. M. de S. Óleos Essenciais com Atividade Acaricida para Controle de *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* no Brasil. **Ensaios e ciência**. 24. (ESP) 480–88. 2020. <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2020v24n5-esp.p480-488>

BROUSSARD, K.C., POWERS, J.G., Wound dressings: Selecting the most appropriate type. **American Journal of Clinical Dermatology** .14, 449–459. 2013. <https://doi.org/10.1007/s4025701300464>.

CAILLOL, Sylvain. Special Issue “Natural Polymers and Biopolymers II”.**Molecules**. 26 (1). 112. 2021. <https://doi.org/10.3390/molecules26010112>.

CANO, A I.; CHÁFER, M., CHIRALT, A; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. Physical and microstructural properties of biodegradable films based on pea starch and PVA. **Journal of Food Engineering** 167 (dezembro): 59–64. 2015. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2015.06.003>.

CARDOSO, A.D.S.; SANTOS, E.G.G.; LIMA, A.D.S, et al. Terpenes on *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus*: Acaricidal activity and acetylcholinesterase inhibition. **Veterinary Parasitology**. 280:109090. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2020.109090>

CHANG, Y; HARMON, P.F; TREADWELL, D.D; CARRILLO, D.; SARKHOSH, A.; BRECHT, J.K. Biocontrol Potential of Essential Oils in Organic Horticulture Systems: From Farm to Fork. **Frontiers in Nutrition**. 8:805138. 2022 Jan 13.

<https://doi.org/10.3389/fnut.2021.805138>

CHIRIAC, A.P; RUSU, A.G; NITA, L.E; CHIRIAC. V.M; NEAMTU, I; SANDU, A. Polymeric Carriers Designed for Encapsulation of Essential Oils with Biological Activity. **Pharmaceutics**.13(5):631.2021 <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13050631>

COELHO, L; FERREIRA DE PAULA, L. G; ALVES, S. das G. A; SAMPAIO, A. L. N, et al. Combination of thymol and eugenol for the control of *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato: Evaluation of synergism on immature stages and formulation development. **Veterinary Parasitology**.277. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2019.108989>.

———.Combination of thymol and eugenol for the control of *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato: Evaluation of synergism on immature stages and formulation development. **Veterinary Parasitology** 277 (janeiro). 2020b. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2019.108989>.

CORRADINI, E; TEIXEIRA, E. M.; AGNELLI, J. A. M.; MATTOSO, L. H. C. Amido Termoplástico. **EMBRAPA Instrumentação Agropecuária**. Documentos. 2007. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPDIA-2009-09/11042/1/DOC30_2007.pdf. Acesso em: 12 de setembro de 2022.

COSTA, D.R.D; LEITE, S.A; SANTOS, M.P.D, et al. Influence of Mineral Particle Films and Biomaterials on Guava Fruits and Implications for the Oviposition of *Anastrepha obliqua* (Macquart) (Diptera: Tephritidae). **Insects**.2(5):373. 2021. <https://doi.org/10.3390/insects12050373>

COSTA, N.N; de FARIA LOPES, L. FERREIRA, D.F., et al. Polymeric films containing pomegranate peel extract based on PVA/starch/PAA blends for use as wound dressing: In vitro analysis and physicochemical evaluation. **Materials Science Engineering C Mater Biol Appl**. 109:110643. 2020. <https://doi.org/10.1016/J.MSEC.2020.110643>.

DELMONTE, C.; CRUZ, P.B.; ZERINGÓTA, V, et al. Evaluation of the acaricidal activity of thymol incorporated in two formulations for topical use against immature stages of *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato (Latreille, 1806) (Acari: Ixodidae). **Parasitol Res**.116(11):2957-2964. 5604. 2017. <https://doi.org/10.1007/s00436-017-5604-x>.

