



Universidade Federal  
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI**  
**CAMPUS ALTO PARAÓPEBA**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química**

*Escalonamento da produção de um revestimento de goma guar  
com nanoestrutura de ZnO e quitosana para preservação de frutos  
no pós-colheita.*

**Aluno:** Andersen Escobar Schlogl

**Orientador:** Igor José Boggione Santos

**Coorientador:** Edson Romano Nucci

**Ouro Branco, 2023**

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S345e Schlogl, Andersen Escobar.  
Escalonamento da produção de um revestimento de goma guar com nanoestrutura de ZnO e quitosana para preservação de frutos no pós-colheita. / Andersen Escobar Schlogl ; orientador Igor José Boggione Santos; coorientador Edson Romano Nucci. -- Ouro Branco, 2024.  
91 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) -- Universidade Federal de São João del-Rei, 2024.

1. Escalonamento Tecnológico. 2. Nanotecnologia.  
3. Preservação de frutas no pós-colheita. 4. Modelagem financeira. I. Santos, Igor José Boggione, orient.  
II. Nucci, Edson Romano, co-orient. III. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**NOMEAÇÃO DE BANCA EXAMINADORA Nº 87 / 2023 - PPGEQ (13.13)**

Nº do Protocolo: 23122.050620/2023-11

Ouro Branco-MG, 22 de dezembro de 2023.

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de **ANDERSEN ESCOBAR SCHLOGL**, APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI, EM 18 DE DEZEMBRO DE 2023.

BANCA EXAMINADORA:



Thiago Ferreira Quilice  
IFMG - OB

*(Assinado digitalmente em 22/12/2023 16:23 )*  
ALEXANDRE BOSCARO FRANCA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DEQUI (12.29)  
Matrícula: 1893854

*(Assinado digitalmente em 22/12/2023 14:59 )*  
EDSON ROMANO NUCCI  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
PPGEQ (13.13)  
Matrícula: 1811284

*(Assinado digitalmente em 22/12/2023 14:43 )*  
IGOR JOSE BOGGIONE SANTOS  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DQBIO (12.26)  
Matrícula: 2255060

Visualize o documento original em <https://sipac.ufsj.edu.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **87**, ano: **2023**, tipo: **NOMEAÇÃO DE BANCA EXAMINADORA**, data de emissão: **22/12/2023** e o código de verificação: **722e57cc17**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço,

Primeiramente, a Deus por estar possibilitando esse momento e por fornecer saúde e disposição que permitiu a realização deste trabalho.

A minha família, ao meu pai Alberlei, a minha mãe Janaina e ao meu irmão Karl, por sempre estarem do meu lado e apoiando os meus sonhos. Agradecer também aos meus avós, já não mais presentes, por todo carinho, zelo e motivação dado durante o decorrer desse percurso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Igor José Boggione Santos, pela amizade, as orientações dentro e fora da sala de aula, pelo convite de estar realizando esse trabalho e por me proporcionar uma experiência de atuação em pesquisa em engenharia.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Edson Romano Nucci, pela amizade, pelas orientações e ajudas para planejar e compreender estatisticamente os experimentos e os resultados obtidos. Possibilitando um desenvolvimento melhor do trabalho.

A startup NanoFood, pela confiança e possibilidade de estar realizando esse trabalho. E por experiências foras de um ambiente laboratorial. Possibilitando um entendimento melhor sobre negócios, modelagens financeiras e mercado.

Aos meus amigos de laboratório: Felipe Estanislau, Patrícia Avelar, Ana Luiza, Gabriela Martins e Ana Angélica, pela amizade, pelas risadas e por me ajudar a ser um profissional melhor.

Aos membros do grupo de pesquisa Nanotec pela amizade e troca de conhecimento e ajuda mutua.

A Capes e a Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ).

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste estudo.

## RESUMO

No capítulo 1 é exposto os objetivos gerais e específicos do trabalho realizado dentro do assunto: “Escalonar a produção de um revestimento de goma guar enriquecido com nanoestrutura de ZnO e um revestimento de goma guar enriquecido com nanoestrutura de quitosana da escala laboratorial a escala piloto.”

No capítulo 2 é uma revisão bibliográfica dos principais temas relevantes para trabalho. É abordado o cenário brasileiro de produção e exportação de frutas, perdas produtivas na fruticultura brasileira, nanotecnologia e aplicações nos setores de embalagens, crescimento dos números de empresas que comercializam produtos nanoestruturados, escalonamento tecnológicos e modelos de gestão de inovações.

No capítulo 3 foi realizado o escalonamento tecnológico das sínteses das nanoestruturas e da produção do revestimento. Os processos de síntese das nanoestruturas, juntamente com o processo de fabricação do revestimento enriquecido com nanoestruturas, passaram por alterações, visando tornar o processo mais robusto e, assim, desenvolver um Mínimo Produto Viável (MVP). A nanoestrutura de ZnO sintetizada na planta piloto apresentou um raio hidrodinâmico de  $312,05 \pm 82,66$  nm. Com o aumento da vazão para 42 mL/min, a nanoestrutura de quitosana sintetizada na planta piloto apresentou um raio hidrodinâmico de  $45,28 \pm 10,78$  nm.

No capítulo 4 os protótipos dos revestimentos de goma guar enriquecidos com nanoestruturas foram testadas em ambientes laboratoriais e na empresa UGBP. Quando aplicado os protótipos diminuíram a perda de massa de mamões de 16,60% para o sendo 11,56%, manteve por mais tempo a coloração amarelada das frutas e diminuiu a taxas de contaminações e áreas danificadas por agentes fitopatogênicos na empresa UGBP

No capítulo 5 foi realizado uma análise de mercado juntamente com um estudo econômico-financeiro da produção do revestimento de goma guar enriquecido com nanoestruturas em escala piloto. No processo de estabelecimento e execução das operações para a produção de revestimentos com nanoestruturas, o custo estimado é de aproximadamente R\$ 113.252,476. Depois de um ano de funcionamento é estimado um valor presente líquido -R\$ 48.121,05 e taxa interna de retorno de 9%. Com suporte de espaços de inovação tecnológica e fundos não reembolsáveis, em um ano de produção, o Valor Presente Líquido pode chegar a R\$ 191.345,62, com uma TIR de 662%.

## ABSTRACT

Chapter 1 sets out the general and specific objectives of the work carried out on the subject: "Scaling up the production of a guar gum coating enriched with a ZnO nanostructure and a guar gum coating enriched with a chitosan nanostructure from laboratory scale to pilot scale."

Chapter 2 is a bibliographical review of the main topics relevant to the work. It covers the Brazilian fruit production and export scenario, production losses in Brazilian fruit growing, nanotechnology and its applications in the packaging sector, the growth in the number of companies marketing nanostructured products, technological scaling and innovation management models.

Chapter 3 describes the technological scale-up of nanostructure synthesis and coating production. The processes for synthesizing the nanostructures, together with the process for manufacturing the coating enriched with nanostructures, were altered in order to make the process more robust and thus develop a Minimum Viable Product (MVP). The ZnO nanostructure synthesized in the pilot plant had a hydrodynamic radius of  $312.05 \pm 82.66$  nm. When the flow rate was increased to 42 mL/min, the chitosan nanostructure synthesized in the pilot plant had a hydrodynamic radius of  $45.28 \pm 10.78$  nm.

In Chapter 4, the prototype guar gum coatings enriched with nanostructures were tested in laboratories and at the UGBP company. When applied, the prototypes reduced the mass loss of papayas from 16.60% to 11.56%, maintained the yellowish color of the fruit for longer and reduced the rates of contamination and areas damaged by phytopathogens at the UGBP company.

In Chapter 5, a market analysis was carried out along with an economic and financial study of the production of guar gum coating enriched with nanostructures on a pilot scale. In the process of setting up and running the operations for the production of coatings with nanostructures, the estimated cost is approximately R\$113,252.476. After one year of operation, the estimated net present value is R\$48,121.05 and the internal rate of return is 9%. With support from technological innovation spaces and non-reimbursable funds, in one year of production, the Net Present Value could reach R\$ 191,345.62, with an IRR of 662%.

## Sumário

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	10
1. INTRODUÇÃO .....	10
2. OBJETIVOS.....	11
2.1 GERAL.....	11
2.2 ESPECÍFICOS .....	11
<b>CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>12</b>
1. PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO NACIONAL DE FRUTAS.....	12
2. PERDAS E DESPERDÍCIOS DE FRUTAS NO BRASIL.....	16
3. NANOTECNOLOGIA E APLICAÇÃO EM REVESTIMENTOS .....	16
4. EMPRESAS NANOTECNOLOGICAS .....	18
5. ESCALONAMENTO TECNOLÓGICO .....	21
6. GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA .....	22
<b>CAPÍTULO 3 – ESCALONAMENTO DA PRODUÇÃO DE UM REVESTIMENTO DE GOMA GUAR ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA DE ZnO E COM NANOESTRUTURA DE QUITOSANA DA ESCALA LABORATORIAL PARA ESCALA PILOTO</b> .....	<b>26</b>
RESUMO .....	26
1. INTRODUÇÃO .....	27
2. EXPERIMENTAL .....	27
2.1 PRODUÇÃO DA NANOESTRUTURA DE ÓXIDO DE ZINCO (NSZnO).....	27
2.2 PRODUÇÃO DA NANOESTRUTURA DE QUITOSANA.....	28
2.3 PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA.....	28
2.4 PROJETO CONCEITUAL DA PLANTA PILOTO .....	28
2.5 DESENHO DO FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DA ESCALA PILOTO ...	29
2.6 ANÁLISE DE TAMANHO DAS TAMANHO DAS NANOESTUTURAS .....	29
2.7 ANÁLISE DE VISCOSIDADE DOS REVESTIMENTOS .....	29
2.8 ANÁLISE ESTATISICA .....	29
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
3.1 ESCALONAMENTO DA PRODUÇÃO .....	30
3.1.1 ESCALONAMENTO TECNOLÓGICO EM ESCALA LABORATORIAL .	30
3.1.2 ALTERAÇÕES NA PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURA DE ÓXIDO DE ZINCO (NSZnO) EM ESCALA LABORATORIAL.....	30
3.1.3 ALTERAÇÕES NA PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURA DE QUITOSANA EM ESCALA LABORATORIAL .....	33
3.1.4 ALTERAÇÕES NA PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA EM ESCALA LABORATORIAL .....	35

3.1.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ESCALONAMENTO EM ESCALA LABORATORIAL .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2	ESCALONAMNETO TECNOLÓGICO PARA A ESCALA PILOTO .....	38
3.2.1	PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURA DE ZnO (NSZnO).....	38
3.2.2	PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURA DE QUITOSANA.....	42
3.2.3	PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA.....	45
4.	CONCLUSÕES .....	49
<b>CAPÍTULO 4 – APLICAÇÃO DO PROTOTIPO DO REVESTIMENTO DE GOMA GUAR ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA DE ZnO E COM NANOESTRUTURA DE QUITOSANA EM AMBIENTE LABORATORIAL E EM EMPRESA.....</b>		<b>50</b>
RESUMO .....		50
1.	INTRODUÇÃO .....	50
2.	EXPERIMENTAL .....	52
2.1	ANÁLISE DE MUDANÇA DE COLORAÇÃO DAS FRUTAS .....	52
2.2	ANÁLISE DE PERDA DE MASSA DAS FRUTAS .....	52
2.3	ANÁLISE DA TAXA DE CONTAMINAÇÃO DAS FRUTAS POR AGENTES FITOPATOGENICOS .....	53
2.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	53
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53
3.1	APLICAÇÃO DO PROTOTIPO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA EM MAMÕES EM AMBIENTE LABORATORIAL.....	53
3.2	APLICAÇÃO DO PROTOTIPO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA EM MAMÕES EM EMPRESA.....	59
4.	CONCLUSÕES .....	74
<b>CAPÍTULO 5 – ANÁLISE E MODELAGEM FINANCEIRA DA PRODUÇÃO DE REVESTIMENTO DE GOMA GUAR ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA DE ZnO E COM NANOESTRUTURA DE QUITOSANA EM ESCALA PILOTO.....</b>		<b>75</b>
RESUMO .....		75
1.	INTRODUÇÃO .....	75
2.	EXPERIMENTAL .....	76
2.1	ANÁLISE DE TAMANHO DE MERCADO .....	76
2.2	ANÁLISE FINANCEIRA DA PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA DE ZnO E NANOESTRUTURA DE QUITOSANA.....	76
2.3	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO VALOR DA PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURAS .....	77
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
3.1	TAMANHO DO MERCADO .....	77



3.2	ANÁLISE FINANCEIRA DA PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO DE GOMA GUAR ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA DE ZnO E NANOESTRUTURA DE QUITOSANA EM PLANTA PILOTO .....	79
3.3	ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO VALOR DA PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA DE ZnO E NANOESTRUTURA DE QUITOSANA.....	83
4.	CONCLUSÃO .....	88

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO

O Brasil estabeleceu sua posição no cenário mundial como um dos maiores produtores de frutas, ocupando a terceira posição, responsável por 4,6% da produção mundial, ficando atrás somente da China com 30,6% e da Índia com 10,7% da produção mundial. O Brasil em 2017 teve uma produção de 39.881.658 toneladas de frutas, sendo que, o cultivo de laranja, banana e abacaxi representam 40,9%; 16,5% e 8,4% da produção nacional, respectivamente.<sup>1</sup> A respeito da exportação de frutas, o Brasil novamente se apresenta como um dos maiores participantes na comunidade mundial. O Brasil ocupa a 26<sup>a</sup> colocação dos países exportadores do mundo, porém há muito espaço para crescimento, visto que, os produtores do Brasil estão buscando estarem de acordo com as normas fitossanitárias requerido pelos países importadores. Entre os anos de 2010 a 2017, os principais destinos das frutas brasileiras foram Países Baixos, Estados Unidos, Reino Unido, Espanha e Alemanha.<sup>2</sup>

Apesar de toda essa produção brasileira de frutas, ainda existe uma perda de até 30% de todas as frutas e hortaliças produzidas. Essas perdas costumam ocorrer no pós-colheita, devido a um manejo inadequado dos frutos, danos mecânicos durante o transporte e/ou empilhamento dos frutos e/ou temperatura inadequada, além das perdas pelo alto grau de amadurecimento do fruto e da ação de agentes fitopatogênicos.<sup>1</sup>

A tecnologia proposta neste trabalho visa aumentar a *shelf-life*, vida útil, dos frutos pós-colheitas. A tecnologia consiste em um revestimento nanotecnológico e biodegradável com nanoestruturas incorporadas em um biopolímero que mantem as frutas mais bonitas, saborosas, frescas e nutritivas por maior período de armazenamento. O produto é ideal para produtores e comerciantes de frutas como goiaba, limão e manga. Os componentes constam na lista positiva da ANVISA para o uso em alimentos, e são reconhecidos como seguros (Status GRAS) pela agência americana FDA (Food and Drug Administration).<sup>2</sup>

A inovação da presente invenção consiste na incorporação de nanoestruturas de óxido de zinco e/ou quitosana a um biopolímero (Goma Tara, Guar ou outro polissacarídeo). A tecnologia já foi publicada em eventos científicos, demonstrada em eventos de startups e possui pedido de patente sob o Número do Processo: BR 10 2018 017177 1.

