



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E  
ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**APLICAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA EM  
PRODUTOS AGRÍCOLAS E SEUS EFEITOS NO MEIO AMBIENTE:  
UMA REVISÃO**

Isabelle Sbaraini Hammes

Florianópolis - SC

2020

ISABELLE SBARAINI HAMMES

**APLICAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA EM PRODUTOS  
AGRÍCOLAS E SEUS EFEITOS NO MEIO AMBIENTE: UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina apresentado como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz

Florianópolis - SC

2020

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Santa Catarina, por me proporcionar um ensino de ótima qualidade.

À minha orientadora Professora Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz pela orientação, confiança, apoio, e paciência nessa jornada do Trabalho de conclusão do curso.

Aos meus pais, Lucimar Sbaraini e Sergio Hammes, pelo amor, e apoio incondicional.

Ao meus amigos que me incentivaram durante toda a graduação.

A todos, meu muito obrigada.

## RESUMO

A busca por uma alimentação mais saudável tem aumentado o consumo de frutas e hortaliças devido aos diversos benefícios à saúde humana que esses alimentos proporcionam. Assim, tendo como consequência o aumento na produção de frutas e hortaliças no Brasil, nos últimos anos, e fazendo com que se tornasse também exportador desses produtos. Entretanto, frutas e hortaliças são produtos perecíveis e de curta vida útil, com alto índice de perdas durante o transporte e comercialização até o consumidor final, concomitantemente às perdas monetárias em toda cadeia produtiva. Além de diminuir a disponibilidade desses produtos aos consumidores, aumentando seu preço de venda. As embalagens em conjunto com a refrigeração, são as tecnologias de pós-colheita /conservação mais utilizadas na cadeia de comercialização desses vegetais por apresentar menor custos. Entretanto, não é suficiente para evitar as perdas pós-colheita. Assim, tecnologias pós-colheita que possam preservar e prolongar a vida útil de frutas e hortaliças têm sido desenvolvidas e aprimoradas. Dentre estas, tem-se o uso de coberturas e/ou embalagens ativas, que possuem propriedades de barreira que podem reduzir a respiração e transpiração desses alimentos, e assim, retardar o seu amadurecimento, prolongando algumas características desejadas do produto. Recentemente, compostos ativos, como as nanopartículas de prata, têm sido propostos na literatura, como uma alternativa para esse setor. Por possuir atividade antimicrobiana, as nanopartículas de prata são capazes de reduzir ou retardar a incidência de fungos e bactérias, mantendo por mais tempo a qualidade das frutas e hortaliças. Porém, devido ao uso crescente dessas nanopartículas a partir de óxidos, em diversas aplicações, particularmente as nanopartículas de pratas, torna-se importante avaliar os impactos no meio ambiente e nos seres humanos que essas nanopartículas podem provocar. Assim o objetivo deste trabalho foi de realizar uma revisão da literatura para verificar estudos que mostrem os impactos do uso de nanopartículas de prata no meio ambiente.

**Palavras - chave:** Pós-colheita. Frutas. Hortaliças. Antimicrobiano. Efeitos tóxicos.

## ABSTRACT

The search for a healthier diet has increased the consumption of fruits and vegetables due to the several benefits to human health that these foods provide, resulting in an increase in the production of fruits and vegetables in Brazil, in recent years, making it also become an exporter of those products. However, fruits and vegetables are perishable products and have a short shelf life, with a high rate of losses during transport and sale to the final consumer, concomitantly with monetary losses in the entire production chain. In addition to reducing the availability of these products to consumers, increasing their selling price. Packaging with refrigeration is the most used in the supply chain of these vegetables because it has lower costs. However, it is not enough to avoid post-harvest losses. Thus, post-harvest technologies that can preserve and prolong the useful life of fruits and vegetables have been developed and improved. Among these, there is the use of active coats and / or packaging, which have barrier properties that can reduce the breathing and perspiration of these foods, and thus, delay ripening, prolonging some desired characteristics of the product. Recently, active compounds, such as silver nanoparticles, have been proposed in the literature, as an alternative for this sector. Because they have antimicrobial activity, silver nanoparticles are capable of reducing or delaying the incidence of fungi, maintaining the quality of fruits and vegetables for longer. However, due to the increasing use of these nanoparticles from oxides, in several applications, particularly silver nanoparticles, it is important to evaluate the impacts on the environment and on humans that these nanoparticles can cause. Thus, the objective of this work was to carry out a literature review to verify studies that show the impacts of the use of silver nanoparticles on the environment.

**Keywords:** Silver nanoparticles. Fruits. Vegetables. Antimicrobial. Environment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação entre diferentes tamanhos de estrutura.....	15
Figura 2 - Borohidreto adsorvido na superfície das nanopartículas de prata, gerando repulsões eletrostáticas.....	18
Figura 3 - Representação do crescimento das nanopartículas através da síntese verde.....	20
Figura 4 - Ação das nanopartículas de prata em uma célula bacteriana.....	22

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicação das nanopartículas de prata em frutas, hortaliças e folhosos.....	27
Tabela 2 - Efeito das nanopartículas no meio ambiente.....	33

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE - O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

OMS - Organização Mundial da Saúde

USEPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US Environmental Protection Agency)

EFSA - Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar

Ag - Prata

NP - Nanopartículas

AgNPs - Nanopartículas de prata

ATP - Adenosina Trifosfato



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DA PESQUISA.....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
<b>4.1</b>	<b>Nanopartículas.....</b>	<b>15</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Nanopartículas de prata.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2</b>	<b>Ação da nanopartícula de prata como antimicrobiano.....</b>	<b>21</b>
<b>4.3</b>	<b>Aplicação direta das AgNPs na agricultura.....</b>	<b>23</b>
<b>4.4</b>	<b>Aplicação das nanopartículas de prata para conservação pós-colheita de frutas e hortaliças.....</b>	<b>24</b>
<b>4.5</b>	<b>Migração das AgNPs da embalagem para o alimento.....</b>	<b>28</b>
<b>4.6</b>	<b>Nanopartículas de prata e suas implicações no meio ambiente.....</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS.....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção de frutas e hortaliças vem crescendo nos últimos anos, e passou a ser considerado exportador de alguns desses produtos agrícolas. Em 2014 a produção brasileira de frutas foi de 45 milhões de toneladas, e a de hortaliças 19 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2015; IBGE, 2013), ficando em terceiro como maior produtor mundial de frutas. Além disso, com as pessoas mudando seus hábitos alimentares, e cada vez mais buscando consumir frutas em função dos benefícios das mesmas, esse mercado apresenta-se como um dos mais promissores, juntamente com o de hortaliças (OLIVEIRA; SANTOS, 2015).

Porém, as perdas pós-colheita neste setor também são elevadas, e estão estimadas entre 40-50% (GUSTAVASSON et al., 2011). Segundo Tsunechiro et al. (1994), as perdas pós-colheita podem ser determinadas como uma diminuição no volume físico do produto que poderá ser oferecido para consumo, e que também podem estar associados a uma diminuição na qualidade, fazendo com que o produto perca valor nutricional e até comercial.

Uma das causas da elevada perda de frutas e hortaliças, é o fato de serem alimentos perecíveis, e possuírem uma vida útil reduzida quando comparados, por exemplo, aos grãos e cereais, por apresentarem elevado teor de umidade, textura macia e facilmente danificável, e altas taxas respiratórias. Essas características geram desvantagens quanto ao seu manuseio pós-colheita, resultando em perdas (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Além disso, cerca de 80 a 90% dessas perdas são causadas por fungos no período pós colheita (DANTAS et al., 2003). Há também as perdas por injúrias físicas e desperdício, sendo essa quantidade total perdida suficiente para abastecer em torno de 29,3% da população brasileira (EMBRAPA, 2003).

Portanto, o crescimento da cadeia produtiva de frutas e hortaliças para atender o aumento na demanda por produtos orgânicos, reduzindo as perdas no pós-colheita, depende de inovações tanto na área produtiva, quanto na distribuição desses alimentos, para que se prolongue a vida de prateleira desses produtos, e possam chegar com qualidade até o consumidor final (CAMARGO FILHO e CAMARGO, 2009).

O uso de coberturas, revestimentos comestíveis, e embalagens ativas para a conservação desses produtos *in natura* são algumas das opções encontradas para prolongar a vida de prateleira desses produtos, e estão sendo amplamente estudadas, como por exemplo os estudos de Vieira (2020) e Puti (2014). Porém, para potencializar a ação antimicrobiana dessas coberturas e embalagens, alguns aditivos geralmente são utilizados, como por exemplo

as nanopartículas ativas. Uma das nanopartículas que vem sendo muito estudada é a nanopartícula de prata, pois possui características desejáveis, como ação antimicrobiana, uma grande área superficial que proporciona melhor contato com os microorganismos, dentre outras (MORONES et al., 2005; SONG et al., 2006).

O uso da nanotecnologia para prolongar a conservação dos alimentos já é uma realidade, principalmente na aplicação em coberturas protetoras e embalagens (ASSIS et al., 2008). É possível encontrar revestimentos comestíveis à base de nanopartículas que elevam, em semanas, a vida útil de frutas e hortaliças intactas, mesmo quando armazenadas em condições não controladas (ASSIS et al., 2008), e tem-se a expectativa que essa preservação possa ser aprimorada, e talvez chegar a conservar essas frutas e hortaliças por meses.

Embora ainda não esteja totalmente regulamentado, e seja até mesmo inaceitável em alguns países (CHAU et al., 2007), o uso dessas nanopartículas para aplicação na conservação de alimentos já vem sendo testado há algum tempo e tem mostrado resultados promissores na conservação pós-colheita. Uma patente americana de 1998 (MARS Inc., 1998) descreveu o desenvolvimento e aplicação de coberturas composta de nanopartículas de dióxido de titânio, dióxido de magnésio e óxido de silício para aplicação em frutos para a redução da taxa de respiração e de permeação de gases. Alguns outros metais, como a prata e o zinco, que possuem forte atividade antimicrobiana, também já são encontrados comercialmente em forma de nanopartículas para usos gerais na indústria, e também em alguns produtos focados para indústria de alimentos, como embalagens poliméricas, cartonados, bandejas, vasilhames e tecidos (NANO&ME, 2011). Estudos utilizando coberturas comestíveis, associadas a essas nanopartículas, foram aplicadas em frutos intactos (GUDACHE et al., 2010) e testadas em bandejas de poliestireno expandido para contato com alimentos minimamente processados (FERNÁNDEZ et al., 2010), visando a redução da microflora bacteriana de ocorrência típica nestes casos.

O efeito antimicrobiano da prata tem sido reconhecido há muitos anos. Na antiguidade, a prata era utilizada em recipientes de água e também na prevenção de deterioração de líquidos e alimentos (CHOPRA, 2007). Cada vez mais a pesquisa e desenvolvimento de nanopartículas tem crescido, devido ao aumento na demanda por essa tecnologia para aplicação em diversas indústrias, como: indústria alimentícia, medicina, na biotecnologia, em cosméticos, na indústria têxtil, em produtos eletrônicos (LEM et al., 2012).

Vários estudos estão sendo elaborados para compreender o mecanismo de ação das nanopartículas de prata (AgNPs), suas interações com os micro-organismos, a toxicidade para

diferentes cepas bacterianas, e quais os seus impactos no meio ambiente (DALLAS, SHARMA e ZBORIL, 2011; POTARA et al., 2011).

Com relação ao número de produtos, a nanopartícula é um dos nanomateriais com maior grau de comercialização. Segundo fontes, em 2013, de todos os produtos registrados em banco de dados de produtos que contenham algum material nano, cerca de 30% apresentam as nanopartículas em sua composição (REIDY et al., 2013).

Com esse crescente interesse nas nanopartículas para aplicação comercial, o número de publicações em revistas internacionais relacionados com as nanopartículas metálicas em especial, tiveram um aumento significativo. Após pesquisa na plataforma Google Scholar com a palavra chave silver nanoparticles, foram encontrados para o ano de 2011 16.400 publicações contendo como tema as nanopartículas de prata, enquanto que em 2020 o número de estudos foi de 42.900.

O número de pedidos de patentes sobre nano compósitos e síntese de AgNPs também aumentou consideravelmente nos últimos anos (NOWACK; KRUG; HEIGHT, 2011). Outro fator importante para esse elevado crescimento é a diversidade de áreas em que se pode aplicar as AgNPs, fazendo com que empresas e instituições de pesquisa cada vez mais estudem para entender suas propriedades, síntese, implicações no meio ambiente, entre outras informações importantes antes de utilizá-la na indústria.

Assim como todos os materiais nanométricos, descargas de AgNPs devem ser controladas e mantidas em um limite para evitar danos aos seres vivos e ao meio ambiente. O perigo que apresenta essas NPs é a capacidade delas em interferir na força motriz de prótons, na geração de ATP, na permeabilidade da membrana celular e em muitas outras funções nas células presentes no meio ambiente (CUMBERLAND; LEAD, 2009).

Além disso, tem-se sérios questionamento quanto ao consumo de alimentos que possuem uma cobertura ou embalagem incorporada de AgNPs, pois pouco se sabe quanto a toxicidade dessas nanopartículas no corpo humano. Logo, antes de se disponibilizar esta tecnologia para consumo, deve-se conduzir mais estudos e definir uma regulamentação específica para o setor (ALMEIDA; FRANCO; PEIXOTO; PESSANHA; MELO, 2015).

Portanto, o presente trabalho visa buscar estudos e pesquisas realizadas com a nanopartícula de prata, para compreender as formas de se obtê-la, suas aplicações em frutas e hortaliças, sua ação antimicrobiana e qual seu impacto no meio ambiente.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Revisar o estado da arte relacionada ao uso de nanopartículas de prata em commodities agrícolas e seus efeitos no meio ambiente.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar uma revisão de estudos já realizados sobre a aplicação de nanopartículas de prata em commodities agrícolas, principalmente em frutas e hortaliças;
- Avaliar os possíveis impactos no meio ambiente do uso das nanopartículas de prata e no organismo humano.

### 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A revisão de literatura tem o papel de reunir informações e estudos já realizados e disponibilizados em bancos de dados, e trazer uma análise crítica sobre esses, trazendo um outro ponto de vista. Isso permite reunir trabalhos sobre um tema específico e dar direcionamentos para estudos futuros.

Diante disto, uma análise de conteúdo foi desenvolvida, iniciando com uma definição dos temas principais que serão abordados, e depois, uma ampla leitura de artigos, teses e livros que envolvem o tema. Para o desenvolvimento deste trabalho foram avaliados artigos com as seguintes palavras chave: nanotecnologia, nanopartículas de prata, frutas, hortaliças e meio ambiente, nas seguintes bases de dados, *Science direct*, *SciELO*, Repositório das Universidades e Google Acadêmico, sem restrição de data de publicação, nas línguas inglesas e portuguesa.