Embrapa. Futuro da Agricultura Brasileira. **EMBRAPA**. 212. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

FELIZATTI, A.P.; MANZANO, R.M.; RODRIGUES, I.M.W.; da SILVA, M.F.D.G.F.; FERNANDES, J.B.; FORIM, M.R. Encapsulation of *B. bassiana* in

- Biopolymers: Improving Microbiology of Insect Pest Control. **Frontiers in Microbiology**. 12:704812. 2021. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2021.704812>.
- FERNANDES, Éverton K.K. 2018. Br 102017004061-5 a2, nº 21.
- Food Ingredients Brasil. Os Alginatos e suas múltiplas aplicações. **Revista Fib**. nº 26: 34–38. 2013. Disponível em: www.revista-fi.com. Acesso em: 30 de outubro de 2022.
- GAO, X.; HU, X.; MO, F.; DING, Y.; LI, M.; LI, R. Repellency Mechanism of Natural Guar Gum-Based Film Incorporated with Citral against Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae). **International Journal of Molecular Sciences**. 23(2):758. 2022. <https://doi.org/10.3390/ijms23020758>
- GEORGE, A.; SHAH, P.A.; SHRIVASTAV, P.S. Natural biodegradable polymers based nano-formulations for drug delivery: A review. **International Journal of Pharmaceutics**. 561:244-264. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2019.03.011>.
- GEORGE, A.; SANJAY, M.R.; SRISUK, R. PARAMESWARANPILLAI, J.; SIENGCHIN, S. A comprehensive review on chemical properties and applications of biopolymers and their composites. **International Journal of Biological Macromolecules**. 154:329-338. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.120>.
- GÓMEZ-ALDAPA, C. VELAZQUEZ, Gonzalo.; GUTIERREZ, M. C.; RANGEL-VARGAS, E, et al. Effect of polyvinyl alcohol on the physicochemical properties of biodegradable starch films. **Materials Chemistry and Physics**. 239. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122027>.
- GONZÁLEZ-Torres, B.; ROBLES-GARCÍA, M.Á.; GUTIÉRREZ-LOMELÍ, M, et al. Combination of Sorbitol and Glycerol, as Plasticizers, and Oxidized Starch Improves the Physicochemical Characteristics of Films for Food Preservation. **Polymers** (Basel). 13(19):3356. 2021. <https://doi.org/10.3390/POLYM13193356>.
- GUIRGUIS, O. W.; MOSELHEY, M. T. H. Thermal and structural studies of poly (vinyl alcohol) and hydroxypropyl cellulose blends 4 (1): 57–67. **Natural Science**. Vol.4, No.1, 57-67.2012. <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2012.41009>
- HAN, K.; LIU, Y.; LIU, Y.; HUANG, X.; SHENG, L. Characterization and film-forming mechanism of egg white/pullulan blend film. **Food Chemistry**. 315:126201. 2020. <http://doi:10.1016/j.foodchem.2020.126201>