Para que essa tecnologia vire um produto para o mercado é necessário realizar o escalonamento dela, realizar estudos de viabilidade técnica operacional, mercadológica e econômica.<sup>7, 8</sup>. O processo de escalonamento, quando ligado a indústria química, é utilizado para a expansão, replicação e adaptação de um resultado em escala laboratorial ou pequena escala em uma escala maior, dessa maneira transformando um processo que produz gramas de um produto em quilogramas e/ou toneladas.<sup>6</sup>

O objetivo desse trabalho, portanto, é escalonar a produção do revestimento de goma guar com nanoestrutura de ZnO e quitosana, aumentando a escala de produção, realizando os estudos de viabilidade técnico, operacional e econômica, juntamente a obtenção de uma planta piloto.

## **1. OBJETIVOS**

### **2.1 GERAL**

Escalonar a produção de um revestimento de goma guar enriquecido com nanoestrutura de ZnO e um revestimento de goma guar enriquecido com nanoestrutura de quitosana da escala laboratorial a escala piloto.

### **2.2 ESPECÍFICOS**

- 1) Aumentar a escala de produção de 10 kg de revestimento enriquecido com nanoestrutura de ZnO e 10 kg de revestimento enriquecido com nanoestrutura de quitosana para semanais para 1 t semanal de cada revestimento, utilizando as operações unitárias em escala piloto.
- 2) Realizar a cotação e compras de equipamentos para uma produção dos revestimentos enriquecidos com nanoestruturas em escala piloto e avaliar a qualidade do produto.
- 3) Validar o processo de síntese das nanoestruturas ZnO e de quitosana em escala de planta piloto.
- 4) Aplicar os revestimentos enriquecidos com nanoestrutura em *packinghouses* de produtores de frutas.

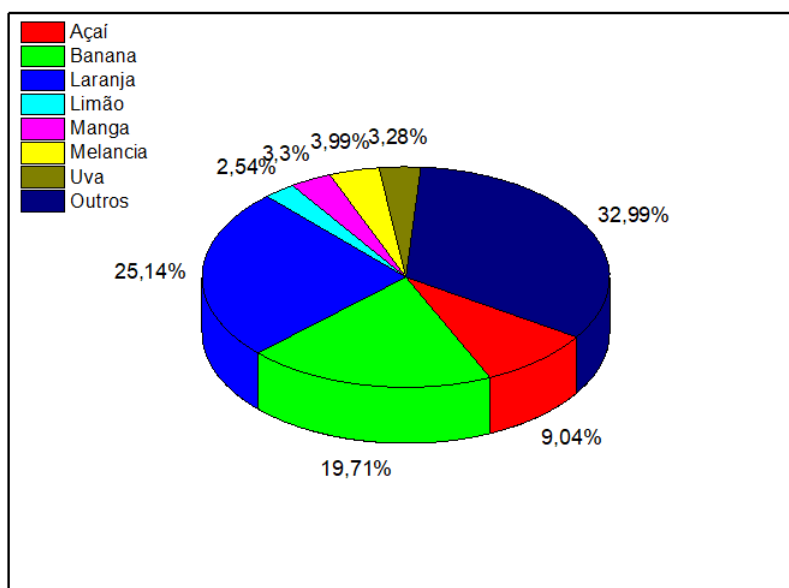
## CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1. PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO NACIONAL DE FRUTAS

O Brasil destaca-se como um dos principais protagonistas no setor da agroindústria mundial, fundamentando sua economia na produção e exportação de commodities.<sup>3</sup> No contexto da fruticultura, o país ocupa a terceira posição como maior produtor global de frutas, ficando atrás apenas da China e da Índia. Devido à sua vasta extensão territorial, o Brasil apresenta uma diversidade de climas, solos e biomas, proporcionando condições propícias para o cultivo de diversas variedades de frutas.<sup>4</sup>

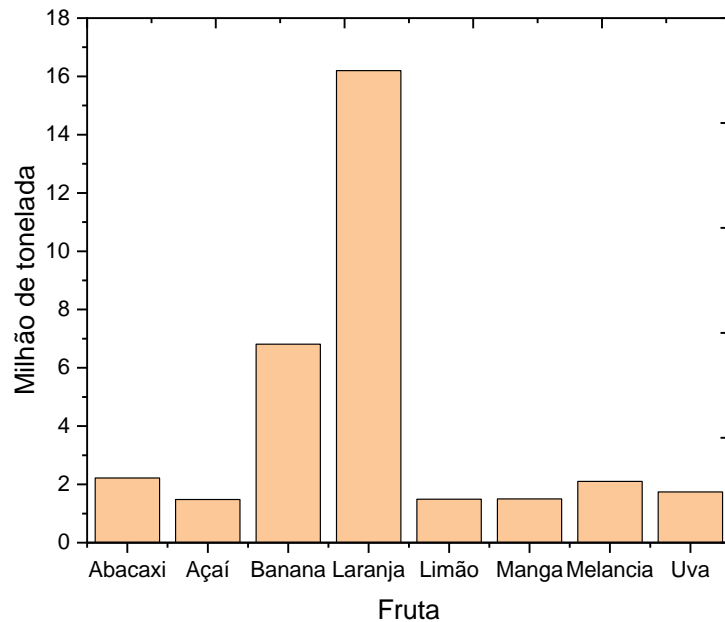
Atualmente, o Brasil cultiva e comercializa mais de 28 espécies distintas de frutas em seu território nacional. Dentre essas variedades, destacam-se: abacate, abacaxi, açaí, acerola, ameixa, amora, atemoia, banana, camu-camu, caqui, carambola, dendê, figo, fruta-do-conde, goiaba, graviola, guaraná, jabuticaba, jaca, jambo, kiwi, laranja, lichia, lima, limão, maçã, mamão, manga, mangaba, maracujá, marmelo, melancia, melão, morango, nectarina, nêspera, pera, pêssigo, pitaiá, pitanga, pupunha, romã, tangerina e uva.<sup>5</sup>

Estima-se que o país dedique uma área superior a 2,3 milhões de hectares à produção de frutas. Nesse cenário, o cultivo de laranja lidera, ocupando a maior parcela com 578 mil hectares, seguido pelos cultivos de banana e açaí, com 453 mil e 208 mil hectares, respectivamente. A Figura 1 ilustra a distribuição percentual da área destinada à produção das diversas culturas no Brasil.<sup>5</sup>



**Figura 1:** Gráfico indicado a porcentagem da área destinada para produção dos diversos cultivos no Brasil.

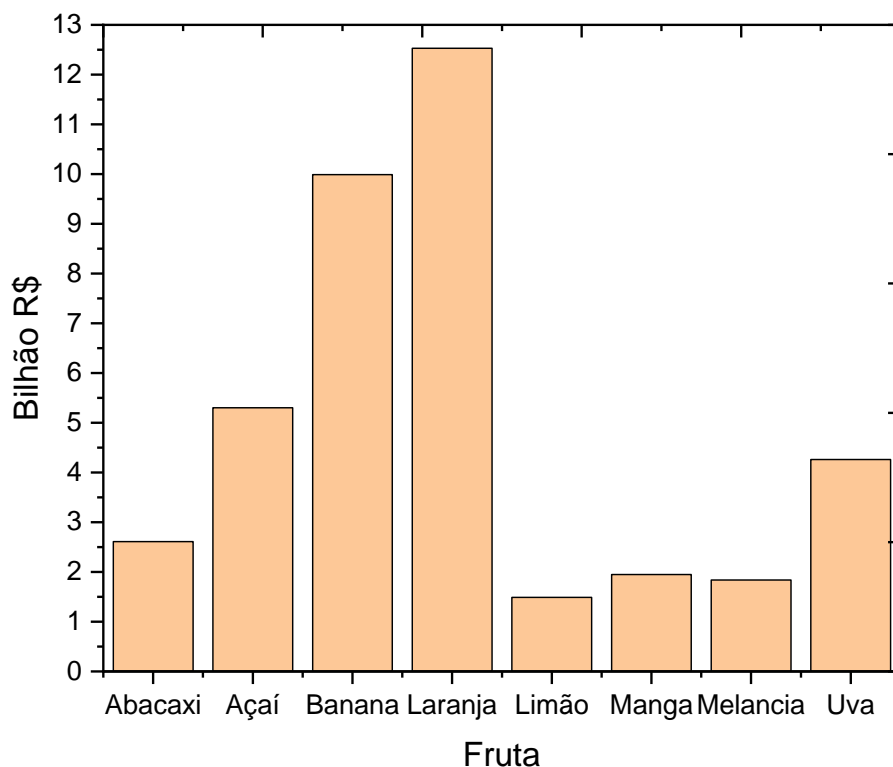
A produção de frutas no território brasileiro se configura como uma das maiores no mundo, tendo colheitas superiores a 40 milhões de toneladas/ano. O cultivo da laranja juntamente com o cultivo da banana, abacaxi, açaí, uva, melancia, manga e limão são os principais cultivos no quesito produtivo. A Figura 2 apresenta a produção nacional dos principais cultivos em números de milhão de toneladas. <sup>5</sup>



**Figura 2:** Gráfico da produção nacional dos principais cultivos em números de milhão de toneladas.

A receita proveniente do segmento da fruticultura varia conforme a precificação de cada variedade de fruta e o destino da produção. As frutas podem ser destinadas ao mercado interno, sendo comercializadas em supermercados, mercados locais e indústrias de alimentos. Além disso, parte da produção é exportada para outros países, proporcionando lucros mais expressivos. Estima-se que o valor total da produção de frutas no Brasil ultrapasse os 55 bilhões de reais. <sup>6</sup>

O cultivo de laranja e banana destaca-se como principal contribuinte para esse montante, apresentando valores de produção de R\$ 12,53 bilhões e R\$ 9,99 bilhões, respectivamente. <sup>6</sup> A Figura 3 apresenta a estimativa do valor de produção dos principais cultivos de frutas no Brasil.



**Figura 3:** Gráfico do valor estimada dos principais cultivos de frutas brasileiras.

No ano de 2022, o Brasil exportou aproximadamente 1,02 milhão de toneladas de frutas, equivalendo a 2,55% da produção nacional. Esse número é considerado baixo em comparação com outros países como Espanha, Equador, Costa Rica, México, Estados Unidos, entre outros. Apesar de ser o terceiro maior produtor de frutas globalmente, o Brasil detém uma participação mínima no mercado internacional, ocupando a 26ª posição entre os países exportadores. <sup>6,7</sup>

A escassa presença brasileira nas exportações de frutas se deve, em grande parte, à falta de investimentos no manejo das frutas, não atendendo aos rigorosos requisitos necessários para a exportação para países como os Estados Unidos e membros da União Europeia. <sup>8</sup>

As exportações de frutas brasileiras geraram uma receita de 970 milhões de dólares ou 4,6 bilhões de reais em 2022. As principais frutas exportadas incluem manga, melão,

limão e lima, uvas, melancias e mamão. Os números detalhados das exportações em peso e valores de venda de cada cultura estão apresentados na tabela 1 <sup>7</sup>.