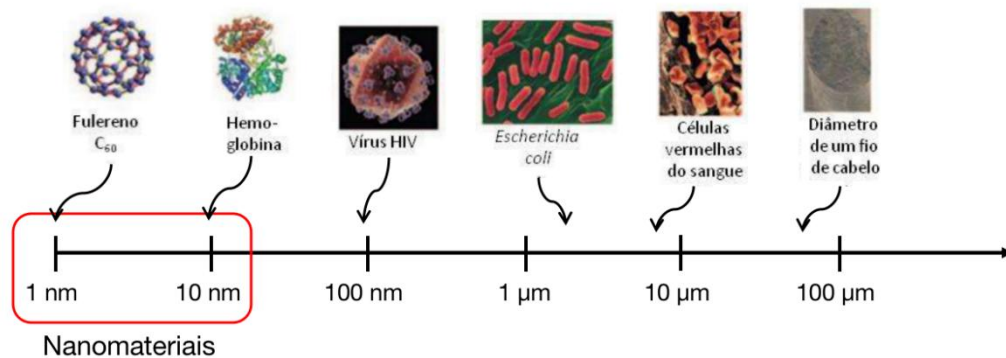
No presente trabalho procurou-se entender a situação atual da nanotecnologia, suas aplicações na indústria, a possibilidade e viabilidade do uso da nanopartícula de prata em diversas frutas e hortaliças para aumento da vida útil, e também seus impactos no meio ambiente.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Nanopartículas

Nanomateriais são estruturas que têm dimensões na escala do nanômetro (nm), ou seja, um bilionésimo ( $10^{-9}$ ) de um metro, com tamanho estabelecido entre 1 e 100 nanômetros. Para melhor compreensão da dimensão, um nanômetro (nm) tem um bilionésimo de metro, ou aproximadamente o comprimento de três átomos lado a lado (FERREIRA; RANGEL, 2009). Como mostrado na Figura 1, as células vermelhas do sangue têm aproximadamente  $10\mu\text{m}$ , uma bactéria *Escherichia coli*  $1\mu\text{m}$ , um vírus HIV cerca de 100 nm e uma hemoglobina aproximadamente 10 nm. Um cabelo humano tem aproximadamente 100.000 nm de espessura.

Figura 1: Comparação entre diferentes tamanhos de estrutura



Fonte: GOESMANN e FELDMANN, 2010 - Adaptado

Em tais dimensões, estes materiais podem apresentar diferentes propriedades físicas, químicas e/ou biológicas, abrindo um leque de novas possibilidades para a nanotecnologia (SUDARENKOV, 2013).

Algumas dessas nanopartículas (NPs) podem ser encontradas na natureza, por exemplo, os óxidos de ferro, substâncias húmicas e também polissacarídeos e peptidoglicanos. Uma função das NPs naturais é fazer com que o transporte de contaminantes nas águas superficiais seja mais fácil e evitar a contaminação de determinada região. Porém, caso ocorra a agregação de partículas maiores, essas podem bloquear a ação das NPs, ocorrendo sedimentação das mesmas. (JU-NAM; LEAD, 2008).

Contudo, há também a possibilidade de sintetizar em laboratório as NPs, o que possibilita obter materiais com características controladas como, tamanho e forma, influenciando também nas propriedades físicas e químicas do material em relação a sua escala micrométrica. Estas NPs têm muitas aplicações, tais como em ciências biológicas, medicina, indústria farmacêutica, cosméticos, alimentos e eletrônicos, e estão sendo expandidas cada vez mais para satisfazer os interesses das indústrias, dos cientistas e do governo (JU-NAM; LEAD, 2008).

Com essa redução do tamanho das partículas algumas propriedades importantes são modificadas (CUSHEN et al., 2012). Por exemplo, na escala nano a área superficial da partícula aumenta, e com isso as propriedades ópticas, mecânicas, químicas e biológicas de nanopartículas são diferentes do que as do mesmo material em escala macro. Assim, essa alteração nas propriedades possibilita a aplicação das nanopartículas em diversos produtos, com as diferentes propriedades. Como regra geral, quanto menor o tamanho dos “grãos” que compõem os materiais, mais duro pode ser o material correspondente. Além disso, as propriedades ópticas dos nano materiais mudam, pois, dependendo do nanomaterial, pode emitir uma luz com diferentes características relacionado a organização de seus níveis eletrônicos. Pelo tamanho característico das nanopartículas, seus elétrons ficam confinados em níveis discretos de energia, tendo a separação entre eles uma fina e direta dependência com as dimensões físicas do objeto. Há também as propriedades magnéticas dos nano materiais, que dependem fortemente de seu tamanho. Assim, por exemplo, o ferro é um material magnético usado para se fazer ímãs permanentes. No entanto, nanopartículas de ferro de tamanho menor do que 10 nm deixam de se comportar como um ímã (AUGUSTIN e SANGUANSRI, 2009).

Atualmente, existem diversos métodos para síntese em laboratórios dessas NPs. Estes são divididos em métodos físicos e químicos. Nos métodos físicos, também conhecidos como *top down*, utilizam-se de processos físicos, como moagem, têmpera e a fotolitografia, a decomposição térmica, a irradiação, a difusão, entre outras. Já os métodos químicos são denominados *bottom up* e envolvem espécies moleculares em reações químicas para gerar o crescimento dos aglomerados como, síntese eletroquímica, uso de elementos biológicos para essa síntese, solvotermal e hidrotermal (JU-NAM; LEAD, 2008), (CARVALHO, 2013).

Um método que vem sendo muito utilizado é o de redução química. Neste método, ocorre a redução dos cátions metálicos para sua forma elementar, em escala nanométrica, na presença de agentes redutores como, por exemplo, o borohidreto de sódio. Outro agente necessário neste tipo de reação é um agente estabilizante que pode ser o próprio agente



reductor, ou outro composto químico, por exemplo, ácidos húmicos, no qual sua proporção molar em relação ao agente reductor é geralmente 2:1. Esta proporção permite a obtenção de NPs mais estáveis impedindo sua aglomeração (CARVALHO, 2013).

#### 4.1.1 Nanopartículas de prata

Como já citado anteriormente, o interesse na aplicação industrial de nanopartículas está crescendo cada vez mais. Há ainda um grande interesse na utilização de nanopartículas de prata em específico. Isto se deve às suas propriedades como, boa condutividade, elevado efeito catalítico, alta área superficial e excelente atividade antimicrobiana. As AgNPs podem ser utilizadas para reduzir infecções, prevenir a colonização bacteriana em superfícies de prótese, em cateteres e materiais odontológicos, bem como na indústria de alimentos, no tratamento de água e na fabricação de tintas antibacterianas (Guzmán et al., 2009).

O efeito antimicrobiano apresentado pelas AgNPs é devido à sua interação com proteínas compostas de enxofre nas células, bem como com os compostos contendo fósforo como o DNA. Além disto, as nanopartículas de prata apresentam propriedades antimicrobianas eficientes, em virtude de sua grande área superficial que proporciona melhor contato com as bactérias (MORONES et al., 2005; SONG et al., 2006).

A síntese das nanopartículas de prata pode ser realizada a partir de diversos métodos. Por esta razão, neste trabalho serão apresentados apenas alguns métodos descritos na literatura: a partir da redução por borohidreto de sódio e nitrato de prata, a partir do PVP (polivinilpirrolidona) e glicose, e a síntese verde.

Uma das principais dificuldades encontradas na síntese das nanopartículas metálicas, é obter suspensões coloidais estáveis. Este problema ocorre, pois por possuírem uma elevada área superficial e conseqüentemente uma alta energia superficial, as nanopartículas facilmente se agregam através das ligações metal-metal, gerando partículas maiores, o que não é desejável (KLABUNDE, 2001). Portanto, para evitar que as nanopartículas se agreguem, são utilizados estabilizadores durante a síntese. Esses estabilizadores possuem a função de adsorver na superfície das nanopartículas, e produzir uma camada que evita a interação entre elas (MELO et al., 2012).

Alguns exemplos de estabilizadores mais utilizados atualmente são, os poliméricos, como o PVA (poliacetato de vinila), PVP (polivinilpirrolidona), e o PAA (ácido poli acrílico), que possuem em suas estruturas sítios básicos de Lewis, ou seja, dispõem de uma carga negativa (presença de elétrons), com alta afinidade pelas AgNPs. Podem ainda ser utilizadas

como estabilizantes cadeias orgânicas longas, criando um impedimento estérico, e evitando que as nanopartículas se aproximem, e interajam gerando partículas maiores (KLABUNDE, 2001).

Há ainda um método em que se adiciona íons borohidreto e citrato de sódio para estabilizar as nanopartículas de prata. Estes íons adsorvem na superfície das mesmas, e geram repulsões eletrostáticas entre elas, como mostrado na figura 2. Mas para que isso ocorra, é preciso adicionar esses reagentes em excesso (SOLOMON et al., 2007).

Uma etapa importante na sintetização das AgNPs, é que requer reagentes de alta pureza, para evitar que impurezas sirvam como sítio de nucleação das nanopartículas. Deve-se atentar também ao controle das condições de reação, como tempo de agitação e proporções relativas dos reagentes, para que se obtenha o produto estável (HYNING et al., 2001). A reação que descreve o processo de redução de íons prata pelo borohidreto de sódio é representada pela Equação 1:

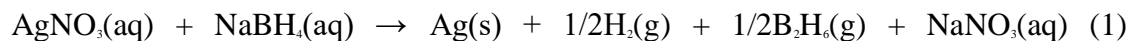
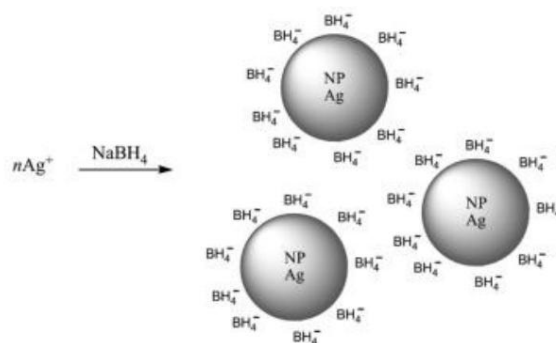


Figura 2: Borohidreto adsorvido na superfície das nanopartículas de prata, gerando repulsões eletrostáticas.



Fonte: Solomon et al. (2007)

Outro método de síntese que será abordado neste trabalho é utilizando como agente estabilizante o PVP (polivinilpirrolidona) e a glicose como agente redutor. Inicialmente, é preparada uma solução contendo PVP e glicose, utilizando água desmineralizada, e então esta solução é aquecida a 80°C. Depois, uma solução de nitrato de prata é preparada através da dissolução de certa massa do composto em água desmineralizada e então misturam-se as duas

soluções. Essa solução final é agitada por uma hora com aquecimento a 80°C e finalmente resfriada, para interromper a reação, representada pela Equação 2: (BOSELT et al., 2015)



Porém, com a demanda crescente de nanopartículas, e simultaneamente uma maior preocupação das indústrias com o meio ambiente, tem-se a necessidade de desenvolver métodos sustentáveis, ou seja, com baixo impacto ao meio ambiente. Vários países no mundo estão desenvolvendo políticas para reduzir os resíduos tóxicos gerados, e a química verde é uma opção que, gradualmente, está ganhando espaço no meio científico (LENARDÃO et al., 2003).

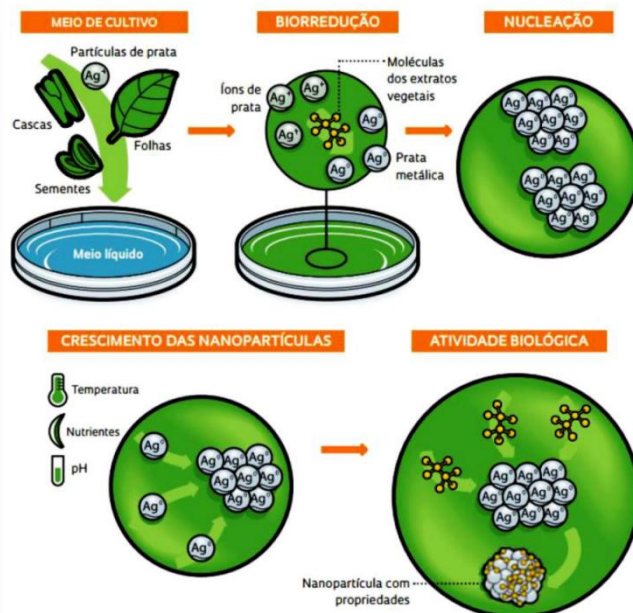
Na síntese verde deve-se substituir os reagentes convencionais, por aqueles com baixa ou sem toxicidade, tornando o método sustentável. Neste método são utilizados extratos vegetais com a capacidade de reduzir os íons  $\text{Ag}^+$  em nanopartículas, através de apenas uma única etapa, sem produzir resíduos tóxicos, como pode-se observar na figura 3 abaixo (SHARMA et al., 2008). Algumas moléculas presentes nas plantas que podem agir como agentes redutores e estabilizantes são as enzimas, proteínas, aminoácidos, flavonoides, compostos heterocíclicos e metabólitos hidrossolúveis, que são podem ser encontrados nos talos, cascas, folhas, sementes ou na mistura desses. As vantagens deste método é o fato de que as plantas podem produzir biomoléculas redutoras que aderem à superfície das nanopartículas, estabilizando-a e protegendo-a. Além disso, é um método, geralmente, de alto rendimento e baixo custo de produção (MITTAL et al., 2013). Dependendo de qual parte da planta for utilizada para o extrato (folhas, talo, cascas ou sementes), tem-se diferentes características e eficiências. Alguns exemplos de plantas já utilizados em pesquisas científicas são, a erva mate (DE MELO, 2015), *Artemisia annua* e *Sida acuta* (JOHNSON et al., 2015), casca de banana *Cavendish* (KOKILA et al., 2014), *Hibiscus rosa sinensis* (PHILIP, 2010), *Camellia sinensis* (chá verde) (VILCHIS-NESTOR et al., 2008). Normalmente, para a realização dessa síntese o extrato é misturado a uma solução aquosa de um sal do metal, como o nitrato de prata, e acontece a biorredução ou redução química. Alguns parâmetros que influenciam na velocidade da reação, e no produto final (nanopartícula), são: pH, temperatura, concentração e natureza do extrato, e concentração do sal metálico (MITTAL et al., 2013).

Outra forma de síntese verde é utilizando organismos vivos como bactérias, e fungos, pois possuem um bom potencial para a produção de nanopartículas metálicas. A primeira síntese de AgNPs com a utilização de bactérias foi reportada em 2000, por Joerger e

colaboradores, que sintetizaram AgNPs, a partir de *P. stutzeri* AG259. Alguns anos depois, em 2008, realizou-se a biossíntese de nanocristais de prata a partir do *Bacillus licheniformis*; a adição de solução aquosa de íons prata em biomassa de *B. Licheniformis* promoveu a redução desses íons e a formação de AgNPs (GHORBANI et al., 2011). Em 2001, o fungo *Verticillium* foi utilizado em um novo método biológico de síntese de nanopartículas de prata. A interação entre o fungo e os íons prata, em solução aquosa, resultou na redução intracelular dos íons  $\text{Ag}^+$  e a formação de nanopartículas com dimensões entre 13 e 37 nm. A redução dos íons prata deve ocorrer por um processo enzimático (DURAN et al., 2005).