- HAY, W. T.; ROBERT, W. B.; RUIZ-VERA, U.M.; FANTA, G. F.; SELLING, G. W. Use of novel film forming starch complexes to directly and indirectly reduce insect damage to plants. **Crop Protection**. 130. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105048>.
- HAZROL, M.D.; SAPUAN, S.M.; ZAINUDIN, E.S.; ZUHRI M.Y.M.; ABDUL, W. N.I. Corn Starch (Zea mays) Biopolymer Plastic Reaction in Combination with Sorbitol and Glycerol. **Polymers** (Basel). 13(2):242. 2021. <https://doi.org/10.3390/polym13020242>
- KIM, I.H.; HAN, J.; NA, J.H, et al. Insect-resistant food packaging film development using cinnamon oil and microencapsulation technologies. **Journal of Food Science**. 78(2):E229-E237. 2013. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12006>.
- KLAFKE, G.; WEBSTER, A.; DALL AGNOL, B.; PRADEL, E.; SILVA, J.; LA CANAL, L. H. de , BECKER, M., et al. Multiple resistance to acaricides in field populations of Rhipicephalus microplus from Rio Grande do Sul state, Southern Brazil?. **Ticks and Tick-borne Diseases**. 8 (1): 73–80. 2017. <https://doi.org/10.1016/J.TTBDIS.2016.09.019>.
- KLEIN, M.; POVERENOV, E. Natural biopolymer-based hydrogels for use in food and agriculture. **Journal of Science of Food and Agriculture**. 2020. 100(6):2337-2347. doi:10.1002/jsfa.10274 <https://doi.org/10.1002/jsfa.10274>.
- KONDAL, R; KALIA, A.; KREJCAR, O, et al. Chitosan-Urea Nanocomposite for Improved Fertilizer Applications: The Effect on the Soil Enzymatic Activities and Microflora Dynamics in N Cycle of Potatoes (*Solanum tuberosum* L.). **Polymers** (Basel). 13(17):2887. 2021. <https://doi.org/10.3390/polym13172887><https://doi.org/10.3390/POLYM13172887>.
- KONG, R.; WANG, J.; CHENG, M., et al. Development and characterization of corn starch/PVA active films incorporated with carvacrol nanoemulsions. **International Journal of Biological Macromolecules**. 164:1631-1639. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.016>.
- KUMAR, G. P.; PHANI, A. R.; PRASAD, R.G.S.V.; SANGANAL, J. S.; MANALI, N. R. G.; RASHMI, N., et al. Polyvinylpyrrolidone oral films of enrofloxacin: Film characterization and drug release?. **International Journal of Pharmaceutics** 471 (1–2): 146–52. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2014.05.033>.
- KUMARI, D.; PRAJAPAT, G.; GOYAL, S.; AGRAWAL, A. Modification of desert sand to soil using polymers for its agricultural potential. **Journal of Arid Environments** 209. 104899. 2023. <https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2022.104899>.
- LÊDO, C. M.; Da CUNHA, M. N. C.; OLIVEIRA, J