<b>Frutas</b>	<b>Massa (mil tonelada)</b>	<b>Massa (%)</b>	<b>Valor (milhão UR\$)</b>	<b>UR\$/tonelada</b>
Manga	231,36	22,5938	205,65	888,87
Melão	222,35	21,7139	156,26	702,77
Limão e Lima	156,25	15,2588	152,19	974,02
Uva	52,59	5,13574	108,05	2054,57
Melancia	105,68	10,3203	57,49	544,00
Mamão	39,83	3,88965	49,71	1248,05
Banana	84,36	8,23828	37,32	442,39
Maçã	35,05	3,42285	24,6	701,85
Abacate	10,74	1,04883	17,06	1588,45
Pêssego	6,63	0,64746	8,47	1277,53
Figo	1,56	0,15234	6,34	4064,10
Abacaxi	6,17	0,60254	5,31	860,62
Caqui	0,76	0,07422	1,46	1921,05
Goiaba	0,504	0,04922	1,18	2341,27
Coco	0,72	0,07031	0,897	1245,83
Laranja	0,359	0,03506	0,358	997,21
Morango	0,114	0,01113	0,282	2473,68
Tangerina	0,124	0,01211	0,256	2064,52
Outros	68,849	6,72354	137,567	-
<b>Total</b>	<b>1024</b>	<b>100</b>	<b>970,45</b>	<b>-</b>

**Tabela 1:** Tabela dos números das exportações em peso e valores de venda de cada cultivo brasileiro <sup>7</sup>.

É fundamental que os produtores invistam no manejo das frutas para elevá-las ao padrão necessário para a exportação, resultando em uma valorização na venda desses produtos. A manga, por exemplo, tem um preço de mercado interno de 233 US\$/tonelada, enquanto no mercado externo alcança 888,87 US\$/tonelada, representando um aumento de 3,81 vezes em relação ao mercado interno. <sup>7</sup>

Embora o Brasil já tenha se consolidado como um dos maiores produtores de frutas globalmente, há ainda um considerável espaço para crescimento tanto na produção quanto na exportação <sup>8</sup>.

## **2. PERDAS E DESPERDÍCIOS DE FRUTAS NO BRASIL**

O desperdício e a perda de alimentos representam um significativo desafio global, sendo objeto de discussões contínuas em busca de soluções. Estima-se que entre 10% e 30% de toda a produção alimentar mundial seja perdida, desde a sua concepção até chegar ao consumidor final.<sup>1</sup>

No Brasil, país com uma capacidade de produção de alimentos superior a 260 milhões de toneladas anuais, estima-se uma perda de cerca de 26 milhões de toneladas. Dessas perdas, a maior parte ocorre durante as etapas de manuseio e transporte, responsáveis por 50% do total.<sup>9</sup>

Os estabelecimentos de comercialização de alimentos no país indicam um desperdício diário de 15% a 50% de hortaliças e frutas. O setor com a maior taxa de perdas no Brasil é o de Frutas, Legumes e Verduras (FLV), que resulta em um desperdício anual de R\$ 1,3 bilhão nos supermercados brasileiros. Entre os itens mais desperdiçados estão o tomate, a banana, a laranja e as hortaliças folhosas.<sup>9-11</sup>

As perdas no setor de frutas podem estar relacionadas a diversos fatores, tais como falta de higiene nas etapas produtivas, desconhecimento do processo, condições climáticas desfavoráveis, uso inadequado de equipamentos, danos mecânicos, temperatura inadequada de refrigeração, contaminações microbiológicas, infestações de insetos e taxas elevadas de amadurecimento.<sup>12</sup>

## **3. NANOTECNOLOGIA E APLICAÇÃO EM REVESTIMENTOS**

A nanotecnologia engloba um conjunto de técnicas e processos destinados à manipulação da morfologia, geometria e tamanho, visando a obtenção de materiais em escala nanométrica com propriedades distintas. Esses materiais podem apresentar novas características ou modificações em relação às propriedades existentes quando o material não está nanoestruturado.<sup>13</sup>

O termo "nanotecnologia" foi cunhado pelo professor da Universidade de Tóquio, Norio Taniguchi, em 1974, durante uma conferência sobre semicondutores, para descrever a fabricação de novos materiais com dimensões nanométricas. Existem duas abordagens principais para a obtenção de nanoestruturas: a bottom-up (de baixo para cima), que utiliza interações de átomos e/ou moléculas para alcançar o tamanho nanométrico por



meio de síntese química ou biológica, e a top-down (de cima para baixo), que fragmenta um material naturalmente em estado macroscópico usando técnicas como moagem e processos físico-químicos.<sup>14,15</sup>

A metodologia escolhida para a obtenção da nanoestrutura impacta diretamente nas propriedades do material produzido, na qualidade e nos custos de fabricação. Essas novas propriedades geram avanços tecnológicos em diversos setores, como tecnologia da informação, produção de energia, ciência dos materiais, fabricação, alimentos, água, meio ambiente e segurança.<sup>16</sup>

Considerada como o quinto ciclo de inovação tecnológica, a nanotecnologia tem experimentado um aumento na produção de artigos científicos.<sup>17</sup> Em 2022, foram publicados 246.732 artigos, um valor 2,3 vezes maior em comparação a 2012. Os principais contribuidores para essa produção foram a China, com 115.513 publicações; Índia, com 24.660; EUA, com 24.271; Irã, com 12.107; e Coreia do Sul, com 11.917. O Brasil publicou 3.739 artigos, ocupando a 20ª posição mundial.

Essas pesquisas e trabalhos resultam em novas tecnologias, e na indústria alimentícia, a nanotecnologia desempenha diversas funções, como estabilizador coloidal, auxiliar de troca térmica, sensor, nanoencapsulante e em embalagens. Essas melhorias nos setores industriais possibilitam transformar produtos mais acessíveis em produtos de qualidade superior, com alto valor agregado.<sup>18,19</sup>

Especificamente, o setor de embalagens é grandemente influenciado pela nanotecnologia, especialmente as embalagens ativas e inteligentes. As embalagens ativas têm propriedades atuantes sobre o produto, como atividade antimicrobiana ou aprimoramento nas resistências mecânicas ou térmicas dos alimentos. Já as embalagens inteligentes fornecem informações sobre o produto, como sensores de conservação ou temperatura interna.<sup>20</sup>

No contexto de embalagens biodegradáveis, os galactomananos surgem como uma alternativa promissora na produção de filmes e revestimentos para alimentos. No entanto, essas embalagens biopoliméricas podem ser frágeis e carecer de propriedades mecânicas adequadas, demandando a incorporação de aditivos, como nanoestruturas, para mitigar essas limitações.<sup>21,22</sup>

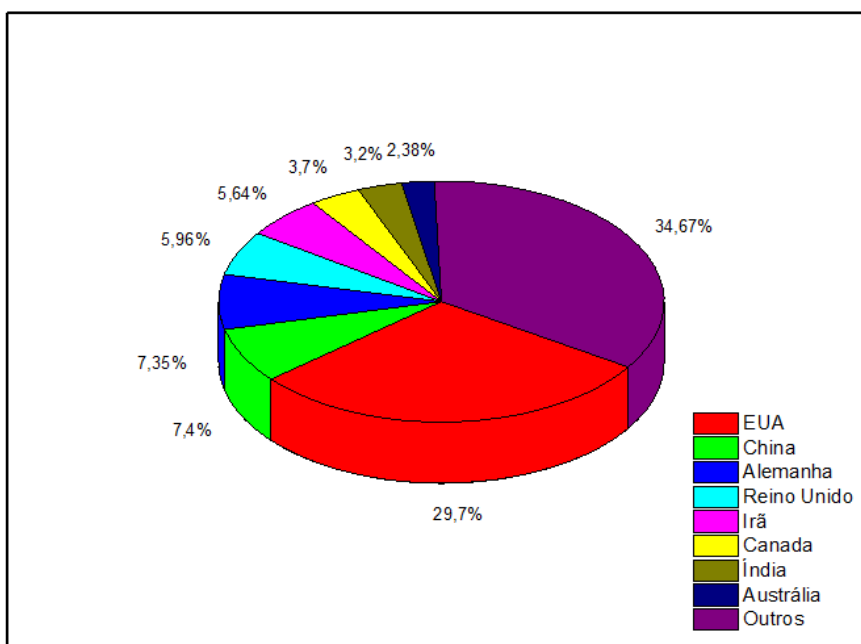
Na fase pós-colheita, busca-se embalagens ativas que prolonguem a vida útil dos frutos, preservando suas características naturais por mais tempo. Nanoestruturas com potencial antimicrobiano, como ZnO e quitosana, são objetos de estudos para sua incorporação em embalagens de frutos.<sup>23</sup>

O óxido de zinco é utilizado na indústria alimentícia como fonte de zinco, um micronutriente crucial para humanos e animais. Nanoestruturas de óxido de zinco têm sido estudadas in vitro como agentes antimicrobianos incorporados em diferentes matrizes poliméricas, visando produzir alimentos mais seguros, com vantagens econômicas e ambientais.<sup>24-26</sup> Contudo, são limitados os estudos que avaliam a atividade antimicrobiana dessas nanoestruturas em contato direto com os alimentos.<sup>27,28</sup>

A quitosana, um polissacarídeo biodegradável, é amplamente estudada na obtenção de filmes, revestimentos e nanoestruturas com propriedades antimicrobianas para uso alimentício.<sup>29,30</sup> As nanoestruturas de quitosana, quando incorporadas a materiais poliméricos, melhoram propriedades mecânicas, térmicas, microbiológicas e de barreira das embalagens, ampliando o potencial desses nanocompósitos na preservação da vida útil de alimentos perecíveis.<sup>31,32</sup>

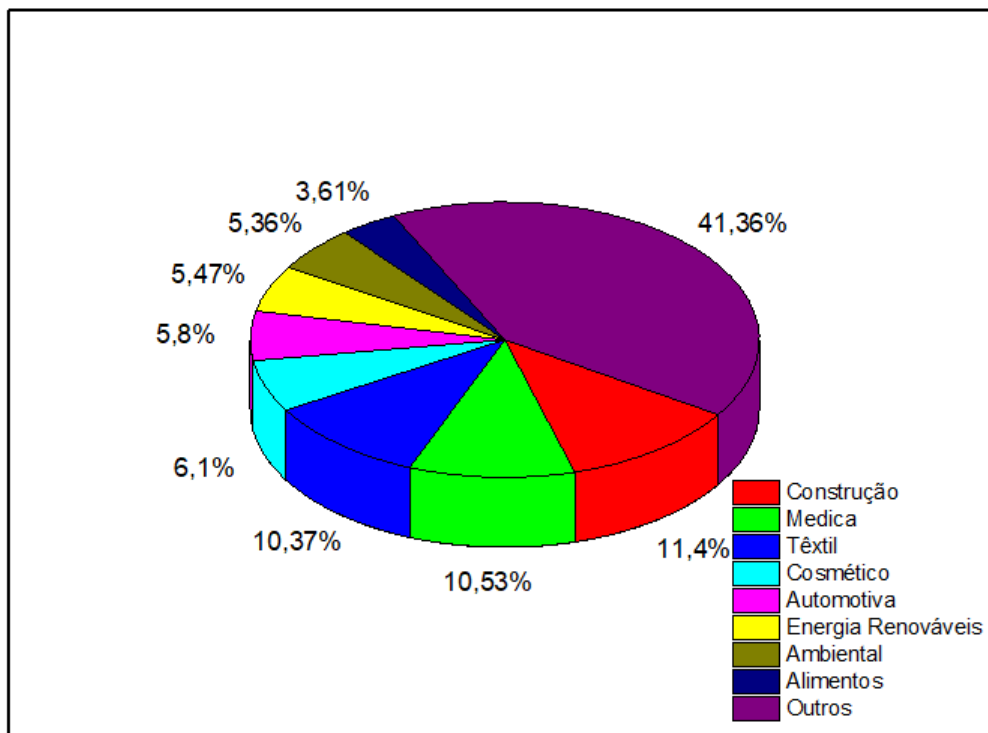
#### **4. EMPRESAS NANOTECNOLOGICAS**

Existe cerca de 5423 empresas cadastradas que comercializando produtos com nanoestrutura, estando presente em 73 países distintos. A sua maioria estão localizados nos EUA, 1604 empresas, na China, 400 empresas, na Alemanha, 396 empresas, e Reino Unido com 322 empresas. A figura 7 mostra a porcentagem de empresas que comercializam produtos com nanoestruturas por países no globo.<sup>33</sup>



**Figura 4:** Gráfico da porcentagem da localização das empresas que comercializam produtos com nanotecnologia.

A nanotecnologia adentra em diversas indústrias, sendo aplicada na indústria civil, médica, automotiva, eletrônicos, agrícola, cosmética, alimentícia, têxtil, esportiva. O segmento industrial que apresenta a maior quantidade de empresas que comercializa produtos nanotecnológico é a indústria de construção, tendo 618 empresas ao redor do mundo. Na figura 8 mostra a porcentagem de cada setor industrial que comercializam produtos com nanoestruturas no globo. <sup>33</sup>



**Figura 5:** Gráfico da porcentagem da locação de setor industrial das empresas que comercializam produtos com nanotecnologia.