Dentre os métodos citados anteriormente, e todos outros existentes, reflete a necessidade da indústria por novos produtos e novos processos, com baixo custo para ser competitivo no mercado. Contudo, as AgNPs disponíveis atualmente ainda são caras e limitadas quanto a quantidade produzida. Assim, é necessário que mais estudos e pesquisas sejam feitas sobre este tema, para que se desenvolva processos com menores custo para a produção, e em maior escala, para serem utilizadas na formulação de novos materiais bactericidas (Kim et al., 2007; Pinto et al., 2010).

Figura 3: Representação do crescimento das nanopartículas através da síntese verde.



Fonte: Revista Pesquisa Fapesp, 2014. Disponível em <<https://revistapesquisa.fapesp.br/nanopartículas-verdes/>>.

## 4.2 Ação da nanopartícula de prata como antimicrobiano

O efeito antimicrobiano da prata já é conhecido há muito anos, sendo utilizado antigamente no tratamento de queimaduras e como agente quimioterápico contra patologias provocadas por bactérias, como a *Staphylococcus aureus*. Após a descoberta da penicilina, o uso da prata como agente bactericida diminuiu consideravelmente. Porém, com a seleção de cepas resistentes a antibióticos, a prata voltou a ser estudado para combater essas cepas resistentes (CHOPRA, 2007).

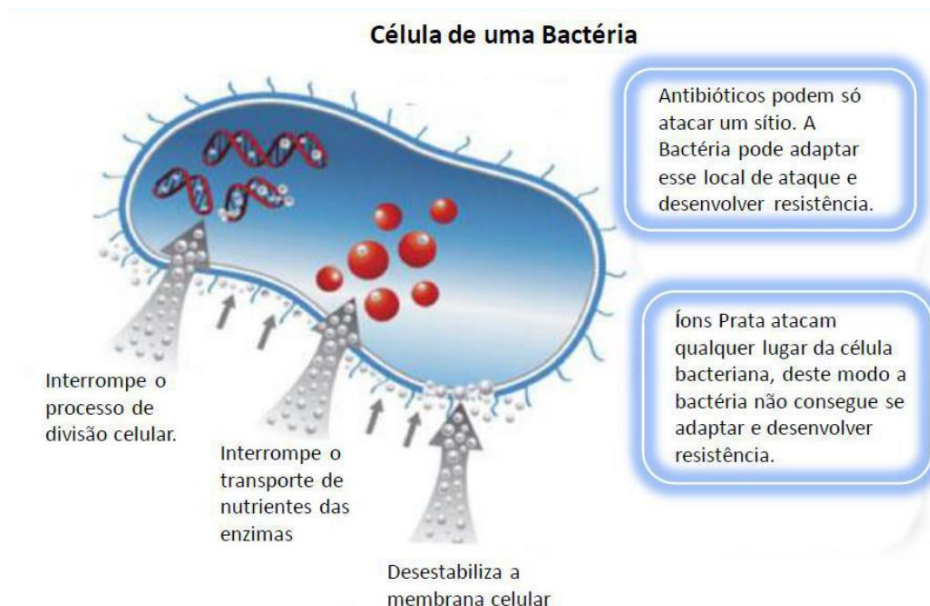
A atividade antimicrobiana da nanopartícula de prata é bem estabelecida, e pode ser associada ao seu tamanho reduzido e grande área superficial. No entanto, seu mecanismo de ação antimicrobiana não está totalmente esclarecido, necessitando ainda muitos estudos sobre a forma que as AgNPs atuam nos microorganismos, se apresentam um mecanismo de ação específico, ou se sua atividade antimicrobiana está somente associada à liberação de íons  $Ag^+$ , que é a forma bioativa. Além disso, ao compreender o mecanismo de ação, pode-se identificar possíveis utilizações em conjunto com outros biocidas para potencializar o efeito antimicrobiano. (BENEDITO et al., 2017).

No entanto, sabe-se que sua atuação resulta na inibição do crescimento e perda da efetividade, ao impedir os processos que ocorrem na superfície e no interior da célula dos micro-organismos. Seu tamanho muito pequeno, é essencial para a facilitar a passagem pela membrana celular, prejudicar assim o funcionamento celular, retardando a velocidade de suas atividades vitais, e ocasionando danos celulares. (MORONES, 2005; SHARMA, 2008).

Vários estudos relatam que a carga positiva do íon  $Ag^+$  (cedido pelas AgNPs após atravessarem a parede celular dos micro-organismos) é primordial para a sua atividade antimicrobiana, por meio da atração eletrostática entre a membrana celular dos microorganismos (negativamente carregadas) e as nanopartículas (positivamente carregadas). Consequentemente, as AgNPs afetam a permeabilidade seletiva da membrana, bem como a respiração, resultando na morte celular (MORONES, 2005; SHARMA, 2008). Além disso, as nanopartículas de prata são capazes de invadir as células, interagindo com ligações dissulfeto das glicoproteínas e proteínas dos microorganismos sendo nociva as mesmas, e consequentemente afetando negativamente o DNA (dificulta sua replicação) e o RNA (impossibilita sua transcrição) (LARA et al., 2011). Isto ocorre pelo fato de que a prata tem alta afinidade com o enxofre e o fósforo. A membrana celular, assim como muitas proteínas, é rica em enxofre. Já o DNA, é rico em fósforo. Estas modificações nas estruturas prejudicam os processos bacterianos, podendo ocasionar sua morte celular (MORONES, 2005;

SHARMA, 2008). Além disso, sua ação mais efetiva em bactérias gram-negativas, por exemplo, se deve ao fato de a camada externa dessas bactérias gram negativas ser constituída acima de uma camada de lipopolissacarídeo e a camada interna é composta por uma cadeia polissacarídica linear formando uma rede tridimensional com peptídeos. As AgNPs se acumulam devido à atração entre as cargas negativas nos polissacarídeos e cargas positivas fracas nas nanopartículas de prata, e interrompe a replicação celular dos microorganismos (Tho et al., 2013). Ainda, a toxicidade das nanopartículas é geralmente desencadeada pela formação de radicais livres, como ROS (Soenen et al., 2011; Nel et al., 2009). Se o ROS é produzido pode causar ruptura da membrana e alterar a permeabilidade. O mecanismo de inibição do crescimento segue a interação eletrostática, adsorção e penetração das nanopartículas na parede celular bacteriana. A toxicidade das nanopartículas também depende da composição, modificação de superfície, propriedades intrínsecas e tipo de microorganismos (Lara et al., 2011; Bolla et al., 2011; Guzman et al., 2012; Thwala et al., 2011; Allahverdiyev ET AL., 2011). A Figura 4 ilustra a interação do íon prata em células de bactérias.

Figura 4: Ação das nanopartículas de prata em uma célula bacteriana.



Fonte: Methanogens and Nano\_silver, disponível em

<http://methanenanosilver.weebly.com/> - Adaptado

Porém, diversos estudos têm sido desenvolvidos ao longo dos últimos anos para melhor entender o mecanismo de ação das nanopartículas de prata, e seus efeitos sobre os micro-organismos (DALLAS, SHARMA e ZBORIL, 2011; POTARA et al., 2011).

### 4.3 Aplicação direta das AgNPs na agricultura

A produção agrícola é um setor amplamente afetado por diversas doenças nas plantas, causando muitas perdas econômicas. Uma forma de reduzir essas perdas é utilizando os pesticidas químicos, porém estes causam muitos efeitos nocivos ao meio ambiente e ao ser humano. No entanto, com o surgimento de novas tecnologias, e mais em específico da nanotecnologia, um novo campo de aplicação se abriu na agricultura. Considerando que a prata apresenta vários modos de ação inibitória para microorganismos (CLEMENT; JARRET, 1994), ela pode ser usada para controlar vários patógenos de plantas de uma forma relativamente mais segura em comparação com fungicidas sintéticos (PARK et al., 2006). Contudo, devido aos riscos que AgNPs sintetizadas quimicamente podem oferecer, a sua síntese através da química verde vem ganhando atenção, principalmente a partir de extratos vegetais e micróbios como bactérias e fungos, como já explicada anteriormente neste trabalho, (MISHRA; SINGH, 2014)

Porém, o uso dessas nanopartículas obtidas através de diferentes métodos de síntese em ambientes agrícolas ainda não é totalmente explorado, havendo na maior parte apenas estudos em condições de laboratório, existindo pouca informação sobre estudos desenvolvidos nos sistemas agrícolas (MISHRA; SINGH, 2014).

Atualmente, muitos pesquisadores e trabalhadores têm defendido a atividade antimicrobiana dos AgNPs contra uma ampla e diversa gama de patógenos de plantas. Inicialmente, Park et al. (2006) desenvolveram uma nanopartícula de sílica-prata que demonstrou atividade antimicrobiana contra vários fitopatógenos, *Pythium sp.*, *Colletotrichum sp.*, *Pseudomonas syringae*, *Xanthomonas compestris*, etc. A nanopartícula também foi eficiente no controle do mofo da abóbora mesmo a uma concentração muito baixa de 0,3 ppm. Kim et al. (2009) investigaram o efeito inibitório da suspensão de AgNP no crescimento fúngico e na germinação de conídios do fitopatógeno ascomiceto *Raffaelea sp.* que causa a doença da murcha do carvalho. Ainda, outros estudos feitos por diversos pesquisadores forneceram evidências de que a AgNPs poderiam ser aplicadas para controlar uma variedade de patógenos de plantas, como *Bipolaris sorokiniana*, *Magnaporthe grisea* (Jo et al. 2009), *Fusarium culmorum* (Kasprowicz et al. 2010), *Colletotrichum sp.* (Lamsal et al. 2011a), mofo em pepino e abóbora (Lamsal et al. 2011b), *Pseudomonas syringae* (Chu et al. 2012) e mofo cinza no morango (Moussa et al. 2013). (ALI; YOUSEF; NAFADY, 2015) também demonstraram o efeito das nanopartículas de prata, tendo biossintetizado elas a partir

do rabanete branco (*Raphanus sativus var. aegyptiacus*) para o controle do caracol terrestre *Eobania vermiculata* e alguns fungos patogênicos de plantas, obtendo resultados positivos como um excelente fungicida.

Porém, para melhor compreender a possível toxicidade das AgNPs, é preciso focar estudos para verificar as principais interações das nanopartículas com os agroecossistemas. Este tema será melhor abordado no item 4.5 do presente trabalho.

#### **4.4 Aplicação das nanopartículas de prata para conservação pós-colheita de frutas e hortaliças.**

Frutas e hortaliças são produtos de rápida deterioração, e por isto, é necessário a utilização de algum material para protegê-las e aumentar sua vida útil. As embalagens são uma das opções, podendo não só proteger o produto do ambiente externo, mas também pode manter a ambiente interno controlado (HELLSTRÖM; SAGHIR, 2007). Essas embalagens funcionam como barreira à umidade e alguns gases, reduzindo a respiração e transpiração de frutos, retardando o amadurecimento, e melhorando algumas características do produto armazenado e aumentando sua vida de prateleira (FAKHOURI et al., 2007; FERNANDES et al., 2015). Porém, dependendo do material do qual é composto a embalagem, muda sua propriedade de barreira, pois muda sua permeabilidade.

Além dessas embalagens já existentes no mercado, algumas tecnologias alternativas e de baixo custo também vem sendo estudadas como opção para reduzir as perdas pós-colheita. Entre essas alternativas, as coberturas e filmes são algumas delas que têm sido aplicadas atualmente, e algumas das vantagens são sua fácil implementação, baixo custo e bons resultados com relação ao aumento da vida útil das frutas (TURHAN, 2004) (FAGUNDES et al., 2014; LICODIEDOFF et al., 2016; LOREVICE; DE MOURA; MATTOSO, 2014; SILVA et al., 2019).

Apenas para esclarecimento, a diferença de cobertura e filme, é que a cobertura é aplicada e formada sobre a superfície do alimento, seja por imersão, aspensão ou aplicação com um pincel (SCARTAZZINI, 2018). Já o filme é formado separadamente e depois aplicado sobre o produto (FAKHOURI et al., 2007).

Alguns dos biopolímeros mais frequentemente utilizados na formulação desses filmes e coberturas são, as proteínas (caseína, gelatina, zeína), polissacarídeos (amido e seus derivados, celulose, quitosana, pectina, alginato) e os lipídios (ácido esteárico, ceras) (FAKHOURI et al., 2007; SCARTAZZINI, 2018). Além de serem biodegradáveis, possuem a



vantagem de não serem tóxicos e apresentarem baixo custo (FIALHO E MORAES et al., 2007; IMRAN et al., 2010).

Com a aplicação desses filmes e coberturas, têm-se a formação de uma cobertura com preenchimento parcial dos estômatos e lenticelas, reduzindo, dessa forma, a transpiração e a respiração do alimento. Como a maturação dos frutos e hortaliças está diretamente associado ao aumento na produção de etileno e, considerando que o  $O_2$  é necessário para a sua produção, a redução da permeação do  $O_2$  para o interior do fruto gerará uma redução na produção do etileno, retardando o amadurecimento e prolongando a vida de prateleira das frutas e hortaliças (Assis et al., 2008).

Ainda, há estudos que mostram a possibilidade de aplicar a nanotecnologia nas embalagens, filmes e coberturas, podendo propiciar melhores propriedades mecânicas, térmicas, de barreira e antimicrobianas. Uma das vantagens de utilizar essas embalagens contendo agentes antimicrobianos, é a difusão que pode ocorrer desses compostos da embalagem para a superfície do alimento de maneira controlada. (HANUŠOVÁ et al., 2009). Quando o antimicrobiano é liberado da embalagem ao longo do tempo, diminui-se o crescimento microbiano na superfície do produto. Dessa forma, a atividade antimicrobiana da embalagem auxilia na garantia da segurança alimentar durante a distribuição dos alimentos (SOARES, 2009).

Uma das nanopartículas metálicas muito estudadas para estas aplicações são as nanopartículas de prata (SHAH et al., 2016), isto porque as nanopartículas de pratas (AgNPs), como já citado anteriormente, possuem ação antimicrobiana, intervindo no crescimento microbiano e prolongando a qualidade do produto (DURÁN et al., 2010).

Algumas pesquisas já vêm sendo desenvolvidas para estudar essa aplicação das AgNPs em filmes e coberturas, e os resultados publicados mostraram que os filmes com AgNPs apresentaram maior eficácia antimicrobiana em bactérias Gram-negativa (*E. coli*) do que em bactérias Gram-positiva (*S. aureus*). Por possuir partículas negativas na superfície da parede celular dessas bactérias, há uma maior atração entre essa superfície e as AgNPs, que possuem carga positiva quando na forma iônica, fazendo com que uma maior quantidade de nanopartículas de prata se liguem na superfície desses micro-organismos formando “buracos” na parede celular bacteriana, aumentando sua permeabilidade e causando a morte celular (KIM et al., 2007).

Resultados de diversas pesquisas indicam também que a incorporação das AgNPs em filmes poliméricos não prejudica a atividade antimicrobiana das NPs, como também foi relatado por Travan et al. (2011). Um exemplo desse efeito antimicrobiano das AgNPs

incorporadas é apresentado por Puti (2014), em que filmes PEBD+AgNP mostraram eficácia contra bactérias Gram-positiva e Gram-negativa, podendo serem utilizados como embalagens para alimentos, com a finalidade de reduzir a contaminação microbiana presente na superfície de frutas e hortaliças.