- de P.; DUARTE, J. M. W.; PORTO, A. L. F. Matrízes poliméricas para encapsulaç o de bioinseticidas. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**. 26 (2). 2021. <https://doi.org/10.12661/pap.2021.015>.
- LE GRAND, M.; CLIQUET, S. Impact of culture age on conidial germination, desiccation and UV tolerance of entomopathogenic fungi. **Biocontrol Science and Technology**. 23:847–859. 2013. <https://doi.org/10.1080/09583157.2013.802289>
- LEE, S.C.; SEO, S.M.; HUH, M.J., et al. Behavioral and Electrophysiological Effects of Ajowan (*Trachyspermum ammi* Sprague) (Apiales: Apiaceae) Essential Oil and Its Constituents on Nymphal and Adult Bean Bugs, *Riptortus clavatus* (Thunberg) (Hemiptera: Alydidae). **Insects**. 11(2):104. 2020. doi:10.3390/insects11020104<https://doi.org/10.3390>
- LIMON, T.; BIRKE, A.; MONRIBOT-VILLANUEVA, J.L., et al. Chitosan coatings reduce fruit fly (*Anastrepha obliqua*) infestation and development of the fungus *Colletotrichum gloeosporioides* in *Manila mangoes*. **Journal of the Science Food and Agriculture**. 101(7):2756-2766. 2021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10903>.
- LIU, J.; ZHAO, X.; Zhan, Y.; WANG, K.; FRANCIS, F.; LIU, Y. New slow release mixture of (E)- β -farnesene with methyl salicylate to enhance aphid biocontrol efficacy in wheat ecosystem. **Pest management science**. 77 (7): 3341–48. 2021. <https://doi.org/10.1002/PS.6378>.
- LV. R.; KONG, Q.; MOU, H.; FU, X. Effect of guar gum on stability and physical properties of orange juice. **International Journal of Biological Macromolecules**. 98:565-574. 2017. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2017.02.031>.
- MARCHESINI, P. LEMOS, A.S.O.; BITENCOURT, R.O.B., et al. Assessment of lipid profile in fat body and eggs of *Rhipicephalus microplus* engorged females exposed to (E)-cinnamaldehyde and α -bisabolol, potential acaricide compounds. **Veterinary Parasitology**. 300:109596. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2021.109596>.
- MARQUES, B. C., et al. *In vitro* and *in vivo* acaricidal activity evaluation of organo-modified siloxanes in populations of *Rhipicephalus microplus*. **Veterinary Parasitology**. 269 (April): 53–56. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2019.04.013>.
- MENG, Q.; ZHONG, S.; WANG, J.; GAO, Y.; CUI, X. Advances in chitosan-based microcapsules and their applications. **Carbohydrate Polymers**. 300:120265. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120265>.
- MILANI, P. FRANÇA, D.; BALIEIRO, A. G.; FAEZ, R. Polymers and its applications in agriculture. **Polimeros**. 27 (3): 256–66. 2017. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.09316>.
- MITREA, L.; Călinoiu, L.F.; MARTĂU, G.A, et al. Poly(vinyl alcohol)-Based Biofilms Plasticized with Polyols and Colored with Pigments Extracted from Tomato By-Products. **Polymers** (Basel). 12(3):532. 2020. <https://doi.org/10.3390/polym12030532>.
- MOURA, W. S.; OLIVEIRA, E. E.; KHALID, H.; CORRÊA, R. F.T.; PIAU, T. B., et al. Cassava starch-based essential oil microparticles preparations: Functionalities in mosquito control and selectivity against non-target organisms. **Industrial Crops and Products**. 162. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113289>.
- MULEY, A.B.; SHINGOTE, P.R.; PATIL, A.P.; DALVI, S.G.; SUPRASANNA, P. Gamma radiation degradation of chitosan for application in growth promotion and induction of stress tolerance in potato (*Solanum tuberosum* L.). **Carbohydrate Polymers**. 210:289-301. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2019.01.056>.
- NEGM, N.A.; HEFNI, H.H.H.; ABD-ELAAL, A.A.A.; BADR, E.A.; ABOU, K. M.T.H. Advancement on modification of chitosan biopolymer and its potential applications. **International Journal of Biological Macromolecules**. 152:681-702. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.196>.
- VAN NIEKERK, S.; MALAN, A.P. Adjuvants to improve aerial control of the citrus mealybug *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae) using entomopathogenic nematodes. **Journal of Helminthol**. 89(2):189-195. 2015. <https://doi.org/10.1017/S0022149X13000771>.
- NORDIN, N.; OTHMAN, S. H.; RASHID, S. A.; BASHA, R. K. Effects of glycerol and thymol on physical, mechanical, and thermal properties of corn starch films. **Food Hydrocolloids**. 106 (March): 105884. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105884>.
- NWANADE, C.F.; WANG, M.; WANG, T., et al. Acaricidal activity of *Cinnamomum cassia* (Chinese cinnamon) against the tick *Haemaphysalis longicornis* is linked to its content of (E)-cinnamaldehyde. **Parasites Vectors**. 14(1):330. 2021. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04830-2>.
- De OLIVEIRA, Y. M.; DELFINO,  . V.; De CARVALHO, C. M.; CONSERVA, L. M.; De ABREU, F. C. Preparation of hybrid polymers and use as controlled release delivery vehicle for volatile repellent to control *Aedes aegypti*. **Quimica Nova** 44 (4): 425–31. 2021. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170698>.
- OTHMAN, S.H.; NORDIN, N. AZMAN, N.A.A.; TAWAKKAL, I.S.M.A.; BASHA, R.K. Effects of nanocellulose fiber and thymol on mechanical, thermal, and barrier properties of corn starch films. **International**