Brasil está localizado na 12ª colocação em números de empresas que comercializam produtos com nanotecnologia, tendo cerca de 110 empresas, correspondente a 2,02% de total de empresas que comercializam produtos com nanotecnologia no mundo. A maior parcela das empresas brasileiras está no segmento de cosméticos e apresentando no momento somente 7 empresas no setor de agrícola e 2 no setor de alimentos

E dentro do setor alimentício mundial, existe atualmente cerca de 125 empresas que comercializam revestimentos com nanotecnologia, 35 nos Estados Unidos da América, 20 no Irã, 14 na Rússia, 13 na China, 12 na Coreia do Sul, 4 no Reino Unido, 4 na Alemanha, 4 no Japão, 3 na Espanha, 3 na Índia, 2 na Itália, 2 no Canadá e 1 empresa nos países: Luxemburgo, Malaysia, Suécia, México, Austrália, África do sul, Brasil, Países Baixos e Bélgica. A nanoestrutura mais utilizada na formulação dos produtos é a nanoargila (nanoclay). Na figura 10 é apresentado a quantidade de produtos que utiliza cada nanoestruturas na indústria de alimentos no departamento de revestimentos. <sup>34</sup>

## 5. ESCALONAMENTO TECNOLÓGICO

O escalonamento tecnológico, também conhecido como "scale-up", aplicado à área das Ciências Exatas, que abrange química, física, biologia e engenharia, refere-se à reprodução dos resultados tecnológicos obtidos em escala laboratorial, ou seja, em uma escala menor, para escalas maiores, como uma planta piloto ou uma escala industrial.<sup>35,36</sup> Esse processo envolve operações de engenharia, juntamente com operações químicas e/ou físicas, possibilitando o desenvolvimento de novos produtos a partir de tecnologias concebidas em laboratório.<sup>37</sup>

O processo de escalonamento tecnológico pode ser dividido em quatro etapas: Desenvolvimento de pesquisa de laboratório já conectada à aplicação; desenvolvimento focado no produto ainda em laboratório; desenvolvimento focado no processo ainda em laboratório e desenvolvimento da planta piloto. Todas essas etapas são de extrema importância para o escalonamento tecnológico.<sup>38</sup>

A primeira etapa está associada à pesquisa básica de laboratório, onde se estuda fenômenos, propriedades ou reações para obter uma base teórica consolidada. Nessa fase, são obtidos potenciais produtos em escalas geralmente na ordem de miligramas, gramas e mililitros. Essa etapa fundamenta os mecanismos e propriedades de um possível produto, realizando os testes laboratoriais necessários para validar os novos conhecimentos gerados. Essas descobertas resultam em novos artigos científicos e patentes, que asseguram os direitos de propriedade intelectual sobre o produto.<sup>38</sup>

A segunda etapa foca na elaboração do produto, produzindo uma quantidade maior da tecnologia desenvolvida na etapa anterior. Busca-se realizar testes aplicando em cenários mais realistas, utilizando reagentes com grau de pureza menor, visando formular um produto mais robusto ou um "mínimo produto viável" (MVP). O processo para a formulação do MVP é crucial para a migração da tecnologia do laboratório para escalas maiores, envolvendo estudos para a confecção do produto, tentando reduzir os custos produtivos sem comprometer a qualidade final.<sup>38,39</sup>

A terceira etapa, ainda em escala laboratorial, envolve a produção de um produto mais maduro e robusto, utilizando operações unitárias semelhantes às presentes em indústrias. Durante essa etapa, é crucial elaborar um estudo de viabilidade técnica e econômica (EVTE), que levanta dados e informações sobre a tecnologia inserida no contexto. O

EVTE aborda questões econômicas, infraestruturas, tecnologia empregada, plano de investimento e necessidade de capital de giro. Esse documento é essencial para avaliação de riscos, oportunidades e relevância do produto por parte de empresas e órgãos governamentais. <sup>38,40,41</sup>

A última etapa consiste no desenvolvimento da planta piloto, produzindo quantidades suficientes para testes em cenários realistas de mercado. Durante essa etapa, o produto é testado em um ambiente realista, com interferências que diferem dos testes em escala laboratorial. Se o produto for aprovado nos testes em cenários realistas, tanto o produto escalonado quanto o processo de fabricação serão validados. <sup>38</sup>

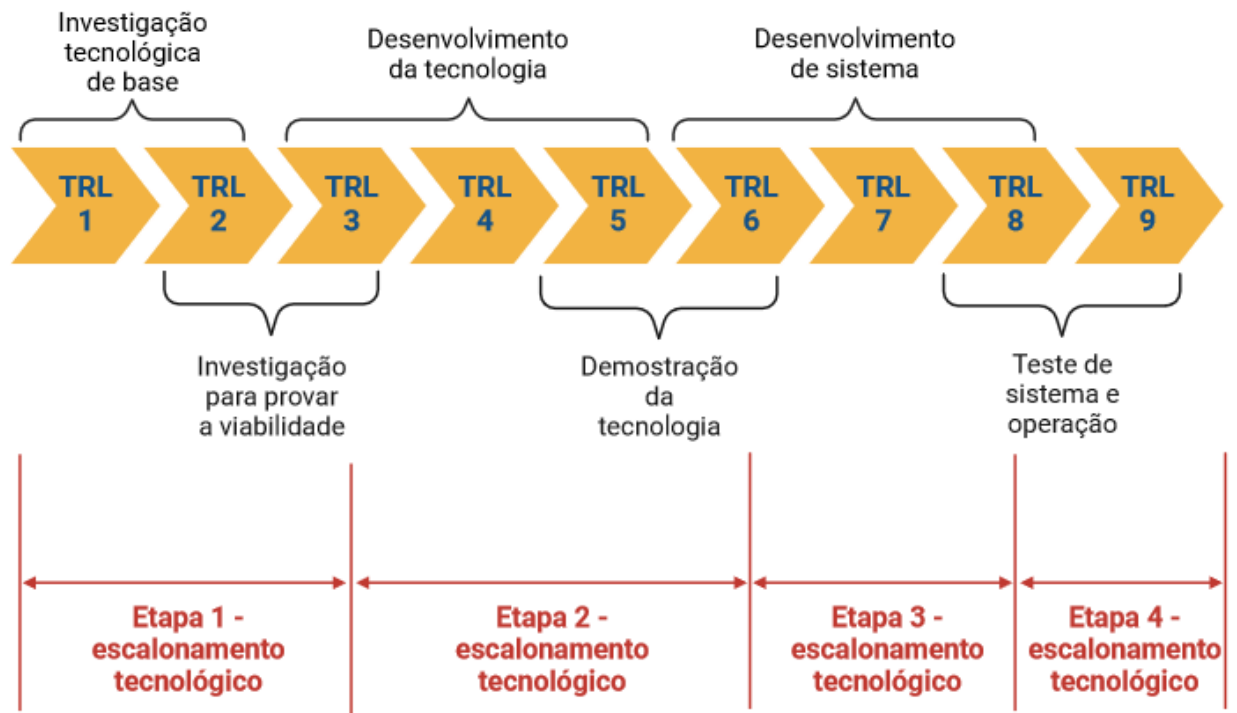
## **6. GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA**

O processo de escalonamento tecnológico é um sistema complexo que demanda conhecimentos multidisciplinares, pois está intrinsecamente relacionado ao Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). Com o objetivo de reduzir o tempo e os custos de desenvolvimento, foram propostos modelos sistemáticos para integrar os setores tecnológicos, de design de produto e de manufatura. Isso possibilita uma abordagem sistemática no processo de desenvolvimento, promovendo melhorias e garantindo a qualidade da tecnologia.

Desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), o modelo "Nível de Prontidão Tecnológica – Technology Readiness Level (TRL)" é uma ferramenta utilizada para medir a maturidade de novas tecnologias, sendo empregado na comunicação do nível dessas tecnologias entre diferentes áreas de aplicação. Este modelo utiliza restrições orçamentárias e temporais para classificar o nível de maturidade, dividindo-se em 9 níveis distintos, cada um ilustrando as características que a nova tecnologia já apresenta. O TRL abrange desde o princípio físico básico (TRL 1) até a incorporação da tecnologia (TRL 9). <sup>42</sup>

Os níveis do TRL podem ser agrupados em seis conjuntos: investigação tecnológica de base, investigação para provar a viabilidade, desenvolvimento da tecnologia, demonstração da tecnologia, desenvolvimento de sistema e teste de sistema e operação. Essa categorização abrange as diversas fases do escalonamento tecnológico, desde a pesquisa inicial até a aplicação prática da tecnologia. <sup>42,43</sup>

O TRL é uma ferramenta de gestão fundamental, uma vez que abrange todas as etapas do escalonamento tecnológico em seus diferentes níveis de maturidade. Ele proporciona uma correlação entre o TRL no qual a tecnologia se encontra e o estágio específico do escalonamento em que ela está, conforme indicado na imagem 6.



Created in BioRender.com 

**Figura 6:** O nível de prontidão tecnológica (TRL) associado com o estágio do escalonamento.

No entanto, o modelo de Nível de Prontidão Tecnológica (TRL) é um sistema abrangente, generalista e voltado para o desenvolvimento de tecnologias em diversos setores. Com o objetivo de compreender melhor os riscos e a maturidade da fabricação, o Departamento de Segurança dos EUA (DOD) formulou uma metodologia semelhante ao TRL chamada "Manufacturing Readiness Levels (MRL)" ou níveis de preparação para a produção. O MRL é segmentado em 10 níveis. Com metodologias já descrevendo o grau de maturidade de uma tecnologia e de um processo, surgiu a necessidade de esclarecer dúvidas de negócios, fornece informações sobre receitas, gastos tecnológicos, lucros e mercados para possíveis investimentos futuros, visando um melhor desenvolvimento econômico.<sup>43,44</sup> Com esse intuito, foi elaborado o "Business Case Readiness Level

(BcRL)" ou níveis de preparação do caso comercial. Na tabela 2, estão apresentados, de forma condensada, os critérios de cada nível do TRL, MRL e BcRL:

Nível\Modelo	Nível de Prontidão Tecnológica (TRL)	Níveis de Preparação para o Produto (MRL)	Níveis de Preparação do Caso Comercial (BcRL)
1	Princípio físico básico	Avaliação da viabilidade do fabrico	Conceito de investigação comprovado em laboratório; investigador principal define a utilização do potencial valor de mercado
2	Conceito técnico-científico	Definição dos conceitos de fabrico	Análise e validação pela equipa universitária do potencial de investigação conceito de inserção no mercado
3	Prova de conceito	Conceitos de fabrico desenvolvidos	Conceito de investigação apresentado a uma entidade externa (direção da incubadora, investidores de capital de risco, etc.) para análise
4	Validação laboratorial	Capacidade de produzir a tecnologia num ambiente laboratorial	Conceito de investigação/mercado-alvo apresentados aos parceiros industriais parceiros industriais; adequação ao objetivo do plano estratégico
5	Validação do protótipo	Capacidade para produzir componentes de protótipos num ambiente relevante para a produção	Questões financeiras definidas; retorno do investimento exigido; margem, fonte de financiamento (interna, externa ou ambas)
6	Teste em campo	Capacidade de produzir um protótipo de sistema ou subsistema num ambiente relevante para a produção	Protótipo de investigação pronto para o mercado, aprovado por uma entidade externa e pelos principais clientes
7	Teste de escala	Capacidade para produzir sistemas, subsistemas ou componentes num ambiente de produção num ambiente representativo da produção	Inserção do produto num mercado-alvo; focalização positiva no mercado resposta do grupo
8	Produto testado e qualificado	Capacidade da linha piloto demonstrada. Pronto para iniciar a produção a baixa velocidade	Produção em pleno no mercado local; confirmação da financeira
9	Incorporação da tecnologia	Produção a baixo ritmo demonstrada. Capacidade instalada para iniciar a produção em pleno produção	Produção a todo o vapor nos mercados nacionais; estão previstas futuras melhorias planeadas
10	-	Demonstração de produção em pleno e aplicação de práticas de produção optimizadas	-

**Tabela 2:** Tabela com os níveis e cobranças de diferentes métodos de gestão de inovação.

Esses modelos desenvolvidos ajudam a prevenir e encontrar possíveis riscos no processo de escalonamento. Os riscos podem ser separados em 3 categorias: riscos tecnológicos, riscos de produção ou manufatura e riscos econômicos. Os riscos tecnológicos seriam aqueles que ameaçam a funcionalidade e a qualidade do produto. Os riscos de produção



seriam aqueles que ameaçam a a manufatura do seu produto, por exemplo, uma reação química do processo que a formação de gás ou liberação de calor, em uma escala laboratorial, mexendo com algumas dezenas de mL de reação, essa liberação de gás ou de calor pode ser pouco sentido, entretando, ao trabalho com dezenas ou centenas de litros, essa liberação de gás e de calor apresenta um risco nos equipamentos e para os funcionários. E os riscos econômicos seriam aqueles que ameaçam a comercialização do produto, como por exemplo: concorrência, valor de venda do produto, mercado, marketing.<sup>42,44</sup>

## **CAPÍTULO 3 – ESCALONAMENTO DA PRODUÇÃO DE UM REVESTIMENTO DE GOMA GUAR ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA DE ZnO E COM NANOESTRUTURA DE QUITOSANA DA ESCALA LABORATORIAL PARA ESCALA PILOTO**

### **RESUMO**

Os processos de síntese das nanoestruturas, juntamente com o processo de fabricação do revestimento enriquecido com nanoestruturas, passaram por alterações, visando tornar o processo mais robusto e, assim, desenvolver um Mínimo Produto Viável (MVP). No escalonamento da produção da nanoestrutura de ZnO em escala laboratorial, a operação unitária de maceração foi removida e os reagentes com grau de pureza analítica foram substituídos pelos de grau de pureza comercial. Esse protocolo resultou em uma nanoestrutura com raio hidrodinâmico de  $271,47 \pm 106,06$  nm. No escalonamento da produção da nanoestrutura de quitosana em escala laboratorial, a vazão de gotejamento da solução de tripolifosfato de sódio foi alterada de 1 mL/min para 4 mL/min, gerando uma nano dispersão com raio hidrodinâmico de  $35,93 \pm 4,62$  nm. Esses tamanhos de nanoestruturas validaram o processo de síntese em escala laboratorial. O revestimento passou por alterações, substituindo a goma Tara pela goma Guar e ajustando as concentrações de nanoestrutura de 0,5% (m/v) para 0,3% (m/v) de nanoestrutura de ZnO e de 0,5% (v/v) para 5% (v/v) de nanoestrutura de quitosana. No escalonamento em planta piloto, o processo produtivo considerou o protocolo desenvolvido na etapa do escalonamento em escala laboratorial, adicionando as operações utilizadas nas indústrias. No escalonamento da produção da nanoestrutura de ZnO em escala piloto, a operação unitária de moinho de facas foi adicionada como um refinamento final da nanoestrutura. A nanoestrutura de ZnO sintetizada na planta piloto apresentou um raio hidrodinâmico de  $312,05 \pm 82,66$  nm. No escalonamento da produção da nanoestrutura de quitosana em escala piloto, foi realizado um planejamento experimental fatorial, variando a agitação e a vazão de gotejamento da solução de tripolifosfato. Com o aumento da vazão para 42 mL/min, a nanoestrutura de quitosana sintetizada na planta piloto apresentou um raio hidrodinâmico de  $45,28 \pm 10,78$  nm. Esses tamanhos de nanoestruturas validaram o processo de síntese na planta piloto planejada e desenvolvida.