Oliveira (2019) também apresentou o efeito antimicrobiano da aplicação por imersão das Av-AgNPs (Nanopartículas de Prata Biossintetizada por Extrato de Aveloz) em morangos contra a degradação microbiológica dos morangos durante o armazenamento, que foi decisivo para sua melhor conservação. Vieira et al (2020) aplicou cobertura a base de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e nanopartículas em mamão *Carica papaya* e verificou que a incidência do fungo *Colletotrichum gloeosporioides* que causa a antracnose, doença que causa grandes perdas pós-colheita em vários frutos, incluindo mamão não foi observada por 14 dias.

Muitos outros estudos vêm sendo desenvolvidos sobre a utilização das AgNPs em frutas e hortaliças. Moura, Mattoso e Zucolotto (2012) incorporaram nanopartículas de prata em matriz de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) para aplicação em embalagens alimentícias. Costa e colaboradores (2011) avaliaram o uso de NPs antimicrobianas de prata-montmorillonita (Ag-MMT) no melhoramento da vida útil de salada de frutas frescas. (KANMANI e RHIM, 2014) exploraram as propriedades físico-químicas de filmes antimicrobianos composto por gelatina com AgNPs para uso como embalagens para alimentos. Nascimento (2015) avaliou os efeitos da imersão de couve minimamente processada em uma solução contendo AgNPS para sua conservação.

Abaixo na Tabela 1, estão apresentados alguns estudos realizados utilizando filmes e cobertura com nanopartículas de prata, e seus resultados na inibição microbiana.

Tabela 1: Aplicação das nanopartículas de prata em frutas, hortaliças e folhosos

Aplicação	Concentração de nanop prata utilizada	Metodologia de aplicação da AgNP	Resultados obtidos	Método de síntese da AgNP	Referência
Morango	923,4 µg	Imersão	Inibição parcial do fungo <i>R. stolonifer</i> ; fungo <i>B. cinerea</i> foi totalmente inibido.	Síntese verde, utilizando extrato de alveloz.	(OLIVEIRA, 2019)
Mamão cv Papaya Golden	0,25%	Filme	Inibição e prevenção no crescimento do <i>C. gloeosporioides</i> .	AgNps cedidas pela empresa TNS.	(VIEIRA, 2020)
Morango	Abaixo do nível de detecção do equipamento utilizado para caracterizar a embalagem.	Filmes de PEBD aditivados com AgNPs, no formato de sacos.	Boa barreira contra a perda de vapor de água; Redução de 90,92% para <i>Echerichia coli</i> ; Redução de 44,58% para o <i>Staphylococcus aureus</i> .	Filmes aditivados com AgNPs cedidos por uma empresa.	(PUTI, 2014)
Maçã Fuji		Filmes de PCL (poli( $\epsilon$ -caprolactona)) incorporados de nanopartículas de prata.	Depois de 40 dias cerca de 70% das maçãs embaladas em filmes de PCL-NP continuavam próprias para o consumo.	Reação de óxido-redução com nitrato de prata e ácido ascórbico como agente oxidante.	(PONCE, 2009)
Aplicação direta das bactérias sobre o filme.	12,83 mg/Kg	Nanopartículas de prata incorporadas em filmes de poliestireno.	Atividade antimicrobiana contra <i>E.coli</i> , <i>S. typhimurium</i> e <i>S. aureus</i> .	Foi realizada utilizando nitrato de prata como agente precursor, oleilamina como agente redutor e estireno como solvente.	(BEZERRA, 2015)
Couve minimamente processada	37,5 e 75 µg/mL	Imersão em solução com as AgNPs.	A solução de AgNPs nas duas concentrações testadas diminuiu significativamente a quantidade de microrganismos psicotróficos e mesófilos em relação ao controle.	Síntese verde utilizando D-glicose como agente redutor e amido como estabilizante.	(NASCIMENTO, 2015)
Discos de 1 cm de diâmetro foram cortados do filme com AgNPs e colocados no		AgNPs incorporadas em uma matriz de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC).	Os maiores halos de inibição foram observados para a bactéria Gram-positiva ( <i>S. aureus</i> ), enquanto os menores foram observados para a bactéria Gram-negativa ( <i>E. coli</i> ).	Nanopartículas de prata revestidas com álcool polivinílico (PVA) foram sintetizadas por redução dos sais de nitrato de prata com boro-hidreto de sódio.	(MOURA; MATTOSO; ZUCOLOTTI, 2012)
Kiwi ( <i>Actinidia deliciosa</i> cv. Hayward) e Abacaxi ( <i>Ananassativus</i> )	10, 15 e 20mg	As frutas foram embaladas em caixas de polipropileno (PP) e, antes de encher a embalagem, as Ag-MMT foram colocadas no fundo de cada caixa.	Todas as amostras com Ag-MMT mostraram uma carga de células mais baixa do que a amostra controle (sem AgNPs). As concentrações microbianas mais baixas foram encontradas para a concentração de 20 mg de AgNPs.	Nanopartículas de prata-montmorilonita (Ag-MMT) foram preparadas por reação de troca iônica.	(COSTA; CONTE; BUONOCORE; NOBILE, 2011)
Aplicação da solução do filme direto sobre os patógenos.	0, 10, 20, 30 e 40 mg de AgNPs	Aplicação da solução do filme com as AgNPs no meio de cultura com as bactérias, usando métodos de difusão de poço de ágar e contagem de colônias.	O aumento da adição de AgNPs aos filmes resultou em maiores zonas de inibição. Entre as várias cepas patogênicas, as Gram-negativas foram as mais suscetíveis as AgNPs, seguido pelas Gram positivas.	Filmes foram preparados pela mistura de soluções aquosas de gelatina com diferentes concentrações de AgNO <sub>3</sub> , usando um método de fundição por solvente, e formando as AgNPs já no filme.	(KANMANI; RHIM, 2014)
Contato direto do filme com soluções contendo as bactérias <i>Staphylococcus aureus</i> e <i>Escherichia coli</i> .	15 e 75 ppm	Filmes polietileno de baixa densidade (PEBD) contendo NPs Ag com carregador de sílica (SiO <sub>2</sub> ).	Apresentaram ação antimicrobiana contra os microrganismos estudados, sendo mais eficazes nas concentrações maiores de NPs Ag. Além disso, foi observado uma inibição maior na <i>E. coli</i> .	Foi inicialmente preparado uma mistura de prata (Ag) e SiO <sub>2</sub> , e posteriormente incorporadas em masterbatches. Então, para preparação dos filmes os masterbatches foram homogeneizados com pellets de PEBD puro.	(BRITO; SIVIERI; FERREIRA, 2017)
Manga	0,5 e 1%	Aplicação do composto quitosana-AgNP como material de cobertura para inibir o crescimento fúngico de <i>C. gloeosporioides</i> que está associado a antracnose na manga.	O composto quitosana-AgNP, na concentração de 0,5 e 1%, apresentou redução da antracnose em 45,7 e 71,3%, respectivamente.	AgNPs sintetizadas utilizando quitosana como agente redutor e estabilizador.	(P.; SHIVAKUMAR; C.; S., 2014)
Morango	0%, 1%, 5% e 10%	Diferentes percentuais de AgNPs foram adicionadas ao ácido polilático (PLA) para fazer um filme de embalagem com nanocompósito ativo	O filme ativo de nano-Ag reduziu efetivamente a taxa de perda de peso dos morangos durante o armazenamento e diminuiu a perda de firmeza, sólidos solúveis e teor de ácido titulável. Além disso, reduziu o crescimento microbiano, principalmente na concentração de 10% de AgNPs.	As AgNPs foram compradas da Wanjing New Material Co., Ltd.	(ZHANG; LI; ZHU; CHEN; CHI; LI; QIN; XUE, 2018)

#### 4.5 Migração das nanopartículas de prata da embalagem para o alimento

Filmes contendo nanopartículas metálicas são uma opção para proteger os alimentos através da sua atividade antimicrobiana, ajudando a controlar o crescimento de microrganismos patogênicos e deterioradores na superfície dos alimentos, como já explicado anteriormente neste trabalho (AZEREDO, 2009). Contudo, a migração dessas nanopartículas do revestimento para o interior dos alimentos ainda é pouco conhecida, sendo necessário focar pesquisas nesse setor, pois pode resultar em consequências toxicológicas ao consumidor. Segundo alguns estudos, a prata é o metal que apresenta a menor toxicidade para as células animais, pois a concentração efetiva contra microrganismos é de 0,1 µg/L, enquanto para seres humanos a concentração tóxica é 10 mg/L (LEVIN et al., 2009; LEITE, 2003). Porém, as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) para a qualidade da água potável indicam que altos níveis de prata, de até 0,1 mg / L, que podem ser tolerados sem risco para a saúde (WHO, 2003). O órgão americano US Environmental Protection Agency (USEPA) também propôs que o nível máximo de íons de prata em água potável deve ser inferior a 0,10 mg/L (USEPA, 2006), pois a absorção da prata através das membranas bucal e gastrointestinal é determinada pelo grau de ionização do composto. A prata torna-se disponível na forma  $Ag^+$ , assim, interage com os receptores de proteínas presentes nas membranas celulares (LANSDOWN, 2010). A extensão da absorção também parece estar relacionada com o tempo de trânsito ao longo do trato gastrointestinal, sendo essa explicação dos autores para as diferenças interespecies na retenção de prata, já que o trânsito rápido denota uma menor dose absorvida (ATSDR, 1999). Porém, a prata ainda não é classificável quanto à carcinogenicidade para humanos (IRIS/USEPA, 2011). De acordo com Hussain et al., (2006) o contato das nanopartículas com o corpo humano leva a uma série de processos tais como a ligação e reação com proteínas, fagocitose, deposição, depuração etc. Foi recentemente demonstrado que várias linhagens de células expostas a AgNPs apresentavam diminuição da função das mitocôndrias. No entanto, os mecanismos subjacentes a este efeito ainda não estão esclarecidos, mas provavelmente envolvem a interação entre os íons de prata e grupos SH das proteínas (YACOBI et al., 2007). Desta forma torna-se necessária a avaliação da concentração de prata nos alimentos tratados com tais nanopartículas, pois a migração de nanopartículas para alimentos e bebidas é a principal rota de entrada destas partículas no intestino (ECHEGOYEN; NERÍN, 2013).

Em maio de 2011 a EFSA (Associação Europeia de Segurança Alimentar) publicou um guia de orientação para avaliar os riscos potenciais do uso da nanotecnologia em relação à

questão dos alimentos seguros. Esta publicação ocorreu devido às questões e incertezas sobre os possíveis efeitos toxicológicos destes nanomateriais com propriedades químicas, fisiológicas, farmacológicas e toxicológicas de natureza distinta (ECHEGOYEN; NERÍN, 2013). (ŠIMON; CHAUDHRY; BAKOŠ, 2008) realizaram um estudo teórico sobre o risco potencial de migração de nanopartículas de embalagens para alimentos. O estudo relata que esse risco é possível no caso de nanopartículas extremamente pequenas (cerca de 1 nm) em matrizes poliméricas de baixa viscosidade, como por exemplo: polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD) e polipropileno (PP).

Becaro (2014) também realizou estudos de migração das AgNPs contidas em embalagens para a cenoura cortada em rodela. Para o teste, as rodela de cenoura, foram embaladas nas amostras de filmes com diferentes concentrações e deixadas em contato por 10 dias, a 10 °C ( $\pm 2$  °C) e UR próximo a 90%. Para detectar a presença de nanopartículas nas amostras, as mesmas foram analisadas pela técnica de ICP-OES (Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente).

Nas condições analisadas por (BECARO, 2014), em nenhuma das amostras de cenoura mantidas em contato com os filmes nanoparticulados foi detectada prata, o que é bastante desejável. Alguns fatores podem ter contribuído para a não migração destas partículas para o alimento, como: temperatura, tempo de contato entre o alimento e a embalagem. Outro fator que podem ter contribuído para a não detecção de prata foi o limite de resolução da técnica empregada de 10 ppb. Mas também podemos considerar o fato de simplesmente não ter ocorrido migração de partículas para o alimento nas condições empregadas. Contudo, este fato não exclui a possibilidade de que partículas possam migrar em outras condições de teste, como demonstrado por (CUSHEN et al, 2014) que encontrou valores médios de prata de 0,0041 mg/dm<sup>2</sup> em amostras que tiveram contato com o compósito de polietileno (PE) e nanoprata, valor este significativamente diferente das amostras controle. Segundo estudo recente, a concentração de partículas presente nos compósitos é considerada o parâmetro mais importante na influência da migração de partículas quando comparado aos parâmetros de tempo, temperatura e tamanho de partículas (CUSHEN et al, 2013). Portanto, outra hipótese que deve ser levado em consideração para a não detecção de prata nas amostras estudadas, pode ser devido à baixa concentração de nanopartículas empregadas nas amostras de filmes estudadas.

Portanto, estudos de migração de nanopartículas para alimentos são altamente desejáveis, especialmente no que se refere aos valores limites considerados seguros, já que

atualmente não existe uma legislação específica que limita valores de nanopartículas de prata. (BECARO, 2014).

Marchiore (2015) estudou a migração das nanopartículas de prata da embalagem para salsichas. No estudo as nanopartículas foram produzidas pela técnica do polissacarídeo modificado, em que o nitrato de prata é reduzido por D-glicose e o amido é usado como estabilizante para prevenir aglomeração das nanopartículas. As salsichas foram mergulhadas durante 1 minuto na solução contendo AgNPs anteriormente diluída. Em seguida as salsichas recobertas com a solução de AgNPs foram embaladas a vácuo, e analisadas em diferentes intervalos de tempo de armazenamento (0, 15 e 30 dias). A concentração de prata metálica presente nas amostras foi determinada por Espectroscopia de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS). As salsichas recobertas com o filme contendo AgNPs foram inicialmente removidas da embalagem a vácuo, e lavadas em 1L de água destilada, que foi armazenada para análise (amostra lavagem). Em seguida as salsichas foram cozidas em água destilada por 5 min e a água após o cozimento também foi armazenada (amostra cozimento). As salsichas cozidas foram então trituradas em liquidificador doméstico com 1L de água destilada. A concentração de AgNPs foi determinada por ICP-MS para a solução diluída antes do tratamento das salsichas e após o recobrimento das mesmas. Foi determinado que inicialmente a solução continha  $23,47 \pm 0,04$  mg/L de prata. Após o tratamento das salsichas uma nova amostra da solução foi analisada resultando em uma concentração igual a  $19,27 \pm 0,12$  mg/L. As salsichas armazenadas por 15 e 30 dias foram então submetidas à lavagem, cozimento e trituração, como explicado acima. As concentrações de AgNPs na amostra de água utilizada para lavar as salsichas antes do cozimento bem como as amostras de salsichas trituradas apresentaram concentração de  $\text{Ag}^+$  de aproximadamente 1,0 e 0,5  $\mu\text{g/L}$ , respectivamente. Além disso, observou-se que as maiores concentrações de  $\text{Ag}^+$  foi encontrada nas amostras da água do cozimento das salsichas. Ainda, percebeu-se com os resultados que apenas a lavagem das salsichas não é suficiente para eliminar a maior parte das AgNPs presentes. O cozimento mostrou-se essencial para extração da prata e diminuição da concentração residual nas salsichas.