- Journal Biological Macromolecules.** 183:1352-1361. 2021. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.05.082>.
- PASIN, B. L.; GONZÁLEZ, C. A.; MAESTRO, A. Microencapsulación con alginato en alimentos: Técnicas y aplicaciones. 3 (1): 130–51. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/292324624_Microencapsulacion_con_alginato_en_alimentos_Tecnicas_y_aplicaciones.
- PASTRE, A. C.; GIROTO, A. S.; ZENIQUE, C. M.; CRUZ, C. C. T.; ALMEIDA, N. S.; RIBEIRO, C.; MARCONCINI, J. M. Biodegradação de compósitos de pva/amido encapsulado com o herbicida ametrina. Resumo do simpósio internacional de instrumentação agropecuária. **EMBRAPA Instrumentação.** 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1005785/biodegradacao-de-compositos-de-pvaamido-encapsulado-com-o-herbicida-ametrina>. Acesso em: 15 de novembro de 2022.
- PATIL, S.; BHARIMALLA, A. K.; MAHAPATRA, A.; DHAKANE-LAD, J., et al. Effect of polymer blending on mechanical and barrier properties of starch-polyvinyl alcohol based biodegradable composite films. **Food Bioscience** 44 (PA): 101352. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101352>.
- PENHA, T.; COSTA, A.C.C.; LIMA, A.D.S, et al. Effects of acaricidal essential oils from *Lippia sidoides* and *Lippia gracilis* and their main components on vitellogenesis in *Rhipicephalus microplus* (Canestrini, 1888) (Acari: Ixodidae). **Veterinary Parasitology.** 299:109584. 2021. <https://doi.org/10.1016/J.VETPAR.2021.109584>.
- PÉREZ, D. A.; GÓMEZ, J.M.; CASTELLANOS, D.A. Combined modified atmosphere packaging and guar gum edible coatings to preserve blackberry (*Rubus glaucus* Benth). **Food Science and Technology International.** 27(4):353-365. 2021. <https://doi.org/10.1177/1082013220959511>.
- PRAVAKAR, O.; SIDDAIAH, T.; RAMACHARYULU, P. V.R.K.; GOPAL, N.O.; RAMU, Ch.; NAGABHUSHANA, H. Spectroscopic, thermal, structural and electrical studies on VO₂⁺ ions doped PVA/MAA:EA polymer blend film. **Journal of Science: Advanced Materials and Devices** 4 (2): 267–75. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMD.2019.03.004>.
- PRIETSCH, R. Da F.; PEREIRA, R. A.; CORRÊA, M. N.; DEL PINO, F. A. B. Formas Farmacêuticas de Liberação Modificada Utilizadas em Ruminantes: Uma Revisão. **Science And Animal Health** 2 (1): 03. 2014. <https://doi.org/10.15210/sah.v2i1.3025>.
- RANA, Md S.; LEE, S. Y.; KANG, H. J.; HUR, S. J. Reducing Veterinary Drug Residues in Animal Products: A Review. **Food science of animal resources.** vol. 39,5: 687-703. 2019. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e65>.
- REN, Y.; XIE, H.; LIU, X.; YANG, F.; YU, W.; MA, X. Tuning the formation and stability of microcapsules by environmental conditions and chitosan structure. **International Journal Biological Macromolecules.** 91:1090-1100. 2016. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2016.06.034>.
- SABBOUR, M.; AHMED, S. Synthesis , antifungal and insecticidal potential of Chitosan (CS) -g-poly (acrylic acid) (PAA) nanoparticles against some seed borne fungi and insects of soybean. **International Journal of ChemTech Research.** 8.2:589-598.2015. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1198.8325>.
- SHARMA, G.; SHARMA, S.; KUMAR, A., et al. Guar gum and its composites as potential materials for diverse applications: A review. **Carbohydrate Polymer.** 199:534-545. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.053>.
- SOUZA, A. C.; GOTO, G. E.O.; MAINARDI, J. A.; COELHO, A. C.V.; TADINI, C. C. Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: Antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. **LWT - Food Science and Technology.** 54 (2): 346–52. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.017>.
- SPASOVA, M.; MANOLOVA, N.; RASHKOV, I.; NAYDENOV, M. Eco-Friendly Hybrid PLLA/Chitosan/*Trichoderma asperellum* Nanomaterials as Biocontrol Dressings against Esca Disease in Grapevines. **Polymers (Basel).**14(12):2356. 2022. <https://doi.org/10.3390/polym14122356>
- SVISHCHEVA, N. B.; USPENSKII, S. A.; SEDUSH, N. G.; KHAPTAKHANOVA, P. A.; KASATOVA, A. I., et al. Biodegradable boron-containing poly (lactic acid) for fertilizers with prolonged action. **Materials Today Communications.** 33 (September): 104514. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104514>.
- UPADHAYA, D.; KUMAR, B.; KUMAR, S., et al. Characterization of acaricide resistance in *Rhipicephalus microplus* populations infesting cattle in northeastern India and assessment of local plant extracts for tick management. **Veterinary Parasitology.** 277:109011. 2020. <https://doi.org/10.1016/J.VETPAR.2019.109011>.
- WANG, H.; QIAN, J.; DING, F. Emerging Chitosan-Based Films for Food Packaging Applications. **Journal of Agriculture Food Chemistry.** 66(2):395-413. 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04528>
- WANG, H.V.; PICKETT, L.J.; FARAONE, N. Repellent and acaricidal activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils and rock dust against *Ixodes scapularis* and *Dermacentor variabilis* ticks.