## **1. INTRODUÇÃO**

A tecnologia proposta, utilizada para realizar este trabalho BR 10 2018 017177 1, representa um avanço significativo no aumento da vida útil dos frutos pós-colheita, apresentando um revestimento nanotecnológico e biodegradável com nanoestruturas incorporadas em um biopolímero. Esse revestimento, composto por Goma Tara, Guar ou outro polissacarídeo, visa manter frutas como goiaba, limão e manga mais atrativas, saborosas, frescas e nutritivas por um período prolongado de armazenamento. Além disso, os componentes dessa inovação estão listados na ANVISA como seguros para uso em alimentos e foram reconhecidos como seguros (Status GRAS) pela FDA americana.

A inovação central desta tecnologia reside na incorporação de nanoestruturas de óxido de zinco e/ou quitosana ao biopolímero, um conceito já publicado em eventos científicos, demonstrado em eventos de startups e com pedido de patente em andamento. Para efetivar a entrada desta tecnologia no mercado, é essencial realizar o escalonamento, incluindo estudos de viabilidade técnica, operacional, mercadológica e econômica.<sup>38,42</sup>

O processo de escalonamento tecnológico, também conhecido como "scale-up" nas Ciências Exatas, abrange a reprodução de resultados obtidos em escala laboratorial para escalas maiores, como uma planta piloto ou escala industrial. Este processo, incorporando operações de engenharia, química e/ou física, é fundamental para transformar uma ideia inicial em um produto viável em larga escala.<sup>37</sup>

As etapas do escalonamento tecnológico incluem pesquisa de laboratório conectada à aplicação, desenvolvimento focado no produto e no processo ainda em laboratório, e finalmente, o desenvolvimento da planta piloto. Cada uma dessas fases desempenha um papel crucial na transição eficaz da tecnologia do laboratório para o mercado, contribuindo para o sucesso do escalonamento tecnológico.<sup>37</sup>

## **2. EXPERIMENTAL**

### **2.1 PRODUÇÃO DA NANOESTRUTURA DE ÓXIDO DE ZINCO (NSZnO)**

A produção da nanoestrutura de ZnO em escala laboratorial é descrito no trabalho de Kelly Costa<sup>45</sup>, trabalho utilizado como base para o processo de escalonamento. O processo é separado em seis etapas, a primeira é uma mistura dos reagentes sólidos: ZnCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e NaCl seguindo a proporção de 1:1:5,5. A segunda etapa é uma maceração da mistura sólida dos reagentes utilizando um moinho de bola durante 30 minutos a 12 rps.

A terceira etapa é um tratamento térmico em um forno mufla a 400 °C durante 30 minutos. A quarta etapa é uma lavagem da mistura sólida utilizando água destilada na proporção de 1:10. A quinta etapa é uma filtração a vácuo, para a separação do sal insolúvel, óxido de zinco, da dispersão. A sexta etapa é uma secagem em uma estufa a 50 °C por 24 horas.

## **2.2 PRODUÇÃO DA NANOESTRUTURA DE QUITOSANA**

Em escala laboratorial a nanoquitosana era obtida seguindo o protocolo estipulado Calvo et al (1997)<sup>52</sup> e Vimal et al (2012)<sup>53</sup>. O processo de produção era separado em 3 etapas. A primeira etapa é o preparo da solução de quitosana com 1,5 mg/mL de quitosana com 4,5 mg/mL de ácido acético glacial sob agitação 500 rpm a 25 °C por 24 h. A segunda etapa é o preparo de uma solução de tripolifosfato de sódio de 20 mL a 2,0 mg/mL. A terceira etapa é o gotejamento da solução de tripolifosfato de sódio na solução de quitosana, na vazão de 1 mL/min.

## **2.3 PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA**

A produção dos revestimentos enriquecidos com nanoestruturas segue o trabalho de base da Kelly Costa <sup>45</sup>, onde o revestimento enriquecido com nanoestrutura é produzido em 2 etapas. A primeira etapa é o preparo de uma solução de goma Tara 1 % (m/v). A segunda etapa é a adição de 0,5 % m/v de nanoestrutura.

## **2.4 PROJETO CONCEITUAL DA PLANTA PILOTO**

O projeto conceitual da planta piloto foi elaborado levando em consideração um estudo das demandas operacionais para a produção das nanoestruturas de óxido de zinco, nanoestrutura de quitosana e dos revestimentos enriquecido com nanoestruturas. Para isso, será realizado uma análise do número e da complexidade das operações unitárias envolvidas; rendimento x Custo de produção; disponibilidade das aquisições de matéria primas; disponibilidade de equipamentos; restrições do processo; balanço de massa e de energia do sistema; custo e prazos; fabricação e montagem da planta; equipamentos necessários.

O balanço de massa levou em conta uma taxa de conversão de 90 % no cloreto de zinco (ZnCl) em óxido de zinco (ZnO) no processo de síntese da nanoestrutura de óxido de zinco. E entre as operações foi adicionado uma perda produtiva de 0,01 %.

## **2.5 DESENHO DO FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DA ESCALA PILOTO**

O diagrama de fluxograma de processo, em inglês *process flow diagram* (PFD) é um fluxograma onde se é mapeado as informações de espaço físico de equipamentos, fluxo de operação, estado e composição das correntes presentes na operação, quantidade de material em cada corrente. Um diagrama que auxilia a atuação do engenheiro para a compreensão de toda linha de operação de forma rápida e prática. O fluxograma de produção da escala piloto foi levado em conta o processo em escala laboratorial, convertendo as operações utilizadas em bancada para operações unitárias utilizadas nas indústrias, e reajustando os cálculos de insumo, e de cada corrente do processo para a necessidade produtiva da planta a ser montada, seguindo as normas ANSI/ISA- 5.1 e a ISO 10628-1.

## **2.6 ANÁLISE DE TAMANHO DAS TAMANHO DAS NANOESTUTURAS**

As análises de tamanho da nanoestrutura foram realizadas via análise de índice de polidispersividade (PDI) e potencial Zeta.

Para a medição do raio hidrodinâmico (nm), da polidispersão (PDI) e potencial Zeta foi utilizado o NanoZeta sizer (Malvern, Inglaterra). As medidas foram realizadas utilizando um detector de fotodiodo de avalanche (Brookhaven BI-APD, USA) e um correlacionador (TURBOCORR, Brookhaven, USA). A fonte de luz (CVI Melles Griot, USA) foi um laser HeNe de 35 mW de potência e  $\lambda = 632,8$  nm, linearmente polarizada. Para controle de intensidade foi empregado um sistema de polarizadores cruzados. As amostras foram analisadas sem purificação adicional.

## **2.7 ANÁLISE DE VISCOSIDADE DOS REVESTIMENTOS**

Para a medição da viscosidade (cP) foi utilizado um viscosímetro Brookfield utilizando o spindles s61 nas rotações de 2,5, 4, 5, 10, 20, 50 e 100 rpm na temperatura de 25°C.

## **2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Para análise estatística foi realizado o teste Tukey ao nível de 5% de significância, com auxílio do software de estatísticas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

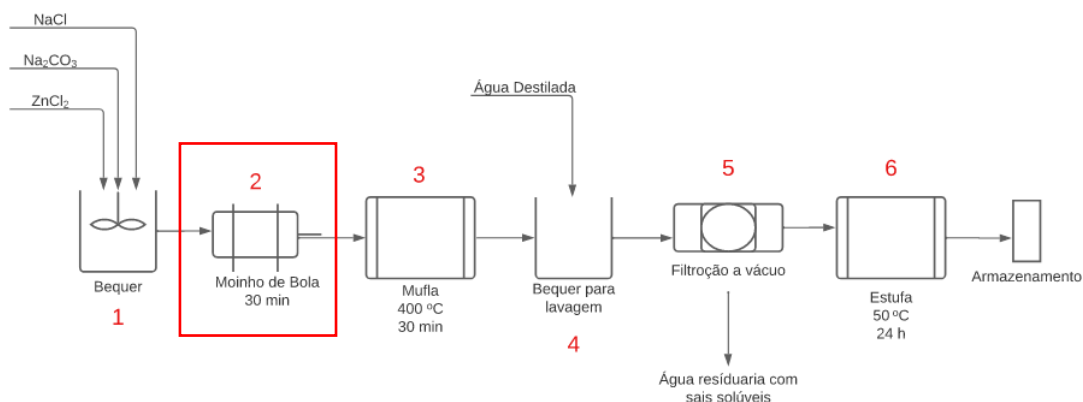
#### 3.1 ESCALONAMENTO DA PRODUÇÃO

##### 3.1.1 ESCALONAMENTO TECNOLÓGICO EM ESCALA LABORATORIAL

O escalonamento tecnológico ocorre quando a base tecnológica do produto já está consolidada, e as análises realizadas tem como intuito desenvolver o mínimo produto viável (MVP) e validar esse processo através de uma aplicação do produto, ainda em escala laboratorial. Utilizando como métrica o nível de prontidão tecnológica (TRL), a análise iniciou no TRL 3 e avançou até o TRL 6.

##### 3.1.2 ALTERAÇÕES NA PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURA DE ÓXIDO DE ZINCO (NSZnO) EM ESCALA LABORATORIAL

As operações alteradas no processo de síntese das nanoestruturas de óxido de zinco (NSZnO) estão demarcadas na figura 7.



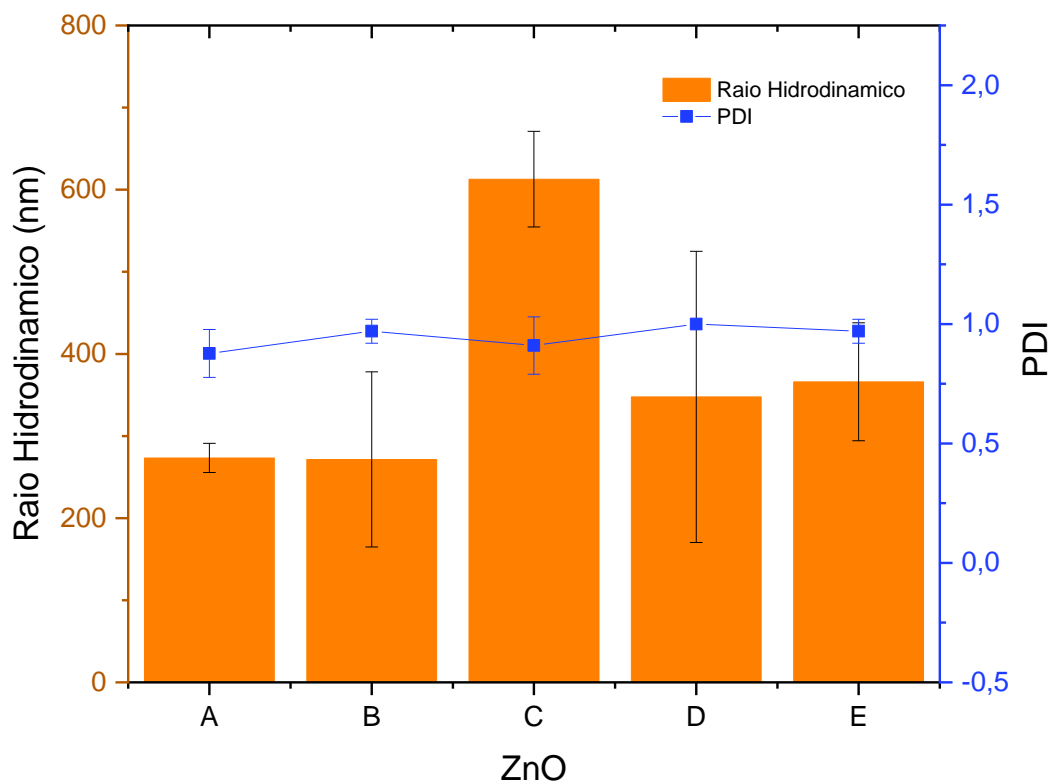
**Figura 7:** Operações alteradas no processo de síntese das nanoestruturas de óxido de zinco (NSZnO).