Siqueira et al., (2013) analisaram a toxicidade oral aguda de nanopartículas de prata em ratos e observaram que na concentração de 1mg/L houve degeneração celular no fígado, indicando que o uso dessas nanopartículas nesta concentração somente deve ser utilizada na função de embalagem, sem ingestão como embalagem comestível. No caso deste estudo com as cenouras foi detectado um nível máximo de AgNPs de 0,5  $\mu\text{g/L}$  nas salsichas após o cozimento. Esta concentração é 2000 vezes menor do que a avaliada por Siqueira et al.

(2013), e também está abaixo da concentração de 10mg/L, considerada tóxica para os seres humanos (MARCHIORE, 2015).

Já Zhou, Lv, He, He e Shi (2011) investigaram o vazamento de prata da sacola de PE/Ag<sub>2</sub>O para avaliar o potencial risco à saúde quando utilizado como embalagens de alimentos. Essas análises de prata foram realizadas usando um espectrômetro de plasma indutivamente acoplado (ICP).

A maior concentração de íon prata encontrada, liberada da sacola de PE / Ag<sub>2</sub>O, foi determinada como sendo menor que 10 mg / L, de acordo com a exigência da OMS e da USEPA. Além disso, fatias de maçã foram digeridas para análise de Ag a fim de investigar a transferência de prata para o tecido interno, e o valor encontrado foi inferior a  $2 \times 10^{-4}$  mg por grama de maçã, sugerindo uma presença insignificante de prata no tecido interno das fatias de maçã. Todas as observações indicam que a sacola PE / Ag<sub>2</sub>O pode ser usada para embalagens de alimentos com segurança aceitável (ZHOU; LV; HE; HE; SHI, 2011).

No entanto, estudos desenvolvidos por (GAILLET; ROUANET, 2015) demonstraram que as nanopartículas de prata administradas por via oral são distribuídas a todos os órgãos. O trato intestinal e o fígado aparecem como principais alvos. A excreção ocorre por meio da bile e da urina. As principais características de toxicidade são perda de peso, alteração das enzimas hepáticas e alteração dos valores bioquímicos do sangue. Há evidências que sugerem que os efeitos induzidos por AgNPs são íons de prata mediados que são liberados da superfície da partícula. Do ponto de vista mecanístico, as AgNPs podem produzir ROS e causar estresse oxidativo nas células, induzindo danos oxidativos às membranas celulares e organelas (lisossomas, mitocôndrias) e ao núcleo, causando diretamente apoptose ou necrose. Este é o fator dominante que medeia sua toxicidade. O estresse oxidativo causado por AgNPs pode desencadear reações inflamatórias. Vários fatores como dose, tempo de exposição, temperatura, tamanho, forma, revestimento de superfície, carga de superfície e tipos de células desempenham papéis importantes em influenciar a toxicidade dos AgNPs e na mediação de respostas celulares.

Portanto, mesmo havendo resultados positivos quanto a quantidade de AgNPs nos alimentos embalados com essas nanopartículas, estudos para avaliar os riscos devem ser conduzidos caso a caso, pois ainda não é possível avaliar com certeza a exposição do consumidor ou os riscos à saúde associados à ingestão de nanopartículas. Os principais problemas que ainda não foram resolvidos são entender a proporção em que essas NPs passam pela barreira gastrointestinal, seu acúmulo em certos órgãos e biopersistência e, seus

efeitos a longo prazo. Com esse flat de informações atualmente, deve-se ter cuidado com o uso das nanopartículas em alimentos (GAILLET; ROUANET, 2015).

Porém, vale ressaltar que uma empresa brasileira, a Nanox, situada em São Carlos-SP, encontrou alternativas para aplicação dessas nanopartículas de prata em embalagens para alimentos, reduzindo sua migração da embalagem para o produto. Como ainda não há uma legislação clara no Brasil e em outros países sobre a aplicação de partículas em escala nanométrica em produtos que estejam em contato com alimentos, a empresa desenvolveu um processo de nanotecnologia que resultam em partículas à base das AgNPs em escala micrométrica. O processo consiste em depositar as nanopartículas de prata em uma matriz, neste caso na superfície de partículas de cerâmica (sílica), resultando em um compósito em escala micrométrica e com propriedade bacterida. Além disso, essas micropartículas foram incorporadas no material antes de produzir a embalagem, fazendo com que elas fiquem “presas” na embalagem, dificultando a migração para o alimento, ao invés de imergir a embalagem já pronta em uma solução com as AgNPs, pois neste caso elas ficariam apenas na superfície da embalagem, facilitando a migração (ALISSON, 2015).

#### **4.6 Nanopartículas de pratas e suas implicações no meio ambiente**

Mesmo apresentando muitas aplicações benéficas, deve-se conhecer melhor os efeitos das nanopartículas de prata no meio ambiente, pois, com o crescimento do seu uso, há também um aumento na síntese de nanopartículas, (TRIPATHI et al., 2017, podendo ocorrer a bioacumulação dessas nanopartículas de prata no meio ambiente durante sua síntese, uso em produtos ou descarte. E, apesar de muitos pesquisadores estarem direcionando esforços para compreender a interação a longo prazo das nanopartículas de prata com o meio e os seres nele presente, ainda sabe-se pouco sobre a biodisponibilidade, biodegradabilidade e toxicidade dos nanomateriais. (NOGUEIRA; PAINO; ZUCOLOTTO, 2013).

Além disso, como ainda não há uma padronização internacional quanto à toxicidade das nanopartículas, dependendo da forma que forem sintetizadas, e do tamanho que apresentarem, os resultados podem ser muito diferentes. Desta forma, os estudos já existentes sobre este tema ainda são muito controversos, e variam de acordo com o tipo celular estudado, o tipo de revestimento da nanopartícula e, principalmente, com o tamanho dela (NOGUEIRA; PAINO; ZUCOLOTTO, 2013).



É importante o conhecimento dessas propriedades no que diz respeito aos potenciais impactos para a saúde das pessoas e do meio ambiente, para que sejam definidas diretrizes quanto a sua produção, comercialização e descarte da forma correta e sustentável (BENEDITO et al., 2017).

Alguns estudos já realizados, mostraram que as nanopartículas de prata podem danificar as células do fígado e do cérebro de ratos, pois, por serem muito pequenas, podem romper a membrana das células e provocar danos (TRIPATHI et al., 2017). As AgNPs também são capazes de contaminar a água, solos e a atmosfera, podendo por exemplo, prejudicar a germinação das sementes, o crescimento de plantas, e podem ficar bioacumuladas na cadeia alimentar. (FARKAS et al., 2011; NAIR; CHUNG, 2014). Além disso, outros efeitos negativos das nanopartículas de prata foram relatados em plantas e animais (NAVARRO et al., 2008; TRIPATHI et al., 2017a,b).

A tabela a seguir (Tabela 2) mostra alguns exemplos de estudos dos efeitos das nanopartículas em algas, plantas e microrganismos, respectivamente (BENEDITO et al., 2017).

Tabela 2: Efeito das nanopartículas no meio ambiente

<b>Algas</b>	<b>Tamanho das NPsAg</b>	<b>Concentrações</b>	<b>Efeitos prejudiciais das NPs</b>
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	10 nm	10, 50, 100, e 500 $\mu$ M	Redução do rendimento fotossintético de algas.
<i>Ceramium tenuicorne</i>	<5, 5–10 nm	26.6 $\mu$ g L <sup>-1</sup>	NPsAg induzem efeitos tóxicos no organismo.
<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	20–30 nm	0.19 mg L <sup>-1</sup>	Menor toxicidade com NPsAg observada do que com íons de prata.
<b>Plantas</b>	<b>Tamanho das NPsAg</b>	<b>Concentrações</b>	<b>Efeitos prejudiciais das NPs</b>
<i>Cucurbita pepo</i>	>100 nm	500 mg L <sup>-1</sup>	Taxa de transcrição declinou cerca de 66–84%.
<i>Triticum aestivum</i>	10 nm	0–5 mg kg <sup>-1</sup>	Redução do comprimento da raiz e do caule dependendo da dose.
<i>Linum usitatissimum</i>	20 nm	20, 40, 60, 80, e 100 mg L <sup>-1</sup>	Nenhum efeito observado na germinação.
<b>Micróbios</b>	<b>Tamanho das NPsAg</b>	<b>Concentrações</b>	<b>Efeitos prejudiciais das NPs</b>
<i>Escherichia coli</i>	12 nm	50–60 $\mu$ g. cm <sup>-3</sup>	Inibição do crescimento bacteriano.
<i>Aspergillus sp.</i>	30–45 nm	50 $\mu$ g. mL <sup>-1</sup>	Supressão do crescimento de células fúngicas.
<i>Fermento</i>	13.5 nm	13.2 nM	Perda na permeabilidade da membrana.

Fonte: BENEDITO et al., 2017

Outro exemplo do impacto nas plantas, é que as AgNPs podem ser transportadas através dos espaços intercelulares (transporte de curta distância) e via tecido vascular (transporte de longa distância) (Ma et al, 2010; Geisler-Lee et al., 2013; Geisler-Lee et al., 2014; Miralles et al., 2012). Após o contato com as plantas, as nanopartículas penetram nas paredes celulares e membranas plasmáticas das camadas epidérmicas das raízes, até entrar nos tecidos vasculares (xilema) da planta e movem-se para a estela. Xilema é a principal forma de distribuição dessas AgNPs (Aslani et al., 2014). Por meio do xilema, as AgNPs podem ser absorvidas e transportadas para as folhas (Ma et al, 2010). Geisler-Lee et al. (2013) descobriram através de estudos, que as AgNPs podem ser absorvidas e aos poucos acumuladas nas pontas da raiz, epiderme, columela e iniciais do meristema da raiz. Além disso, as AgNPs podem gradualmente mudar para as raízes e entrarem nas raízes laterais, e após o desenvolvimento de múltiplas raízes laterais, as AgNPs podem estar presentes no tecido e em toda a planta da raiz ao broto (Geisler-Lee et al., 2014). Além do que, uma vez que as AgNPs entram nos tecidos vasculares das colheitas, elas podem ser captadas e transportadas para as folhas ou outros órgãos através do transporte de longa distância (Dietz et Herth, 2011; Ma et al, 2010; Geisler-Lee et al., 2014), sendo possível que os frutos, sementes e outras partes comestíveis das plantas também podem estar sujeitos à contaminação por AgNPs por translocação. Logo, esta contaminação pode chegar ao ser humano através do consumo desses frutos, ou ainda as AgNPs podem migrar para o solo e água que estas plantas estão em contato.

A água é outro elemento da natureza que pode sofrer grande influência dessas NPs, e por ser um bem necessário e que já sofre de escassez em algumas regiões do mundo, deve-se ter um cuidado e atenção muito grande para preservá-la. Como já citado anteriormente, o aumento da produção de AgNPs pode levar a um acúmulo de prata em suas diversas formas e em diferentes níveis ambientais, gerando impactos negativos aos ecossistemas. Os impactos negativos no meio podem ocorrer de diferentes modos como, através de efeito tóxico direto sobre a biota, alterando a biodisponibilidade de agentes tóxicos e de nutrientes, ou ainda causando efeitos indiretos mediante sua interação com os compostos orgânicos naturais (Simonet BM, Valcárcel M., 2009).

Por exemplo, quando descartadas nos efluentes domésticos e industriais, as nanopartículas de prata poderão atingir os sistemas de tratamento de esgoto convencionais. Não havendo um conhecimento do tratamento adequado a ser utilizado nesse tipo de resíduo,

o efluente poderá ser descartado no ambiente de forma inadequada, causando um desequilíbrio no ecossistema aquático (Xing Y, Yang X, Dai J., 2007).

Além do mais, quando ainda estão nos efluentes, as AgNPs podem reagir com radicais de enxofre, formando compostos de sulfeto de prata ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ), que, dependendo das condições ambientais, poderão ser estáveis o suficiente para evitar a oxidação do enxofre (S) e fazendo com que ocorra a liberação dos íons de prata. Ainda, essas nanopartículas de prata podem ser transportadas para diversos outros ecossistemas, pois, após o tratamento dos efluentes, as AgNPs passam a incorporar o lodo resultante do processo (Blaser et al., 2008), que poderá ser destinado ao reuso como fertilizante de solos (Nicholson et al., 2003), ou simplesmente ser incinerado (Gottschalk et al., 2009), possibilitando que a prata volte para o meio ambiente.

Além disso, apesar da biodisponibilidade das nanopartículas de prata ainda não estar totalmente esclarecida, sabe-se que a sua forma iônica ( $\text{Ag}^+$ ) é a de maior toxicidade em ecossistemas aquáticos (Ratte, 1999). Nesses ambientes, a prata pode estar livre ou interagir com várias matérias orgânicas e inorgânicas, dependendo das propriedades físicas e químicas do ambiente, determinando assim seu potencial toxicológico (Luoma, 2008). Portanto, depois da sua entrada no meio ambiente, as AgNPs podem sofrer diversas modificações nas suas propriedades, alterando seu comportamento, sua toxicidade e local de acúmulo. Assim, essas modificações devem ser consideradas na hora de avaliar o impacto ambiental causado por essas nanopartículas. O comportamento de uma nanopartícula não depende somente de suas características, mas também de sua interação com fatores abióticos e bióticos no ambiente, os quais irão determinar a sua biodisponibilidade e o seu comportamento (Handy et al., 2012).

A bioacumulação e a biodisponibilidade das nanopartículas geralmente estão relacionados com a sua capacidade de interagir com a superfície externa de um organismo e/ou ser internalizada. Existem estudos apontando que as nanopartículas de prata conseguem atravessar a parede celular de alguns organismos. Lee (2007) e Asharani (2008), por exemplo, usando imagens de microscopia eletrônica de transmissão (TEM), verificaram que as AgNPs associadas a compostos orgânicos podem ser internalizadas por células de peixe, demonstrando a viabilidade dessas nanopartícula de penetrarem através de membranas semipermeáveis (Lee et al., 2007) (Scown et al., 2010). Outra forma pouco estudada pelo qual as nanopartículas de prata podem se deslocar através da membrana, é a endocitose, processo em que partículas e moléculas entre 1-100 nm são capturadas por evaginação da membrana e transportadas no citoplasma por vesículas (NOGUEIRA; PAINO; ZUCOLOTTO, 2013).