Experimental & Applied Acarology. 86(4):583-598. 2022. <https://doi.org/10.1007/s10493-022-00705-y>

WALID, Y.; MALGORZATA, N.; KATARZYNA, R.; Piotr, B.; EWA, O. L.; IZABELA, B.; WISSEM, A-W., et al. Effect of rosemary essential oil and ethanol extract on physicochemical and antibacterial properties of optimized gelatin–chitosan film using mixture design. **Journal of Food Processing and Preservation** 46 (1). 2022. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16059>.

WU, Y.; GONG, Z.; SHEN, Y.; QI, Y.; LING, F. The efficacy of propylene glycol alginate (PGA), a food additive, in controlling *Haemaphysalis longicornis* ticks. **Ticks and Tick Borne Diseases.** 9(6):1532-1536. 2018. <https://doi.org/10.1016/J.TTBDIS.2018.07.014>.

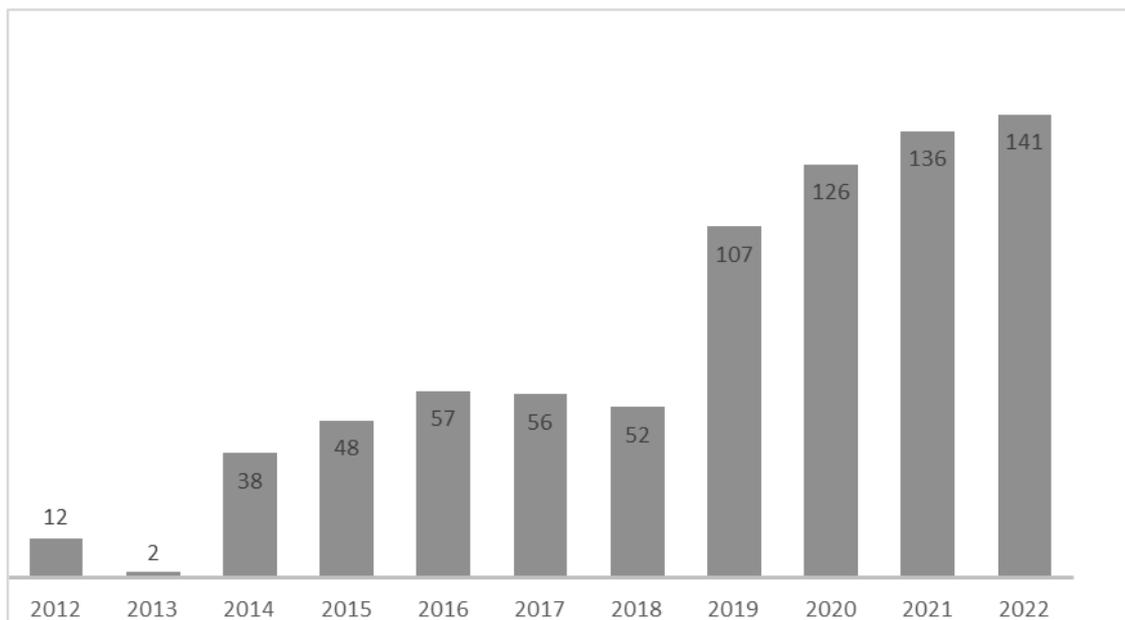
YOUNES, I.; RINAUDO, M. Chitin and chitosan

preparation from marine sources. Structure, properties and applications. **Marine Drugs.** 13(3):1133-1174. 2015. <https://doi.org/10.3390/MD13031133>.

YUN, H., Moo Kon Kim, Hyo Won Kwak, Jeong Yun Lee, Min Hwa Kim, e Ki Hoon Lee. The role of glycerol and water in flexible silk sericin film. **International Journal of Biological Macromolecules** 82 (janeiro): 945–51. 2016. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2015.11.016>.