Foram realizadas adaptações no processo de obtenção da nanoestrutura de óxido de zinco com o objetivo de torná-lo mais econômico e robusto. Ao considerar aspectos operacionais, identificamos que o processo térmico e as etapas de purificação são operações-chave para a síntese e recuperação da nanoestrutura. Diante disso, o processo de maceração tornou-se um alvo para análise de sua influência no tamanho da nanoestrutura.

Uma adaptação estudada foi a eliminação da operação unitária de moagem, utilizando o moinho de bolas, como previamente descrito na literatura. Essa operação tem como objetivo reduzir mecanicamente a granulometria dos sais na mistura sólida, aumentando a área superficial dos sais antes de passarem pela etapa de tratamento térmico no forno mufla, momento em que seria formado o sal de óxido de zinco nanoestruturado. A exclusão dessa etapa é interessante. Ao simplificar o processo de síntese da nanoestrutura há uma diminuição nos gastos de operação, uma vez que representa uma operação unitária a menos no fluxograma operacional, diminuição da despesa com aquisição de equipamentos e na redução do tempo necessário para produzir a nanoestrutura e economia de energia. Além disso, quanto maior e mais complexo é a produção da nanoestrutura, maiores riscos tecnológicos. As propriedades das nanoestruturas estão relacionadas com o seu tamanho, geometria, morfologia. E essas, por sua vez, são determinadas pelo o método de síntese utilizado.<sup>46,47</sup> Quanto mais etapas existir em um processo, maior é probabilidade de ocorrer alguma interferência no processo, alterando alguma característica da nanoestrutura. Logo, simplificar a etapa de síntese é também uma forma de diminuir riscos, que podem prejudicar o produto final.<sup>38</sup>

Além da simplificação da etapa de síntese, foram conduzidos ensaios para analisar a influência do grau de pureza dos reagentes, substituindo os reagentes de pureza analítica por reagentes de pureza comercial. Essa adaptação é relevante, pois os reagentes de pureza comercial são de mais fácil aquisição, vendidos em quantidades adequadas para uso em escala piloto ou industrial, além de apresentarem um preço geralmente mais acessível em comparação aos reagentes químicos com pureza analítica (PA).

Na figura 8 abaixo estão os raios hidrodinâmicos e os valores de PDI das nanoestruturas de óxido de zinco (ZnO) com as adaptações no processo de produção da nanoestrutura:



**Figura 8:** Raio hidrodinâmico e PDI dos métodos de produção de nanoestrutura de ZnO, sendo “A” com o moinho de bolas, com pérolas, e utilizando reagentes com grau de pureza analítica; “B” sem a utilização de moinho de bolas e com reagentes PA; “C” utilizando o moinho de bolas e reagentes de grau de pureza comercial; “D” utilizando o moinho de bolas, com as pérolas, e com reagentes com grau de pureza comercial; “E” sem utilizar moinho de bolas e reagentes de grau de pureza comercial.

Existe uma diferença no tamanho do raio hidrodinâmico das nanoestruturas, conforme os resultados apresentados na figura 8. O raio hidrodinâmico das nanoestruturas de ZnO ao utilizar o moinho de bolas com pérolas e o raio hidrodinâmico das nanoestruturas de ZnO sem o processo no moinho de bolas, não apresentaram diferenças significativas sendo o teste de tukey com nível de significância de 5 %. Dessa maneira, não houve uma influência significativa do processo de maceração com o moinho de bolas com pérolas sobre o valor do raio hidrodinâmico da nanoestrutura de ZnO. Semelhante nos processos de síntese da nanoestrutura de ZnO utilizando os reagentes de grau de pureza comerciais. Não houve diferenças significativas, sendo o teste de tukey com nível de significância de 5 %, nos raios hidrodinâmicos das nanoestruturas de ZnO ao utilizar ou não o processo



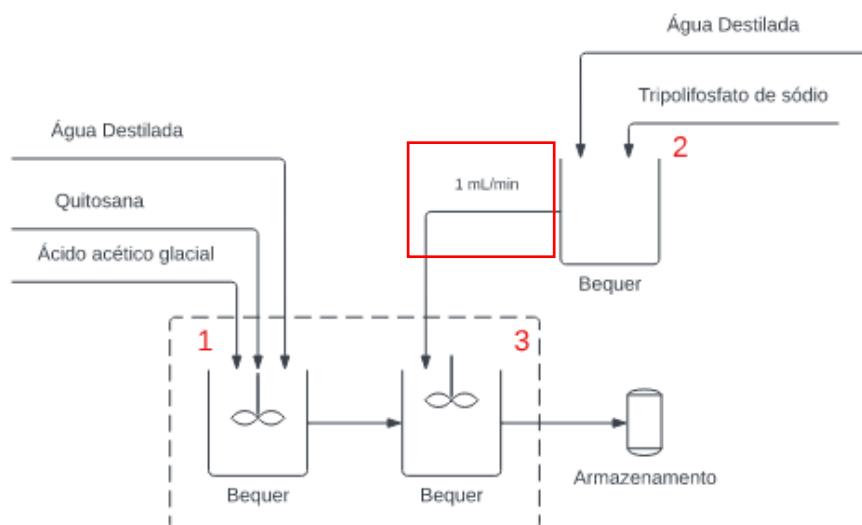
de maceração por moinho de bolas, com pérolas. O processo de maceração com o moinho de bolas não demonstrou uma influência significativa no valor do raio hidrodinâmico da nanoestrutura de ZnO.

No entanto, ao substituir os reagentes de grau de pureza analítico por reagentes de grau de pureza comercial, houve um aumento no raio hidrodinâmico das nanoestruturas, mas que não apresentou uma diferença significativa sendo o teste de tukey com nível de significância de 5 %. Como discutido no trabalho de Shohany,<sup>47</sup> a nanoestrutura de óxido de zinco pode apresentar diversas alterações estruturais e morfológicas devido à presença de impurezas, cada natureza de impureza, presença de tem um outro metal, de um grupo halogênio, ou elementos eletronegativos, podem ocasionar uma interação com o Zn presente no meio, causando formas intermediarias, alterando o raio hidrodinâmico, morfologia e geometria da nanoestrutura de ZnO na sua síntese.

Para os próximos testes, optou-se por prosseguir com a nanoestrutura utilizando reagentes comerciais sem o moinho de bolas, uma vez que esta é a opção que proporciona a maior simplificação e redução do processo.

### 3.1.3 ALTERAÇÕES NA PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURA DE QUITOSANA EM ESCALA LABORATORIAL

As operações alteradas no processo de síntese das nanoestruturas de quitosana estão demarcadas na figura 9.



**Figura 9:** Fluxograma da produção da nanoestrutura de quitosana em laboratório.

A produção da nanoestrutura de quitosana apresenta um potencial gargalo produtivo ao migrar da escala laboratorial para escalas maiores, configurando-se como um risco tecnológico, relacionado à vazão de gotejamento da solução de tripolifosfato de sódio (TPP).

Na escala laboratorial, com a vazão de 1 mL/min, conforme descrito no trabalho da literatura, é viável e condizente com o tamanho da escala de produção. Tal configuração é comum em laboratórios, como nos estudos de Sullivan<sup>48</sup> e Bangun,<sup>49</sup> onde são utilizadas vazões de gotejamento de solução de TPP de 0,1 mL/min e 0,75 mL/min, respectivamente, para a síntese de uma dispersão de nanoestrutura de quitosana. No entanto, ao escalonar esse processo, é percebida a incapacidade de manter esses valores de vazões, devido ao dimensionamento dos equipamentos em uma escala industrial, que são maiores que do a escala laboratorial. Nessas condições, uma produção semanal de 1 tonelada de revestimento nanoestruturado, utilizando 5% m/v de dispersão de nanoestrutura de quitosana, ficaria comprometida, pois a etapa de produção da nanoestrutura demoraria cerca de 7,715 dias, tornando a produção semanal inviável.

No entanto, trabalho de Sawtarie<sup>50</sup> é utilizada uma vazão de 3 mL/min de TPP em seu processo, sintetizando uma dispersão com 200 a 250 nm. Esse resultado indica a possibilidade de utilização de vazões maiores durante esse processo. Entretanto, existe dificuldades em aumentar a vazão de gotejamento de tripolifosfato de sódio, a literatura mostra que a concentração de tripolifosfato de sódio influencia o tamanho e o índice de polidispersividade, aumentando ou diminuindo. Em determinadas condições a relação volumétrica entre a concentração de quitosana e a concentração de tripolifosfato de sódio pode contribuir para formação de agregados de quitosana, com tamanho ultrapassando 1200 nm, ao invés de nanoestruturas.<sup>51-55</sup> Cada método de síntese de nanoestrutura de quitosana, por gotejamento de tripolifosfato de sódio, apresentará uma limitação na vazão de gotejamento de tripolifosfato de sódio (TPP) devido a proporção e a disponibilidade entre o TPP e a quitosana.

Para reduzir significativamente o tempo de produção, optou-se por aumentar a vazão de 1 mL/min para 4 mL/min, reduzindo o tempo de operação para aproximadamente 2 dias. Além disso, foi realizado uma adaptação na mangueira para gotejar a solução de tripolifosfato de sódio. A extremidade final da mangueira, onde a gota iria se formar e seria despejada para a solução de quitosana, foi selada. E perto do orifício selado foram

feitos, com um alfinete, 6 furos pequenos em serie. Dessa maneira, mesmo com o aumento da vazão de tripolifosfato de sódio, as gotas formadas na mangueira antes de cair na solução de quitosana apresenta um volume menor, devido o tamanho do buraco. Maneira que restringe a quantidade de tripolifosfato de sódio disponível por gota para interagir com quitosana, tentando evitar a formação de agregados de quitosana.

O resultado obtido com a vazão de 4 mL/min no gotejamento da solução de tripolifosfato de sódio na solução de quitosana foi uma dispersão de nanoestrutura de quitosana com raio hidrodinâmico de  $35,93 \pm 4,62$  nm, um tamanho menor em comparação com a vazão de 1 mL/min. A dispersão apresentou um raio hidrodinâmico menor em relação ao trabalho de Kelly. Uma possível explicação para esse resultado é o tamanho menor das gotas de TPP formadas, originadas pelos pequenos furos feitos na mangueira por uma agulha fina, e não pela extremidade final. Mesmo com o aumento da vazão do sistema, as gotas de TPP foram menores devido ao diâmetro dos furos, proporcionando uma distribuição mais eficiente de TPP por gota.<sup>56</sup>

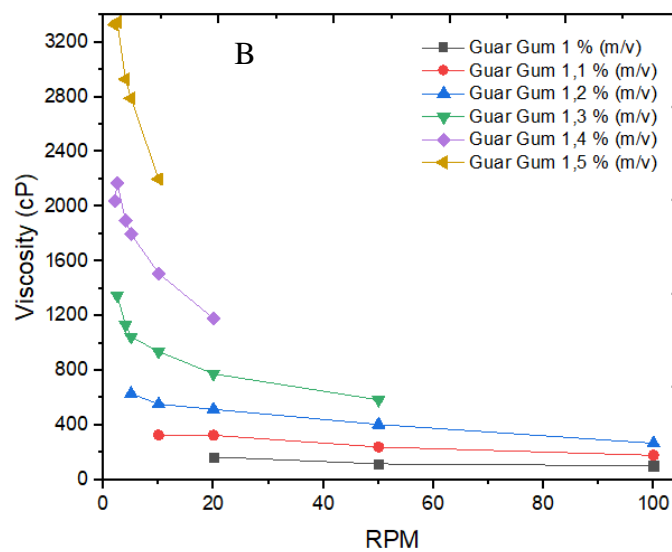
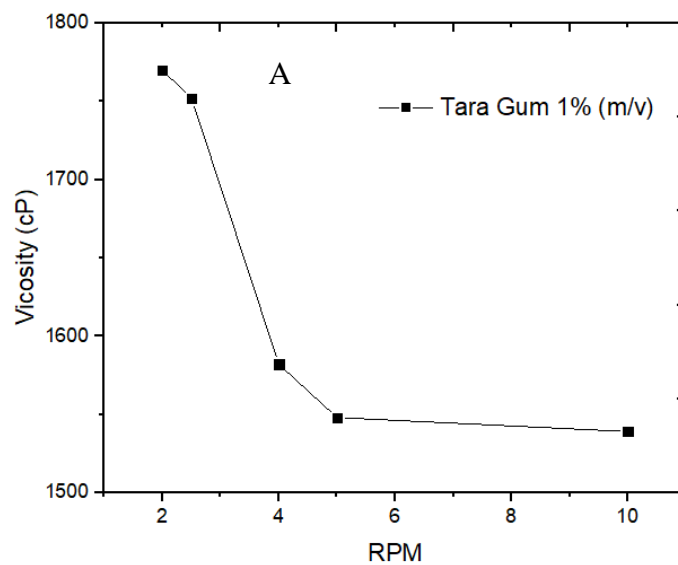
### **3.1.4 ALTERAÇÕES NA PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA EM ESCALA LABORATORIAL**

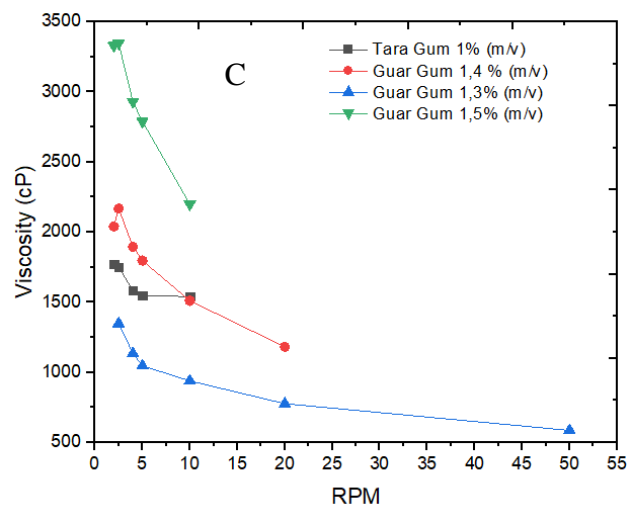
Inicialmente, a goma Tara foi substituída por goma Guar devido ser um insumo importado da Europa, com dificuldade em encontrar a goma Tara em quantidades apropriadas para uma produção em escala piloto ou industrial, sendo comercializado em unidades de 1 kg, e seu preço está atrelado a cotação do euro. Além disso, a goma Guar apresenta um custo de aquisição mais vantajoso, sendo um insumo de produção nacional e comprado em reais, e está disponível em unidades de 25 kg para aquisição.