Normalmente são utilizadas em produtos comerciais as AgNPs encapsuladas com compostos orgânicos para melhor dispersão, e esses grupos funcionais podem influenciar na

passagem pela membrana celular ou mesmo afetar as propriedades das nanopartículas envolvidas na biodisponibilidade (Fábregas, 2011). Já com relação ao ambiente em que estarão, o pH, a força iônica, a temperatura e as concentrações de matéria orgânica podem afetar a estabilidade e agregação das nanopartículas, também influenciando na biodisponibilidade das mesmas no meio (Luoma, 2008). A solubilidade é outro parâmetro muito importante das AgNPs e que determina a qual forma do elemento os organismos estarão expostos, podendo ser à prata metálica ( $\text{Ag}^0$ ), à prata iônica ( $\text{Ag}^+$ ) ou aos complexos com prata (Liu; Hurt, 2010). A concentração de matéria orgânica no meio é outro fator que está diretamente relacionado com a estabilidade e solubilidade das nanopartículas e, conseqüentemente, com a sua toxicidade. Gao et al. (2009) verificou que a toxicidade das nanopartículas de prata em *Ceriodaphnia dubia* foi menor em ambientes com concentrações mais elevadas de substâncias húmicas, sendo possível supor que a diminuição da toxicidade era conseqüência de uma menor concentração de íons de prata liberados pelas nanopartículas na presença da matéria orgânica, ou seja, ocorreu uma redução da biodisponibilidade devido à diminuição da solubilidade da prata. Resultados semelhantes foram relatados por Liu e Hurt (2010), que verificaram uma diminuição da liberação de íons de prata quando as nanopartículas estavam encapsuladas com citrato e ácidos húmicos e fúlvicos. No entanto, para Fábregas et al. (2009), a influência de materiais orgânicos na toxicidade de AgNPs não só depende da solubilidade dos seus íons, mas também quando ocorre o encapsulamento das nanopartículas por materiais orgânicos, as características físicas e químicas das nanopartículas mudam e, conseqüentemente, sua toxicidade.

Outro fator importante a ser considerado é a agregação das nanopartículas, que irá determinar o tamanho efetivo da partícula à qual os organismos serão expostos, influenciando sua biodisponibilidade e toxicidade. De acordo com Navarro (2008), quanto mais agregadas as nanopartículas, menor sua área superficial específica e menor sua biodisponibilidade e seu potencial toxicológico. Todavia, segundo Ward e Kach (2009), isso só vale quanto a diminuição da toxicidade, pelo aumento das nanopartículas por agregação, para organismos nos quais a principal via de captura das nanopartículas ocorre diretamente através da membrana. Para aqueles que capturam essas partículas maiores através da ingestão alimentar, verificou-se um aumento na biodisponibilidade. Mesmo para os organismos em que a captura das nanopartículas ocorre através da membrana, a toxicidade pode estar relacionada não necessariamente com o tamanho, mas com o aumento de elementos tóxicos carregados pelos agregados e que são passíveis de causar dano celular.

Apesar das diversas pesquisas existentes sobre a toxicidade da prata no meio aquático, ainda se sabe muito pouco sobre quanto aos efeitos das AgNPs sobre os organismos. Alguns trabalhos têm indicado que as concentrações das nanopartículas de prata encontradas em ambientes aquáticos não afetam o crescimento e a eficiência fotossintética de algas como *Thalassiosira sp* (Miao et al., 2009). Os autores verificaram que a toxicidade ocorre somente quando há liberação de íons de prata ( $Ag^+$ ). Porém, resultados adversos foram encontrados por Navarro (2008), que observou maior toxicidade causada pelas nanopartículas em relação a sua forma iônica em *Chlamydomonas reinhardtii*.

Dessa forma, ainda são necessários muitos estudos sobre o tema, avaliando as diversas possibilidades de interação entre AgNPs e o meio ambiente, para que se tenha uma produção, uso e descarte dessas partículas de forma mais responsável e segura. (NOGUEIRA; PAINO; ZUCOLOTTI, 2013)

## 5 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

A partir dos resultados apresentados na literatura pode se considerar que as nanopartículas de prata são particularmente adicionadas em materiais de embalagens e/ou coberturas ativas, são promissoras para estender a vida útil de frutas e hortaliças e diminuir as perdas pós-colheita. Por outro lado, estudos até então apresentados na literatura sobre a aplicação dessas nanopartículas demonstram que há possibilidades das mesmas serem carreadas para o solo e ambiente aquático e promoverem contaminação do meio ambiente.

Dessa forma, defender a saúde pública e o ambiente acima dos interesses do mercado tornou-se um desafio muito grande das agências reguladoras e do público em geral, em todo o mundo. Somado a isso, torna-se necessário o esclarecimento da população quanto à probabilidade do risco do consumo desses produtos contendo nanomateriais, visto que o Código de Defesa do Consumidor no Brasil, regulamentado pela Lei 8078/90, estabelece como direitos básicos do consumidor à proteção e a saúde contra eventuais riscos decorrentes do consumo de produtos. Assim, mais estudos devem ser realizados quanto a sua toxicidade e riscos à saúde humana e meio ambiente, para regulamentar o uso e descarte das nanopartículas de prata de forma adequada e sustentável.

## 6 REFERÊNCIAS

AHAMED, Maqsood; ALSALHI, Mohamad S.; SIDDIQUI, M.k.j.. Silver nanoparticle applications and human health. **Clínica Chimica Acta**, [s.l.], v. 411, n. 23-24, p.1841-1848, dez. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cca.2010.08.016>.

AKHTAR, M.J.; JACQUOT, M.; JASNIEWSKI,J.; JACQUOT, C.; IMRAN, M.; JAMSHIDIAN, M.; PARIS C.; DESOBRY, S. Antioxidant capacity and light-aging study of HPMC films functionalized with natural plant extract. **Carbohydrate Polymers**, v.89, p 1150-1158, 2012.

ALI, Safaa M.; YOUSEF, Naeima M. H.; NAFADY, Nivien A.. Application of Biosynthesized Silver Nanoparticles for the Control of Land Snail *Eobania vermiculata* and Some Plant Pathogenic Fungi. **Journal Of Nanomaterials**, [S.L.], v. 2015, p. 1-10, 2015. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/218904>.

ALISSON, Elton. Empresa paulista dobra prazo de validade de leite fresco pasteurizado . **Agência FAPESP**, jun. 2015. Disponível em: <<https://agencia.fapesp.br/empresa-paulista-dobra-prazo-de-validade-de-leite-fresco-pasteurizado/21325/>>

Allahverdiyev AM, Abamor ES, Bagirova M, Rafailovich M. Antimicrobial effects of TiO<sub>2</sub> and Ag<sub>2</sub>O nanoparticles against drug-resistant bacteria and leishmania parasites. **Fut Microb**. 2011 ;6:933–40.

ALMEIDA, Ana Carolina Sergio; FRANCO, Elisângela Aparecida Nazário; PEIXOTO, Fernanda Marques; PESSANHA, Kênia Letícia Ferreira; MELO, Nathália Ramos. Aplicação de nanotecnologia em embalagens de alimentos. **Polímeros**, [S.L.], v. 25, n. , p. 89-97, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.2069>.

Asharani PV, Lian Wu Y, Gong Z, Valiyaveetil S. **Toxicity of silver nanoparticles in zebrafish models**. **Nanotechnology**. 2008;19(25):255102.

Aslani, F.; Bagheri, S.; Muhd Julkapli, N.; Juraimi, A.S.; Hashemi, F.S.G.; Baghdadi, A. Effects of engineered nanomaterials on plants growth: An overview. **Sci. World J.** 2014, 2014.

ASSIS, O. B. G.; FORATO, L. A.; BRITTO. D. Revestimentos comestíveis protetores em frutos minimamente processados. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 22, p. 99-106, 2008.

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCE AND DISEASE REGISTRY.

**Silver profile - potential for human exposure** [1999]. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/>>

AUGUSTIN, M. A.; SANGUANSRI, P. Nanostructured materials in the food industry. **Advances in food and nutrition research**, v. 58, p. 183-213, 2009. ISSN 1043-4526.

AZEREDO, H. Nanocomposites for food packaging applications. **Food Research International**, v. 42, n. 9, p. 1240-1253, 2009.

BECARO, Aline Aparecida. **ESTUDOS DE ATIVIDADE ANTIMICROBIANA, DE MIGRAÇÃO E DE TOXICIDADE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA APLICADAS EM FILMES POLIMÉRICOS.** 2014. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biotecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

BENEDITO, Aline de Souza; SILVA, Fabiana Fanger; SANTOS, Ísis V. de Sousa. **Nanopartículas de Prata: Aplicações e Impactos Ambiental.** Disponível em <[http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao\\_16\\_BENEDITO\\_Aline\\_de\\_Souza.pdf](http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao_16_BENEDITO_Aline_de_Souza.pdf)>.

BEZERRA, André Vinícius Andrade. **SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE BIOCIDA DE NANOPARTÍCULAS DE**



**PRATA EM FILMES DE POLIESTIRENO.** 2015. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

Blaser SA, Scheringer M, MacLeod M, Hungerbühler K. Estimation of cumulative aquatic exposure and risk due to silver: contribution of nano-functionalized plastics and textiles. **Sci Total Environ.** 2008;390(2-3):396-409.

Bolla JM, Alibert-Franco S, Handzlik J, Chevalier J, Mahamoud A, Boyer G, Kieć-Kononowicz K, Pagès JM. Strategies for bypassing the membrane barrier in multidrug resistant Gram-negative bacteria. **FEBS Lett.** 2011;585:1682–90.

BORDOGNA, J. Remarks; IEEE 2003 **International Electron Devices Meeting Washington**, DC December 8, 2003

BRINDLE, L.P.; KROCHTA, J.M. Physical properties of whey protein hydroxypropylmethylcellulose blend edible films. **Food Engineering and Physical Properties**, v. 73, p 446-454, 2008.

BRITO, Sabrina da Costa; SIVIERI, Katia; FERREIRA, Marcos David. AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES EM FILMES POLIMÉRICOS. **IX WORKSHOP DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO**, 9., 2017, São Carlos. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017. p. 173-176.

CAMARGO FILHO, W.; CAMARGO, F. Análise da produção de morango dos Estados de São Paulo e Minas Gerais e do mercado da Ceagesp. **Informações Econômicas**, v. 39, n. 5, p. 42-50, 2009. CANEVAROLO, S. V. Ciências dos polímeros: um texto básico para tecnólogo e engenheiros. Editora Artliber- São Paulo, 2 ed., 2002.

CARVALHO, C. N. **Caracterização de nanopartículas de prata coloidais dispersas em solos**. 2013. 56f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Química, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2013.

CHITARRA, M. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 783 p.

CHOPRA, I. The increasing use of silver-based products as antimicrobial agents: a useful development or a cause for concern. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, v. 59, p. 587-590, 2007.

CHAU, C-F.; WU, S-H.; YEN, G. C. The development of regulations for food nanotechnology. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 18, p. 269-280, 2007.

Chu H, Kim HJ, Kim JS, Kim MS, Y BD, Park HJ, Kim CY (2012) A nanosized Ag-silica hybrid complex prepared by  $\gamma$ -irradiation activates the defense response in Arabidopsis. **Radiat Phys Chem** 81: 180–184

Clement, J. L., and Jarret, P. S. 1994. Antimicrobial silver. **Metal-Based Drugs** 1:467-482.

COSTA, C.; CONTEA, A.; BUONOCOREC, G. G.; DEL NOBILEA, M. A.; Antimicrobial silver montmorillonite nanoparticles to prolong the shelf life of fresh fruit salad. **International Journal Food Microbiology**, v. 148, n. 3, p. 164-167, 2011.

COSTA, A. F. S. da; BALBINO, J. M. S. Características da fruta para exportação e normas de qualidade. In: FOLEGATTI, M. I. da SILVEIRA; MATSUURA, F. C. A. U. Mamão: pós-colheita. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2002. cap. 2, p. 12-18 (Frutas do Brasil, 21).

CUMBERLAND, Susan A.; LEAD, Jamie R.. Particle size distributions of silver nanoparticles at environmentally relevant conditions. **Journal Of**

**Chromatography A**, [S.L.], v. 1216, n. 52, p. 9099-9105, dez. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2009.07.021>.

CUSHEN, M. et al. Nanotechnologies in the food industry—Recent developments, risks and regulation. **Trends in food science & technology**, v. 24, n. 1, p. 30-46, 2012. ISSN 0924-2244.

CUSHEN, M. et al. Migration and exposure assessment of silver from a PVC nanocomposite. **Food chemistry**, v. 139, n. 1, p. 389-397, 2013.

CUSHEN, M. et al. Evaluation and simulation of silver and copper nanoparticle migration from polyethylene nanocomposites to food and an associated exposure assessment. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 62, n. (6), p. 1403–1411, 2014.

DALLAS, P.; SHARMA, V. K.; ZBORIL, R. Silver polymeric nanocomposites as advanced antimicrobial agents: classification, synthetic paths, applications, and perspectives. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 166, n. 1, p. 119-135, 2011. ISSN 0001-8686.

DANTAS, Suzana A. F. et al. Doenças fúngicas pós-colheita em mamões e laranjas comercializados na Central de Abastecimento do Recife. **Fitopatologia Brasileira**, [s. l.], v. 28, n. 5, p. 528–533, 2003.

DE MELO, G. B. **Síntese verde de nanopartículas de prata usando extrato aquoso de erva mate (*Illex paraguariensis*)**, 2015. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4882/1/CM\\_COEAL\\_2015\\_2\\_07](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4882/1/CM_COEAL_2015_2_07)

Dietz, K.-J.; Herth, S. Plant nanotoxicology. **Trends Plant Sci.** 2011, 16, 582–589.

DURÁN N., MARCATO P. D., CONTI R., ALVES L. O., COSTA F., BROCCHI

M. Potencial de uso de nanopartículas de prata em bactérias patogênicas, sua toxicidade e possíveis mecanismos de ação. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. v.21. n.6, 2010.

DURÁN, N.; MARCAYO, P.D.; ALVES, O.L.; DESOUZA, G.L.H., ESPOSITO,

E. **Journal of Nanobiotechnology**, v. 3, p. 8, 2005.

ECHEGOYEN, Y.; NERÍN, C. Nanoparticle release from nano-silver antimicrobial food containers. **Food and Chemical Toxicology**, v. 62, p. 16-22, 2013.

EMBRAPA, 2003. Perdas na comercialização de hortaliças em uma rede varejista do Distrito Federal. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 521- 541, set./dez. 2003. Disponível em: [http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AISEDE/26106/1/v20n3\\_05.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AISEDE/26106/1/v20n3_05.pdf).

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Secretaria de Comunicação. Embrapa em números. Brasília, DF: Embrapa, 2015.138 p.

Fábregas J, Fawcett SR, Renshaw JC, Lead JR. Silver nanoparticle impact on bacterial growth: effect of pH, concentration, and organic matter. **Environ Sci Technol**. 2009;43(19):7285-90.

Fábregas J, Renshaw JC, Lead JR. Interactions of silver nanoparticles with *Pseudomonas putida* biofilms. **Environ Sci Technol**. 2009; 43(23):9004-9.

Fábregas J, Luoma SN, Tyler CR, Galloway TS, Lead JR. Silver nanoparticles: Behaviour and effects in the aquatic environment. **Environ Int**. 2011;37(2):517-31.

FAGUNDES, Cristiane et al. Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose

beeswax edible coatings on gray mold development and quality attributes of cold-stored cherry tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], 2014.

FAKHOURI, Farayde Matta et al. Films and edible coatings based on native starches and gelatin in the conservation and sensory acceptance of Crimson grapes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 369–375, 2007.