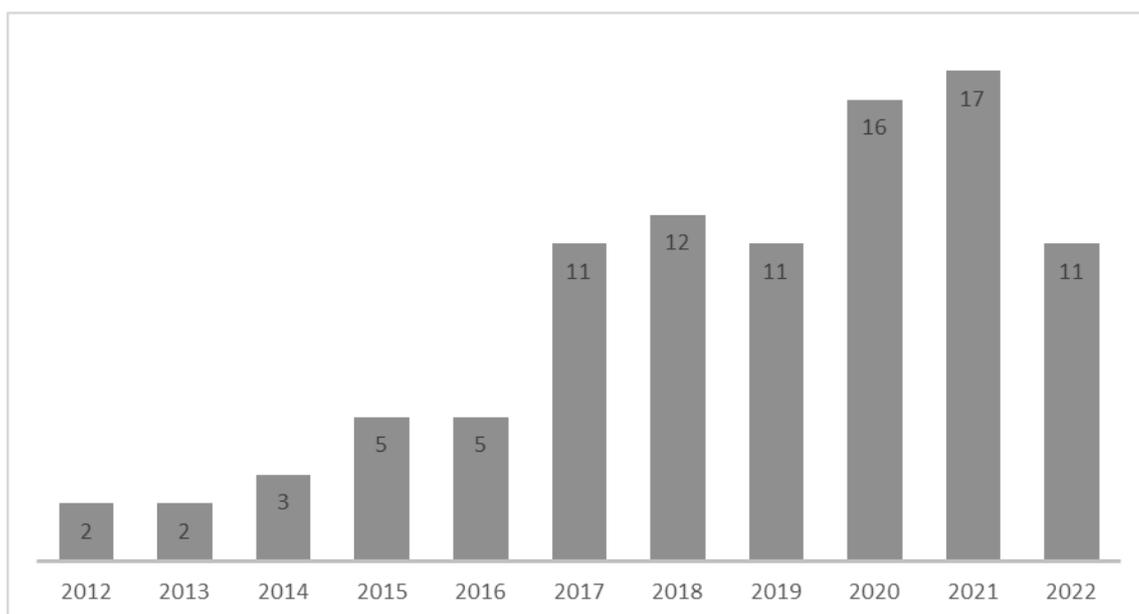
ZEPON, K.M.; KANIS, L.A.; SOLDI, V.; SALMORIA, G.V. Influência do pH nas propriedades físico-químicas, térmicas e mecânicas de filmes de poli (vinil álcool) / poli (ácido acrílico) / aciclovir. **Química Nova,** v.36, n.2, p. 215-219, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000200003>

Figura 1 - Número de publicações no período de 2012 a 2022 com os termos de consulta “filme polimérico” e “agricultura”.



Fonte: Pubmed, 2022

Figura 2 - Número de publicações no período de 2012 a 2022 com os termos de consulta “filme polimérico” e “veterinária”.



Fonte: Pubmed, 2022

Tabela 1 - Percentual de amilose e amilopectina em diferentes fontes de amido.

Fonte botânica do amido	Amilose (%)*	Amilopectina (%)**
Mandioca	16-19	86-82
Batata	18-20	82-80
Milho	28-33	72
Trigo	30-32	-
Arroz	30	70

Fonte: Adaptado de *Nordin et al. 2020; **Corradini et al. 2007.

Tabela 2 - Principais pesquisas relacionadas a aplicações de filmes poliméricos/polímeros biodegradáveis aplicados a agropecuária no período de 2012 a 2022.

Referência	Polímero utilizado	Aditivos citados na composição do filme	Finalidade do filme
Ampollini et al. 2018	hialuronato	Cisplatina	Liberção gradual da cisplatina
Barbosa, F. P., et al. 2016	quitosana	Extrato de guapeva (<i>Pouteria gardneriana Radlk</i>)	Controle do carrapato bovino (<i>Rhipicephalus microplus</i>)
Pérez, Gómez, e Castellanos 2021	goma guar	Ácido polilático; Tereftalato de polietileno.	Proteção de frutos no pós-colheita
Gao et, 2022	Goma guar	Óleo essencial de capim limão, citronela e erva-cidreira	Inseticida
Hay et al, 2020	Amido de milho	Palmitato de sódio/ácido clorídrico/hexadecilamina	Inseticida
Limon et al, 2020	Álcool polivinílico Quitosana	não utilizado	Controle da antracnose e aumento da vida útil da manga no pós colheita
Spasova et al. 2022	Quitosana	<i>Trichoderma asperellum</i>	Proteção contra os fungos causadores de doenças na videira.
Van Niekerk e Malan, 2015	Goma xantana Adjuvantes poliméricos comerciais	Nematoides entomopatogênicos	Proteção contra cochonilha do citrus, <i>Planococcus citri</i>
Felizatti et al. 2021	Amido Celulose Alginato	Conídios de <i>Beauveria baussiana</i>	Proteção de fungos entomopatogênicos
Kumar et al. 2014	polivinilpirrolidona	Enrofloxacina	Incorporação de enrofloxacina para administração oral em animais.

Fonte: Pubmed, Cielo, Elsevier, Science direct.