A goma é fundamental para a tecnologia proposta, na indústria de alimentos, elas são aplicadas para o aumento da viscosidade de molhos e temperos. E são responsáveis pela viscosidade do revestimento enriquecido com nanoestrutura. A viscosidade é uma propriedade importante para o funcionamento do revestimento. Caso o revestimento apresente uma viscosidade abaixo do adequado, ele não vai aderir a fruta e não vai recobrir por completo a fruta, dessa maneira compromete a propriedade de barreira fornecida a fruta. Caso contrário, uma viscosidade acima do adequado, pode comprometer a pulverização dos revestimentos nos picos aspersores nas casas de beneficiamentos de

frutas (packing houses) ao não formar uma “nevoa” de revestimento sobre a esteiras, onde passam as frutas, e forma zonas mortas na esteira.

Embora ambas, Tara e Guar, sejam gomas naturais e biodegradáveis, apresentam comportamentos reológicos distintos, devido apresentarem peso e estrutura molecular diferentes.<sup>57,58</sup> Ao realizar a substituição dos reagentes, foi necessário ajustar a concentração de goma adicionada à solução. Na figura 8, é apresentado o comportamento reológico de um revestimento com 1,0% (m/v) e o comportamento reológico de diferentes concentrações de um revestimento de goma guar com grau de pureza comercial.





**Figura 8:** Comportamento reológico dos revestimentos, sendo “A” um revestimento de goma tara a 1 % (m/v); “B” de diferentes concentrações de soluções de goma guar PA, “C” comparando o comportamento reológico da solução de goma tara com as de goma guar.

Ambas as gomas apresentaram um comportamento pseudoplástico nas concentrações testadas, conforme relatado por Banas,<sup>59</sup> que aumentou a concentração para compensar a menor pureza, mantendo a viscosidade similar. A concentração de goma para a formulação do revestimento foi ajustada de 1 % m/v para 1,5 % m/v.

Outra modificação realizada diz respeito às concentrações de nanoestruturas adicionadas ao revestimento. Ao usar uma concentração de 0,5 % m/v de nano ZnO, observou-se que as frutas revestidas apresentavam pontinhos brancos ao redor, uma característica que inviabilizava a aceitação das frutas nos supermercados. Para resolver esse problema, a concentração de nano ZnO foi reduzida de 0,5 % m/v para 0,3 % m/v. E nessa concentração de nanoestrutura, o ZnO também apresenta atividade antimicrobiana na literatura.

Já em relação à nanoestrutura de quitosana, verificou-se que a concentração de 0,5 % (v/v) estava muito baixa no revestimento. Essa concentração baixa reflete numa menor eficiência de atividade antimicrobiana quando aplicado na fruta, favorecendo a incidência de fungos fitopatogênicos na fruta. Portanto para intensificar os efeitos da nanoestrutura no revestimento, a concentração da dispersão de nanoestrutura de quitosana na solução aquosa de goma guar foi aumentada de 0,5 % v/v para 5 % v/v.

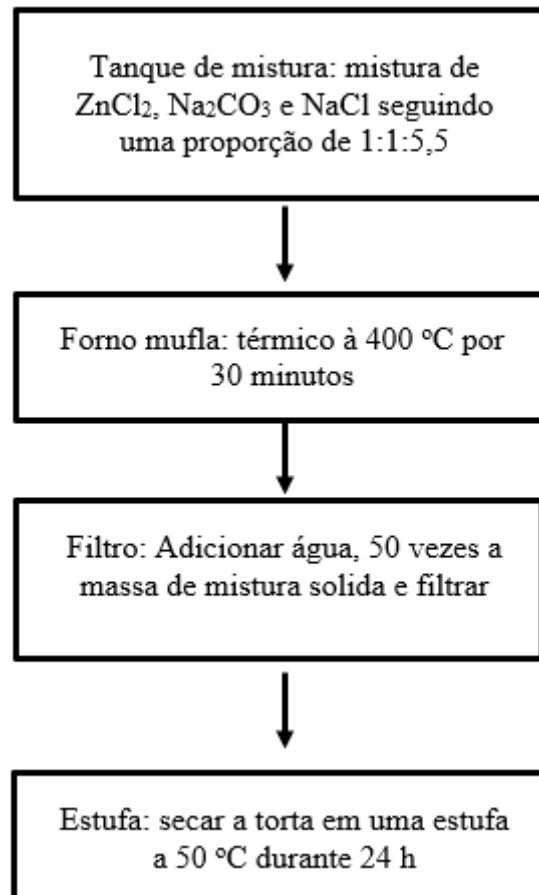
Com as alterações realizadas no processo de manufatura do revestimento enriquecido com nanoestruturas em escala laboratorial, foi elaborado um protótipo do produto. Esse protótipo consiste em um revestimento de goma guar com 1,5 % (m/v) e 0,3 % (m/v) de nanoestrutura de ZnO, cuja síntese foi realizada seguindo o processo alterado desenvolvido no escalonamento. Além disso, o protótipo inclui um revestimento de goma guar com 1,5 % (m/v) e 5 % (v/v) de nanoestrutura de quitosana, também sintetizada conforme o processo alterado desenvolvido no escalonamento.

Esses protótipos foram validados nos experimentos realizados no capítulo 4, atestando assim a eficácia do processo de síntese de nanoestruturas desenvolvido na escala laboratorial. Com uma metodologia de produção mais robusta e econômica em escala laboratorial, torna-se necessário descrever esse processo para uma escala piloto.

### **3.2 ESCALONAMENTO TECNOLÓGICO PARA A ESCALA PILOTO**

#### **3.2.1 PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURA DE ZnO (NSZnO)**

A partir do processo de síntese modificada da produção de nanoestrutura de ZnO durante a etapa de escalonamento em escala laboratorial foi elaborado um fluxograma de etapas, indicando o equipamento e a condição do processo, como demonstrada na figura 9:

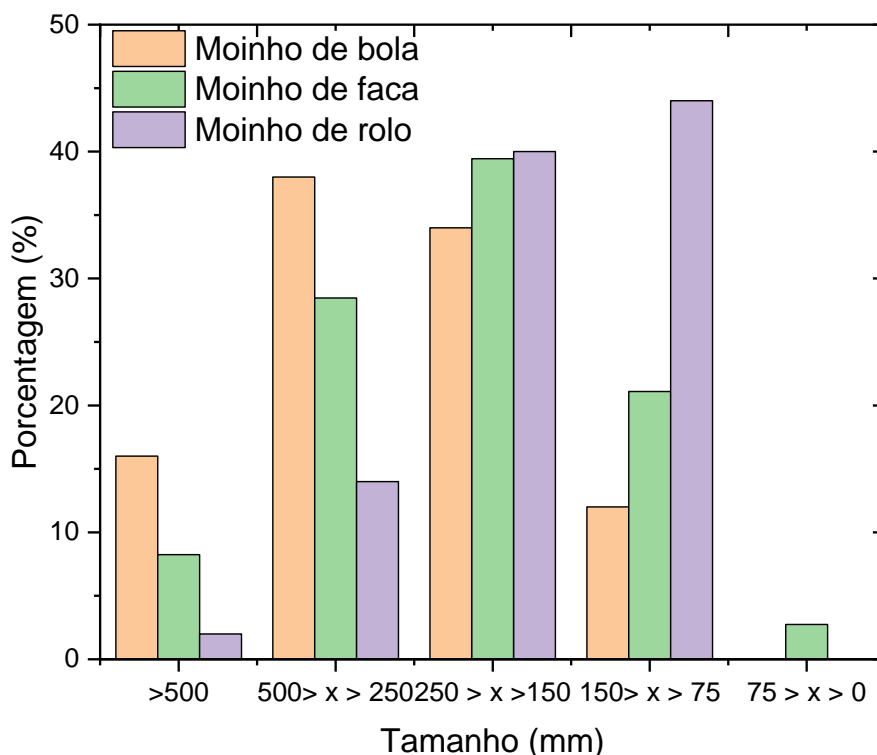


**Figura 9:** Fluxograma operacional da produção de nanoestrutura de ZnO obtida em escala laboratorial.

Durante os testes de validação da aplicação do protótipo nas frutas em ambiente laboratorial e em casa de beneficiamento de frutas, observou-se um possível problema: a granulometria dos grãos de nanoestrutura de ZnO não se dispersou adequadamente durante o processo de produção dos revestimentos enriquecidos com nanoestrutura de ZnO. Esses pequenos grumos poderiam causar entupimentos no sistema de aspersão, mais especificamente, nas casas de beneficiamento de frutas. Isso resultaria em mais paradas no processo industrial para desobstruir as ponteiros dos aspersores. Para minimizar essa possibilidade, foi analisada a adição de um processo de diminuição e padronização de granulometria no processo de produção da nanoestrutura de ZnO.

Foi considerada a utilização de um moinho de bolas, um moinho de rolo e um moinho de facas para a diminuição e padronização da granulometria. As nanoestruturas de ZnO foram processadas, para reduzir o tamanho dos grãos, separadas por peneiras com

diferentes espaçamentos de malhas e pesadas de acordo com suas diferenças de granulometria. A Figura 10 abaixo apresenta a porcentagem dos tamanhos dos grãos de nanoestrutura de ZnO após o processamento.



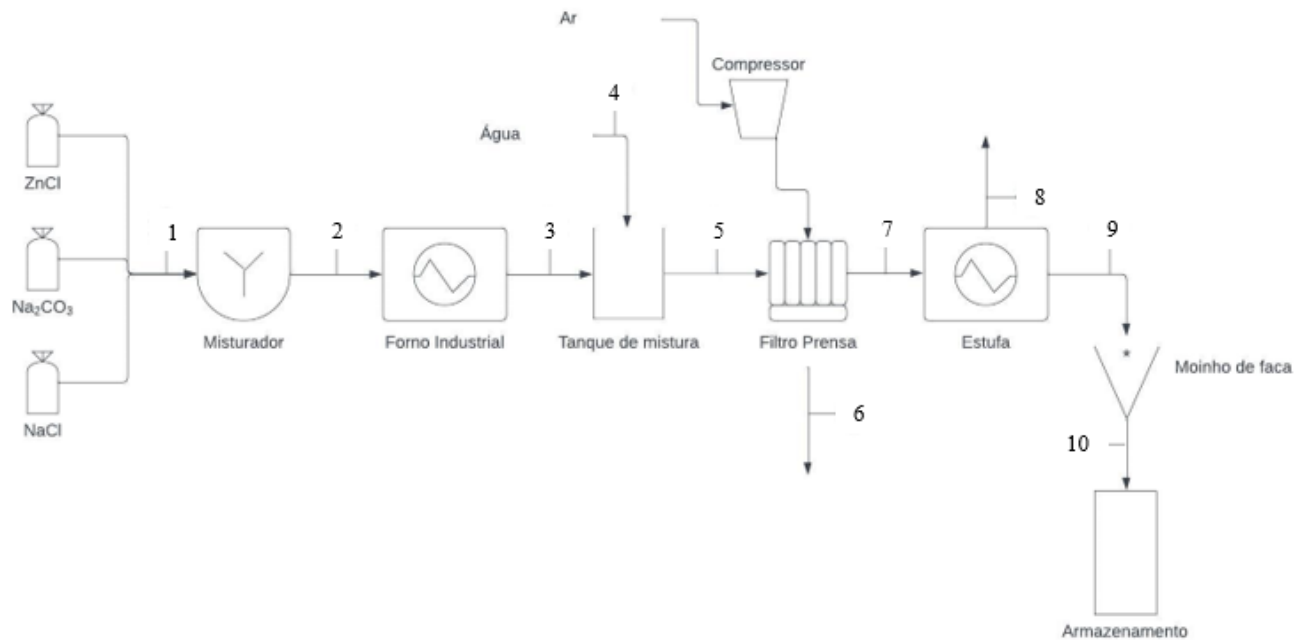
**Figura 10:** Porcentagem dos tamanhos dos grãos de nanoestrutura de ZnO após o processamento.

A nanoestrutura de óxido de zinco apresentou uma granulometria menor quando se utilizou o moinho de rolo e o moinho de facas em comparação com o moinho de bolas. Com o moinho de rolo, 84% da massa da nanoestrutura de ZnO estava presente em um tamanho menor que 250 mm/ $\mu$ m, enquanto o moinho de facas apresentou 63,29% da massa de nanoestrutura de ZnO em um tamanho menor que 250 mm/ $\mu$ m. Para a incorporação na planta piloto, foi escolhido o moinho de facas como o processo de redução do tamanho da nanoestrutura de ZnO após a secagem na estufa. O moinho de facas foi escolhido por ter conseguido diminuir a granulometria da nanoestrutura em um tempo menor em comparação ao moinho de rolo.