Farkas, J., Peter, H., Christian, P., Urrea, J. A. G., Hassellöv, M., Tuoriniemi, J., et al. (2011). Characterization of the effluent from a nanosilver producing washing machine. **Environ. Int.** 37, 1057–1062. doi: 10.1016/j.envint.2011.03.006

FDA. Food additives permitted for direct addition to food for human consumption. **Food and Drug Administration**, 2016. Disponível em: <<http://www.fda.gov/>> .

FERNANDES, Ana Paula Stort et al. Aplicação de filmes biodegradáveis produzidos a partir de concentrado proteico de soro de leite irradiado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 192–199, 2015.

Fernández, A., Picouet, P., & Lloret, E. (2010). Cellulose-silver nanoparticle hybrid materials to control spoilage-related microflora in absorbent pads located in trays of fresh-cut melon. **International Journal of Food Microbiology**, 142, 222–228.

FERREIRA, Hadma Sousa; RANGEL, Maria do Carmo. Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. **Quím. Nova**, São Paulo , v. 32, n. 7, p. 1860-1870, 2009 .

FIALHO E MORAES, Allan Robledo et al. Development and evaluation of antimicrobial film on butter conservation. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [s. l.], v. 27, n. SUPPL.1, p. 33–36, 2007.

Finnigan, B. (2009). Barrier polymers. In: K. L. Yam (Ed.), **The wiley encyclopedia of packaging technology** (pp. 103-109). New York: John Wiley and Sons.

Gaillet, S., Rouanet, J.-M., 2015. Silver nanoparticles: their potential toxic effects after oral exposure and underlying mechanisms-a review. **Food Chem. Toxicol.** 77, 58–63. doi:10.1016/j.fct.2014.12.019

Gao J, Youn S, Hovsepyan A, Llaneza VL, Wang Y, Bitton G, Bonzongo JC. Dispersion and toxicity of selected manufactured nanomaterials in natural river water samples: effects of water chemical composition. **Environ Sci Technol.** 2009;43(9):3322-8.

Geisler-Lee, J.; Wang, Q.; Yao, Y.; Zhang, W.; Geisler, M.; Li, K.; Huang, Y.; Chen, Y.; Kolmakov, A.; Ma, X. Phytotoxicity, accumulation and transport of silver nanoparticles by *Arabidopsis thaliana*. *Nanotoxicology*, 2013, 7, 323–337.

Geisler-Lee, J.; Brooks, M.; Gerfen, J.R.; Wang, Q.; Fotis, C.; Sparer, A.; Ma, X.; Berg, R.H.; Geisler, M. Reproductive toxicity and life history study of silver nanoparticle effect, uptake and transport in *Arabidopsis thaliana*. *Nanomaterials* 2014, 4, 301–318.

GHASEMINEZHAD, S. M.; HAMED, S.; SHOJAOSADATI, S. A. Green synthesis of silver nanoparticles by a novel method: Comparative study of their properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 89, p. 467– 472, 2012.

GHORBANI, H.R.; SAFEKORDI, A.A.; ATTAR, H.; SORKHABADI, S.M.R. Biological and non-biological methods for silver nanoparticles synthesis. **Chemical Biochemical Engineering Q**, v. 25, p. 317-326, 2011.

Ghormade V, Deshpande MV, Paknikar KM (2011) Perspectives for nanobiotechnology enabled protection and nutrition of plants. **Biotechnol Adv** 29:792–803.

GOESMANN, H.; FELDMANN, C. Nanoparticulate functional materials. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 49, n. 8, p. 1362-1395, 2010. ISSN 1521-3773.

Gottschalk F, Sonderer T, Scholz RW, Nowack B. Modeled environmental concentrations of engineered nanomaterials (TiO<sub>2</sub>, ZnO, Ag, CNT, Fullerenes) for different regions. **Environ Sci Technol**. 2009;43(24):9216-22.

GUDACHE, J. A.; INGLE, A. P.; GADE, A. K.; DURAN, N; MARCATO, P. D.; RAI, M. K. **Agar-silver nanoparticles films for fruit preservation**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOOD AND AGRICULTURE APPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGIES – NANOAGRI, 2010. São Pedro, SP: Apor software, 2010. p. 117.

Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., Meybeck, A., 2011. Global Food Losses and Food Waste– Extent, Causes and Prevention. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)**, Rome, Italy.

GUZMÁN, Maribel G.; DILLE, Jean; GODET, Stephan. Synthesis of silver nanoparticles by chemical reduction method and their antibacterial activity. **International Journal of Chemical and Biomolecular Engineering**, v.2, p.3, 2009.

Guzman M, Dille J, Godet S. Synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles against gram-positive and gram-negative bacteria. **Nanomedicine**. 2012; 8:37–45.

Handy RD, van den Brink N, Chappell M, Mühling M, Behra R, Dušinská M, Simpson P, Ahtiainen J, Jha AN, Seiter J, Bednar A, Kennedy A, Fernandes TF, Riediker M. Practical considerations for conducting ecotoxicity test methods with manufactured nanomaterials: what have we learnt so far? **Ecotoxicology**. 2012;21(4):933-72.

Hanušová, K. & Dobiáš, Jaroslav & Klaudivová, K.. (2009). Effect of Packaging Films Releasing Antimicrobial Agents on Stability of Food Products. **Czech Journal of Food Sciences**. 27. S347-S349. 10.17221/958-CJFS.

HELLSTRÖM, D.; SAGHIR, M.; **Packaging and Logistics Interactions in Retail Supply Chains**. Packaging Technology and Science, Lund: Lund University, 2007.

HUSSAIN S., JAVORINA A., SCHRAND A., DUHART H., ALI S., SCHLAGER J. **Toxicological Sciences**. v.92, p.456, 2006.

HYNING, D. L.; KLEMPERER, W. G.; e ZUKOSKI, C. F.; **Silver Nanoparticle Formation: Predictions and Verification of the Aggregative Growth Model**, Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/la000856h>>.

IMRAN, Muhammad et al. Cellulose derivative based active coatings: Effects of nisin and plasticizer on physico-chemical and antimicrobial properties of hydroxypropyl methylcellulose films. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], 2010.

**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE** 2013. Produção Agrícola 2012. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/>>.

IRIS/USEPA - **INTEGRATED RISK INFORMATION SYSTEM / UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY - SECONDARY DRINKING WATER REGULATIONS**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/iris/subst/0099.htm>>

JIMÉNEZ, A.; FABRA, M.; CHIRALT. Effect of lipid self-association on the microstructure and physical properties of hydroxypropyl- 92 methylcellulose edible films containing fatty acids. **Carbohydrate Polymers**, v. 82.p 585-593, 2010.

JOHNSON, A.; OBOT, I. B.; e UKPONG, U. S.; **Green synthesis of silver nanoparticles using Artemisia annua and Sida acuta leaves extract and their antimicrobial, antioxidant and corrosion inhibition potentials**, 2015. Disponível



em:

[https://www.researchgate.net/publication/261725112\\_Green\\_synthesis\\_of\\_silver\\_nanoparticles\\_using\\_Artemisia\\_annua\\_and\\_Sida\\_acuta\\_leaves\\_extract\\_and\\_their\\_antimicrobial\\_antioxidant\\_and\\_corrosion\\_inhibition\\_potentials?enrichId=rgreq-24118dc8fc0ccd63c979c222cb940308-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2MTcyNTEzMjBUzoxMDE4NTA2NzQxMDYzNjIAMTQwMTI5NDUwMTI3Mg%3D%3D&el=1\\_x\\_2&esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/261725112_Green_synthesis_of_silver_nanoparticles_using_Artemisia_annua_and_Sida_acuta_leaves_extract_and_their_antimicrobial_antioxidant_and_corrosion_inhibition_potentials?enrichId=rgreq-24118dc8fc0ccd63c979c222cb940308-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2MTcyNTEzMjBUzoxMDE4NTA2NzQxMDYzNjIAMTQwMTI5NDUwMTI3Mg%3D%3D&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf)

Jo YK, Kim BH, Jung G (2009) Antifungal activity of silver ions and nanoparticles on phytopathogenic fungi. **Plant Dis** 93:1037–1043

JU-NAM, Y.; LEAD, J. R. Manufactured nanoparticles: An overview of their chemistry interactions and potential environmental implications. **Sci. Total Environ**, v. 400, p. 396–414, 2008.

KANMANI, P.; RHIM, J.-W. Physicochemical properties of gelatin/silver nanoparticle antimicrobial composite films. **Food chemistry**, v. 148, p. 162-169, 2014. ISSN 0308-8146.

Kasprowicz MJ, Koziół M, Gorczyca A (2010) The effect of silver nanoparticles on phytopathogenic spores of *Fusarium culmorum*. **Can J Microbiol** 56(3):247–253

Kim SW, Kim KS, Lamsal K, Kim YJ, Kim SB, Jung M, Sim SJ, Kim HS, Chang SJ, Kim JK, Lee YS (2009) An in vitro study of the antifungal effect of silver nanoparticles on oak wilt pathogen *Raffaelea sp.* **Microbiol Biotechnol** 19:760–764

KIM, S-J., AH CHO, R.; HAN, J. antioxidant and antimicrobial activities of leafy green vegetable extract and their applications to meat product preservation. **Food Control**, v. 29, p. 112-120, 2013.

KIM, J. S.; KUK, E.; YU, K. N.; KIM, J. H.; PARK, S. J.; LEE, H. L.; KIM, S. H.; PARK, Y. J.; PARK, Y. H.; HWANG, C. Y.; KIM, Y. K.; LEE, Y. S.; JEONG, D.

H.; CHO, M. H. Antimicrobial effects of silver nanoparticles. **Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine**, Omaha, v. 3, n. 1, p. 95-101, mar. 2007.

Kim JS, Kuk E, Yu KN, Kim J-H, Park SJ, Lee HJ, Kim SH, Park YK, Park YH, Hwang C-Y (2007) Antimicrobial effects of silver nanoparticles. **Nanomedicine Nanotechnol Biol Med** 3:95–101

KLABUNDE, K. J.; *Nanoscale Materials in Chemistry*, Nova York: **Wiley Interscience**, 2001, p. 287.

Kokila, Karuppanan et al. Antioxidant, Antibacterial and GC-MS Analysis of Albizia Amara Leaves and Seed Extracts – a Comparison. **Indo American Journal of Pharm Research**.2014:4(04).

Lamsal K, Kim SW, Jung JH, Kim YS, Kim KS, Lee YS (2011a) Application of silver nanoparticles for the control of Colletotrichum species in vitro and pepper anthracnose disease in the field. **Mycobiology** 39(3):194–199.

Lamsal K, Kim SW, Jung JH, Kim YS, Kim KS, Lee YS (2011b) Inhibition effects of silver nanoparticles against powdery mildews on cucumber and pumpkin. **Mycobiology** 39:26–32

LANSDOWN, A.B.G. A pharmacological and toxicological profile of silver as an antimicrobial agent in medical devices. **Advances Pharmacological Sciences**. p.1-16. 2010

LARA, H. H.; GARZA-TREVIÑO E. N.; IXTEPAN-TURRENT L.; e SINGH D. K.; **Silver nanoparticles are broad-spectrum bactericidal and virucidal compounds**. v. 9, agosto, 2011. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3199605/>>.

Lee KJ, Nallathamby PD, Browning LM, Osgood CJ, Xu XH. In vivo imaging of transport and biocompatibility of single silver nanoparticles in early development of zebrafish embryos. **ACS Nano**. 2007;1(2):133-43.

LEITE, M. S. **Diferenças Estruturais em Nanopartículas de Ag e Au Coloidais**. Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2003.

LEM, K. W., CHOUDHURY, A., LAKHANI, A. A., KUYATE, P., HAW, J. R., LEE, D. S., Iqbal Z., e BRUMLIK, C. J.; **Use of Nanosilver in Consumer Products**, 2012. Disponível em < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22023078>>.

LENARDÃO, E.J.; FREITAG, R.A.; DABDOUB, M.J.; BATISTA, A.C.F.; SILVEIRA, C.C. “Green Chemistry” – Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v. 26 (1), p. 123-129, 2003.

LEVIN, S.C.; HOFMANN, C.; ALI, A.T.; KELLY, T. A.; MOROSAN, E.; NORDLANDER, P.; WHITMIRE, H.K.; HALAS, J. N. Magnetic-Plasmonic Core-Shell Nanoparticles. **Journal American Chemical Society-ACS Nano**, v.3,n.6, p. 1379-1388, 2009.

LI, H. et al. Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. var. *inermis* (Bunge) Rehd). **Food chemistry**, v. 114, n. 2, p. 547-552, 2009. ISSN 0308-8146.

LICODIEDOFF, S. et al. Conservation of physalis by edible coating of gelatin and calcium chloride. **International Food Research Journal**, [s. l.], v. 23, n. 4, p. 1629–1634, 2016.

Liu J, Hurt RH. Ion release kinetics and particle persistence in aqueous nano-silver colloids. **Environ Sci Technol**. 2010;44(6):2169-75.

LOREVICE, Marcos V.; DE MOURA, Marcia R.; MATTOSO, Luiz H. C. Nanocompósito de polpa de mamão e nanopartículas de quitosana para aplicação em embalagens. **Química Nova**, [s. l.], v. 37, n. 6, p. 931–936, 2014.

Luoma NS. Silver nanotechnologies and the environment: old problems or new challenges? **Project on Emerging Nanotechnologies**. 2008. Disponível em: [http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano\\_pen\\_15\\_final.pdf](http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano_pen_15_final.pdf).

LUVIELMO, Márcia; LAMAS, Susana. Revestimentos comestíveis em frutas. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, [s.l.], v. 8, n. 1, p.8-15, 28 nov. 2012. UNISINOS - Universidade do Vale do Rio Dos Sinos. <http://dx.doi.org/10.4013/ete.2012.81.02>.

Ma, X.; Geiser-Lee, J.; Deng, Y.; Kolmakov, A. Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: Phytotoxicity, uptake and accumulation. *Sci. Total Environ.* 2010, 408, 3053–3061.

MARCHIORE, Nicolli Grecco. **AValiação da Difusão de Prata em Salsichas Recobertas com Filmes Comestíveis Contendo Nanopartículas Antimicrobianas**. 2015. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

MARQUES, P. T. **Propriedades térmicas, mecânicas e reológicas de filmes de amido de mandioca: efeito da adição de plastificante e de agentes reticulantes**. Tese de Doutorado. UFSC. Florianópolis. 119 p. 2005.

MARS Inc (McLean, Va). Daniel L. Beyer et al. **Edible products having inorganic coatings**. US n.PI5741505. 1998.

MELO, M. A. et al. Preparação de nanopartículas de prata e ouro: Um método simples para a introdução da nanociência em laboratório de ensino. **Química Nova**, v. 35, n. 9, p. 1872–1878, 2012.

Miao AJ, Schwehr KA, Xu C, Zhang SJ, Luo Z, Quigg A, Santschi PH. The algal toxicity of silver engineered nanoparticles and detoxification by exopolymeric substances. **Environ Pollut.** 2009;157(11):3034-41.

Miralles, P.; Church, T.L.; Harris, A.T. Toxicity, uptake, and translocation of engineered nanomaterials in vascular plants. *Environ. Sci. Technol.* 2012, 46, 9224–9239.

MISHRA, Sandhya; SINGH, H. B.. Biosynthesized silver nanoparticles as a nanoweapon against phytopathogens: exploring their scope and potential in agriculture. **Applied Microbiology And Biotechnology**, [S.L.], v. 99, n. 3, p. 1097-1107, 31 dez. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-014-6296-0>.

MITTAL, A. K.; CHRISTI, Y.; BANERJEE, U. C. **Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts**, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975013000050>>.

MORONES, J. R.; ELECHIGUERRA, J. L.; CAMACHO, A.; HOLT, K.; KOURI, J. B.; RAMÍREZ, J. T.; YACAMAN, M. J. The bactericidal effect of silver nanoparticles. **Nanotechnology**, Bristol, v. 16, p. 2346-2353, 2005.

MOURA, M. R.; MATTOSO, L. H. C.; ZUCOLOTTO, V. Development of cellulose-based bactericidal nanocomposites containing silver nanoparticles and their use as active food packaging. **Journal of Food Engineering**, v. 109, n. 3, p. 520-524, 2012.

Moussa SH, Tayel AA, Alsohim AS, Abdallah RR (2013) Botryticidal activity of nanosized silver-chitosan composite and its application for the control of gray mold in strawberry. **J Food Sci** 78(10): M1589–M1594

Nair, P. M. G., and Chung, I. M. (2014). Assessment of silver nanoparticle-induced physiological and molecular changes in *Arabidopsis thaliana*. **Environ. Sci. Pollut. Res.** 21, 8858–8869. doi: 10.1007/s11356-014-2822-y

NANO&ME. **Nano in packaging.** [2011]. Disponível em: <<http://www.nanoandme.org/nano-products/packaging/safety-issues/>>.

NASCIMENTO, Karina Favoreto. **NANOPARTÍCULAS DE PRATA PARA CONSERVAÇÃO DE COUVE MINIMAMENTE PROCESSADA.** 2015. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

Navarro E, Baun A, Behra R, Hartmann NB, Filser J, Miao AJ, Quigg A, Santschi PH, Sigg L. Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi. **Ecotoxicology.** 2008;17(5):372-86.

Navarro E, Piccapietra F, Wagner B, Marconi F, Kaegi R, Odzak N, Sigg L, Behra R. Toxicity of silver nanoparticles to *Chlamydomonas reinhardtii*. **Environ Sci Technol.** 2008;42(23):8959-64.

Nel AE, Madler L, Velegol D, Xia T, Hoek EMV, Somasundaran P, Klaessig F, Castranova V, Thompson M. Understanding biophysicochemical interactions at the nano-bio interface. **Nat Mater.** 2009; 8:543-57.

Nicholson FA, Smith SR, Alloway BJ, Carlton-Smith C, Chambers BJ. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. **Sci Total Environ.** 2003;311(1-3):205-219.

NOGUEIRA, Patricia F. M.; PAINO, Iêda Maria M.; ZUCOLOTTO, Valtencir. Nanosilver: propriedades, aplicações e impactos na saúde pública e meio ambiente. **Vigilância Sanitária em Debate**, [S.L.], v. 1, n. 4, p. 59-71, 30 nov. 2013. *Vigilância Sanitaria em Debate: Sociedade, Ciencia y Tecnologia.* <http://dx.doi.org/10.3395/vd.v1i4.88pt>.

NOWACK, B.; KRUG, H.F.; HEIGHT, M. 120 years of nanosilver history: implications for policy makers. **Environmental Science & Technology**, v. 45, p.1177-1183, 2011.

OLIVEIRA, Shirlene Souza. **BIOSSÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA COM EXTRATO DE AVELOZ E SEU EFEITO NA CONSERVAÇÃO E FISIOLOGIA DE MORANGO**. 2019. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2019.

OLIVEIRA, Emanuel Neto Alves De; SANTOS, Dyego da Costa. **Tecnologia e processamento de frutas e hortaliças**. 2015. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://portal.ifrn.edu.br/campus/paudosferros/arquivos/livro-tecnologia-e-processamento-de-frutos-e-hortalicas>>

P., Chowdappa; SHIVAKUMAR, Gowda; C., S. Chethana; S., Madhura. Antifungal activity of chitosan-silver nanoparticle composite against *Colletotrichum gloeosporioides* associated with mango anthracnose. **African Journal Of Microbiology Research**, [S.L.], v. 8, n. 17, p. 1803-1812, 23 abr. 2014. Academic Journals. <http://dx.doi.org/10.5897/ajmr2013.6584>.

Park, H.-J., Kim, S. H., Kim, H. J., and Choi, S.-H. 2006. A new composition of nanosized silica-silver for control of various plant diseases. **Plant Pathol. J.** 22:295-302.

PEKEL, N.; YOSHII, F.; KUME, T.; GÜVEN, O. Radiation crosslinking of biodegradable hydroxypropylmethylcellulose. **Carbohydrate Polymers**, v. 55, n. 2, p. 139–147, 2004.

PEREIRA, Márcio Eduardo Canto et al . **Amadurecimento de mamão formosa com revestimento comestível à base de fécula de mandioca**. *Ciênc. agrotec.*, Lavras , v. 30, n. 6, p. 1116-1119, Dec. 2006 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542006000600011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542006000600011&lng=en&nrm=iso)>. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542006000600011>.

Philip, D. “Green synthesis of gold and silver nanoparticles using *Hibiscus rosa sinensis*,” **Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures**, vol. 42, no. 5, pp. 1417–1424, 2010.

PINTO, V.V.; FERREIRA, M.J.; SILVA, R.; SANTOS, H.A.; SILVA, F.; PERREIRA, F. 2010. Long time effect on the stability of silver nanoparticles in aqueous medium: Effect of the synthesis and storage conditions. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects**, 364:19-25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2010.04.015>.

PONCE, Patrícia. FILMES BIODEGRADÁVEIS PRODUZIDOS COM POLI(CAPROLACTONA) (PCL) E NANOPARTÍCULAS DE PRATA: EMBALAGENS ATIVAS PARA MAÇÃ. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS**, 10., 2009, Foz do Iguaçu. Anais [...] . São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2009.

POTARA, Monica; JAKAB, Endre; DAMERT, Annette; POPESCU, Octavian; CANPEAN, Valentin; ASTILEAN, Simion. Synergistic antibacterial activity of chitosan–silver nanocomposites on *Staphylococcus aureus*. **Nanotechnology**, [S.L.], v. 22, n. 13, p. 135101, 22 fev. 2011. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/0957-4484/22/13/135101>.

PUTI, Fernanda da Cunha. **APLICAÇÃO DE FILMES COM NANOPARTÍCULAS DE PRATA NA CONSERVAÇÃO DE MORANGOS**. 2014. 100 f. Tese (Mestrado) - Curso de Biotecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

Ratte HT. Bioaccumulation and toxicity of silver compounds: a review. **Environ Toxicol Chem**. 1999;18:89-108.

REIDY, B.; HAASE, A.; LUCH, A.; DAWSON, K.A.; LYNCH, I. Mechanisms of silver nanoparticle release, transformation and toxicity: a critical review of current knowledge and recommendations for future studies and applications. **Materials**, v. 6, p. 2295-2350, 2013.



SCARTAZZINI, Laura. **Estudo da atividade antifúngica do óleo essencial de menta incorporado em coberturas comestíveis à base de gelatina para aplicação em morango (Fragaria x ananassa)**. 2018. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2018.

Scown TM, Santos EM, Johnston BD, Gaiser B, Baalousha M, Mitov S, Lead JR, Stone V, Fernandes TF, Jepson M, van Aerle R, Tyler CR. Effects of aqueous exposure to silver nanoparticles of different sizes in rainbow trout. **Toxicol Sci**. 2010;115(2):521-34.

SHAH, B. R.; LI, Y.; JIN, W.; AN, Y.; HE, L.; LI, Z. Preparation and optimization of Pickering emulsion stabilized by chitosan-tripolyphosphate nanoparticles for curcumin encapsulation. **Food hydrocolloids**, v. 52, p. 369–377, 2016.

SHARMA, V. K.; YNGARD, R. A.; e LIN, Y. **Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities**. Chemistry Department, Florida Institute of Technology, 150 West University Boulevard, Melbourne, Florida 32901, USA, v. 154, setembro, 2008. P 83 – 96. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/316621049\\_Silver\\_nanoparticles\\_green\\_synthesis\\_approaches](https://www.researchgate.net/publication/316621049_Silver_nanoparticles_green_synthesis_approaches)>

SILVA, Milena Nascimento Da et al. Physical and morphological properties of hydroxypropyl methylcellulose films with curcumin polymorphs. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], 2019.

ŠIMON, P.; CHAUDHRY, Q.; BAKOŠ, D. Migration of engineered nanoparticles from polymer packaging to food--a physicochemical view. **Journal of Food & Nutrition Research**, v. 47, n. 3, p. 105–113, 2008.

SIQUEIRA M.C., AOUADA M. R. M., CASTRO V. L. S., BRANDÃO H. M., RECH R. R., MARCONCINI J. M., MATTOSO L. H. C. Caracterização e

avaliação da toxicidade de nanopartículas de prata para incorporação em matriz polimérica para uso em embalagens de alimentos. **VII Workshop de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio**. 2013.

SOARES, N.F.F et al, 2009 - Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos, **Revista Ceres**, v.56, p. 370-378.

Soenen SJ, Rivera-Gil P, Montenegro JM, Parak WJ, De Smedt SC, Braeckmans K. Cellular toxicity of inorganic nanoparticles: common aspects and guidelines for improved nanotoxicity evaluation. **Nano Today**. 2011;6:446–65.

SOLOMON, S. D. et al. Synthesis and Study of Silver Nanoparticles. **Journal of Chemical Education**, v. 84, n. 2, p. 322–325, 2007.

SONG, H. Y. et al., **Fabrication of silver nanoparticles and their antimicrobial mechanisms**. European Cells and Materials, v. 11, p. 58, 2006.

SOUSA, Romaildo Santos de. **INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE ALECRIM (*Rosmarinus officinalis*) NAS PROPRIEDADES DE FILMES À BASE DE HIDROXIPROPILMETILCELULOSE (HPMC)**. 2016. 83 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SOUZA, Anderson Fernandes et al. Fisiologia do amadurecimento de mamões de variedades comercializadas no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s.l.], v. 36, n. 2, p.318-328, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-215/13>.

SUDARENKOV, V. Nanotechnology: balancing benefits and risks to public health and the environment. **Committee on Social Affairs, Health and Sustainable Development**. p.21, 2013.

Tho NTM, An TNM, Tri MD, Sreekanth TVM, Lee JS, Nagajyothi PC, Lee KD. Green synthesis of silver nanoparticles using *Nelumbo nucifera* seed extract and its antibacterial activity. **Acta Chim Slov.** 2013; 60:673–8.

Thwala N, Musee M, Nota N. The antibacterial effects of engineered nanomaterials: implications for wastewater treatment plants. **J Environ Monit.** 2011; 13:1164–83.

TOSATI, Juliano Vinícius. **DETERMINAÇÃO DA TAXA DE RESPIRAÇÃO DE TOMATE CEREJA E DA PERMEABILIDADE À GÁS DE FILME COMESTÍVEL A BASE DE HIDROXIPROPILMETILCELULOSE (HPMC).** 2013. 106 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

TRAVAN, A. et al. Silver–polysaccharide nanocomposite antimicrobial coatings for methacrylic thermosets. **Acta biomaterialia**, v. 7, n. 1, p. 337-346, 2011. ISSN 1742-7061.

Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, S., Pandey, R., Singh, V. P., Sharma, N. C., et al. (2017a). An overview on manufactured nanoparticles in plants: uptake, translocation, accumulation and phytotoxicity. **Plant Physiol. Biochem.** 110, 2–12. doi: 10.1016/j.plaphy.2016.07.030

Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, S., Srivastava, P. K., Singh, V. P., Singh, S., et al. (2017b). Nitric oxide alleviates silver nanoparticles (AgNps)-induced phytotoxicity in *Pisum sativum* seedlings. **Plant Physiol. Biochem.** 110, 167–177. doi: 10.1016/j.plaphy.2016.06.015

TSUNECHIRO, A.; UENO, L. H.; PONTARELLI, C. T. G. Avaliação econômica das perdas de hortaliças e frutas no mercado varejista da cidade de São Paulo, 1991/92. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v.41, n. 2, p. 1-15, 1994.

TURHAN, K. N.; SAHBAZ, F. Water vapor permeability, tensile properties and solubility of methylcellulose-based edible films. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p 459-466, 2004.

**UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY** (USEPA) 2006. The drinking water standards and health advisories. <http://www.epa.gov/waterscience/drinking/standards/dwstandards.pdf>

VIEIRA, Ana Carolina Flôr. **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES E COBERTURAS À BASE DE HIDROXIPROPILMETILCELULOSE E NANOPARTÍCULAS DE PRATA COM PROPRIEDADES ANTIFÚNGICAS PARA ESTENDER A VIDA PÓS COLHEITA DO MAMÃO PAPAYA (CARICA PAPAYA)**. 2020. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

VILCHIS-NESTOR, A. R., MENDIETA, V. S., LÓPEZ, M. A. C., e ALATORRE, J. A. A., **Solventless synthesis and optical properties of Au and Ag nanoparticles using Camellia sinensis extract**, 2008. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/248269281 Solvent less synthesis and optical properties of Au and Ag nanoparticles using Camelia sinensis extract](https://www.researchgate.net/publication/248269281_Solvent_less_synthesis_and_optical_properties_of_Au_and_Ag_nanoparticles_using_Camelia_sinensis_extract)>

Ward JE, Kach DJ. Marine aggregates facilitate ingestion of nanoparticles by suspension-feeding bivalves. **Mar Environ Res.** 2009; 68(3):137-42.

**WORLD HEALTH ORGANIZATION** (WHO) 2003. Silver in drinking water- background document for development of WHO guidelines for drinking water quality. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/silver.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/silver.pdf)

Xing Y, Yang X, Dai J. Antimicrobial finishing of cotton textile based on water glass by sol-gel method. **J Sol-Gel Sci Technol.** 2007; 43:187-92. Simonet BM, Valcárcel M. Monitoring nanoparticles in the environment. *Anal Bioanal Chem.* 2009;393(1):17-21.

Yacobi NR, Phuleria HC, Demaio L et al., 2007. Nanoparticle effects on rat alveolar epithelial cell monolayer barrier properties. **Toxicol In Vitro** 21:1373–1381.

ZHANG, Cheng; LI, Wenhui; ZHU, Bifen; CHEN, Haiyan; CHI, Hai; LI, Lin; QIN, Yuyue; XUE, Jing. The Quality Evaluation of Postharvest Strawberries Stored in Nano-Ag Packages at Refrigeration Temperature. **Polymers**, [S.L.], v. 10, n. 8, p. 894, 9 ago. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym10080894>.

ZHOU, L. et al. Effect of PE/AG2O nano packaging on the quality of apple slices. **Journal of Food Quality**, v. 34, n. 3, p. 171-176, 2011. ISSN 1745-4557.