Após adicionar uma etapa de refino e padronização, o processo de síntese da nanoestrutura de ZnO está na etapa de planejar a produção em escala piloto. Para planejar o processo em planta piloto seguiu o que foi elaborado no processo de escalonamento em



escala laboratorial, a mistura dos reagentes sólidos, que era realizada em um béquer, na planta piloto será feita em um tanque de mistura; o tratamento térmico, que era realizado em um forno mufla, na planta piloto será executado em um forno industrial; a filtração será realizada na planta piloto utilizando um filtro prensa de 20 placas; a secagem da nanoestrutura ainda será feita em uma estufa. Na figura 11, está o diagrama de fluxo do processo para a produção da nanoestrutura de óxido de zinco na planta piloto e o balanço de massa de cada linha, visando uma produção de 3 kg de nanoestrutura por semana, levando em consideração uma perda de massa de 0,01% entre as etapas produtivas e uma conversão de 90% do  $ZnCl_2$  em  $ZnO$ , taxa de conversão foi obtida a partir do cálculo da diferença da massa utilizada de  $ZnCl_2$  com a massa de  $ZnO$  seco no final do processo.



**Figura 11:** Diagrama de fluxo de processos para a produção da nanoestrutura de óxido de zinco na planta piloto.

**Batelada em  
kg**

Nº da Linha	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Componente	ZnCl <sub>2</sub>	NaCl	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Mistura sólida	Mistura sólida	Água	Dispersão de ZnO	Água residual	ZnO úmido	Água vapor	ZnO seco	ZnO seco

<b>ZnCl<sub>2</sub></b>	3,4	0	0			0		0	0	0	0	0
<b>NaCl</b>	0	18,7	0	25,49	22,487	0	22,4869	0	0	0	0	0
<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	0	0	3,4			0		0	0	0	0	0
<b>Água</b>	0	0	0	0	0	1274,24	1274,24	1273,04	1,07	1,06	0	0
<b>Sais solúveis</b>	0	0	0	0	0	0	0	19,42	0	0	0	0
<b>ZnO</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	3,059	0	3,058	3,057
<b>Total</b>	3,4	18,7	3,4	25,49	22,487	1274,24	1296,7269	1292,46	4,129	1,06	3,058	3,057

**Tabela 3:** Balanço de massa de cada linha na produção da nanoestrutura de ZnO na planta piloto para uma produção de 3 kg por semana.

Ao usar a metodologia descrita, foi obtido uma nanoestrutura de óxido de zinco com raio hidrodinâmico de  $312,05 \pm 82,66$  nm. Um tamanho próximo com da nanoestrutura obtida no escalonamento em escala laboratorial de  $347,7 \pm 177,34$  nm. Resultado que demonstra que essa metodologia operacional para a produção de nanoestrutura de óxido de zinco em escala piloto é válida.

### 3.2.2 PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURA DE QUITOSANA

A única alteração realizada, referente ao processo, na linha de produção da nanoestrutura de quitosana em escala laboratorial, foi o aumento da vazão de gotejamento da solução de tripolifosfato de sódio na solução de quitosana, de 1 mL/min para 4 mL/min. Entretanto, em uma planta piloto a possibilidade de utilização de equipamento maiores, que possibilitam vazões maiores e melhor controle da agitação durante o processo de mistura entre as soluções.

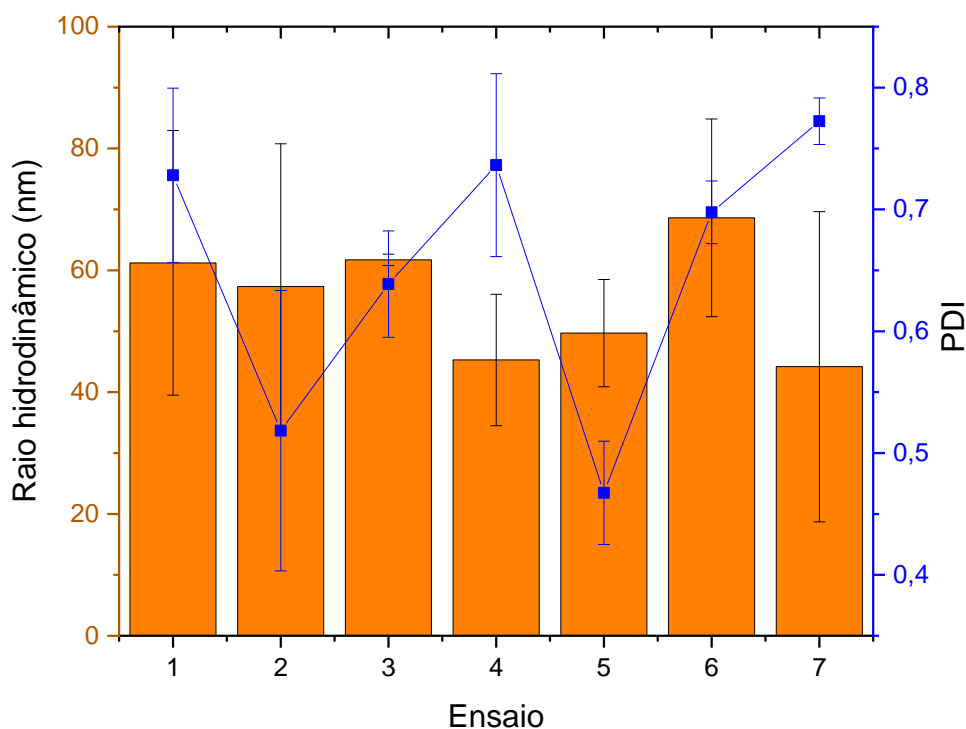
Durante o escalonamento na escala de planta piloto foi realizado um planejamento fatorial, de duas variáveis, para analisar a influência da agitação, de 200 a 600 rpm e a vazão de cotejamento da solução de tripolifosfato de sódio, de 6 a 42 ml/min, no raio hidrodinâmico (nm). No reator foi utilizado 3 mangueiras com adaptações, com a extremidade final selada e com 6 furos pequenos. Na tabela 4, estão as condições de vazão e agitação de cada ensaio realizado.

<b>Ensaio</b>	<b>Variáveis codificadas</b>	<b>Variáveis descodificadas</b>
---------------	------------------------------	---------------------------------

	<i>Agitação (RPM)</i>	<i>Vazão (mL.min<sup>-1</sup>)</i>	<i>Agitação (RPM)</i>	<i>Vazão (mL.min<sup>-1</sup>)</i>
<b>1</b>	-1	-1	200	6
<b>2</b>	-1	1	200	42
<b>3</b>	1	-1	600	6
<b>4</b>	1	1	600	42
<b>5</b>	0	0	400	24
<b>6</b>	0	0	400	24
<b>7</b>	0	0	400	24

**Tabela 4:** Planejamento fatorial, de duas variáveis, agitação, de 200 a 600 rpm e a vazão de cotejamento da solução de tripolifosfato de sódio, de 6 a 42 ml/min.

Os resultados do tamanho dos raios hidrodinâmicos e dos índices de polidispersividade estão apresentados a figura 12:

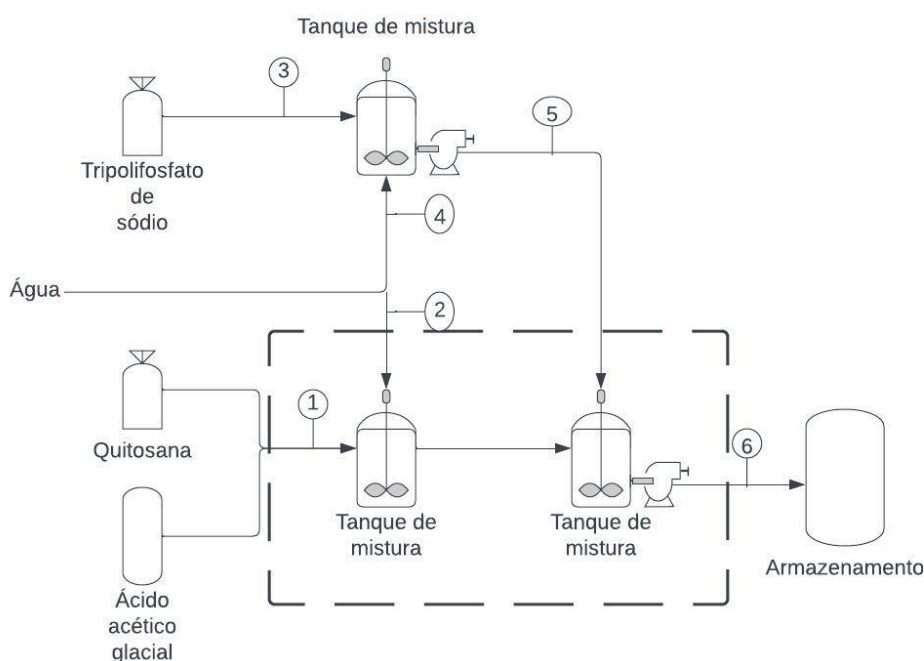


**Figura 12:** Tamanho dos raios hidrodinâmicos e dos índices de polidispersividade das dispersões de nanoestrutura de quitosana.

O teste de Tukey, com um nível de significância de 5%, indicou que não houve diferenças significativas entre as amostras analisadas, sugerindo que não houve uma influência significativa da velocidade de rotação e da velocidade de vazão da solução de tripolifosfato de sódio no tamanho do raio hidrodinâmico da dispersão de nanoestrutura

de quitosana. Os ensaios 4 e 5 apresentaram os menores valores de raio hidrodinâmico, com  $45,28 \pm 10,78$  nm e  $49,69 \pm 8,80$  nm, respectivamente, valores inferiores aos protocolos estipulados por Calvo et al. (1997)<sup>60</sup> e Vimal et al. (2012)<sup>61</sup>. Com o intuito de otimizar o processo de produção da dispersão de nanoestrutura de quitosana, as condições do ensaio 4 foram selecionadas para serem utilizadas na planta piloto, uma vez que são condições que operam com a maior vazão analisada, 42 mL/min, reduzindo o tempo de produção da nanoestrutura em cerca de 10,5 vezes em comparação com a vazão de 4 mL/min.

Na figura 13 está o diagrama de fluxo de processos para a produção da nanoestrutura de quitosana na planta piloto e o balanço de massa de cada linha visando uma produção de 50 kg de nanoestrutura por semana, levando em consideração uma perda de massa de 0,01% entre as etapas produtivas.



**Figura 13:** Diagrama de fluxo de processos para a produção da nanoestrutura de quitosana na planta piloto.

Batelada em kg						
Nº da Linha	1	2	3	4	5	6

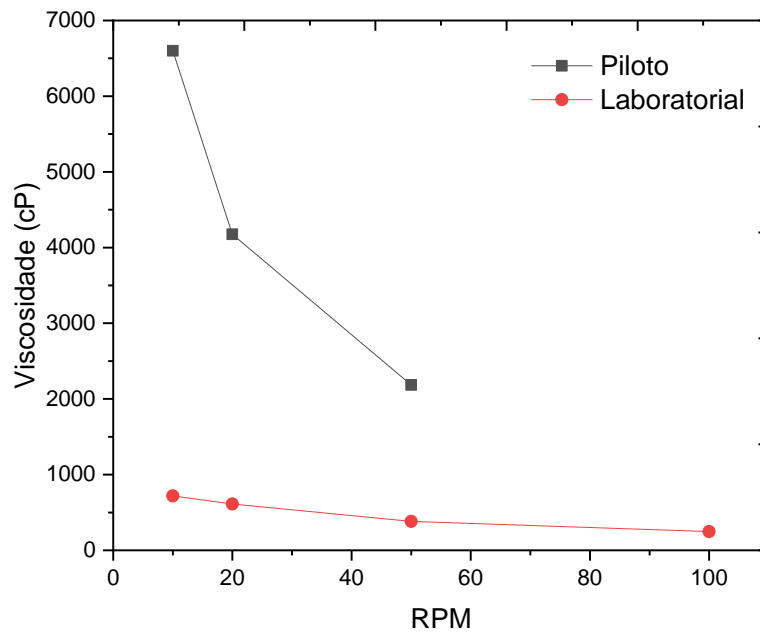
Componente	Quitosana	Ácido acético glacial	Água	Tripolifosfato de sódio	Água	Solução de Tripolifosfato de sódio	Nanoestrutura de quitosana
Água	0	0	38,9	0	11,125	0	0
Quitosana sólida	0,05833	0	0	0	0	0	0
Ácido acético glacial	0	0,175	0	0	0	0	0
Tripolifosfato de sódio	0	0	0	0,02222		0	0
Solução de tripolifosfato de sódio	0	0	0	0	0	11,12	0
Nanoestrutura de quitosana	0	0	0	0	0	0	50,014
<b>Total</b>	<b>0,05833</b>	<b>0,175</b>	<b>38,9</b>	<b>0,02222</b>	<b>11,125</b>	<b>11,12</b>	<b>50,014</b>

**Tabela 5:** Balanço de massa de cada linha na produção da nanoestrutura de quitosana na planta piloto para uma produção de 50 kg por semana.

### 3.2.3 PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA

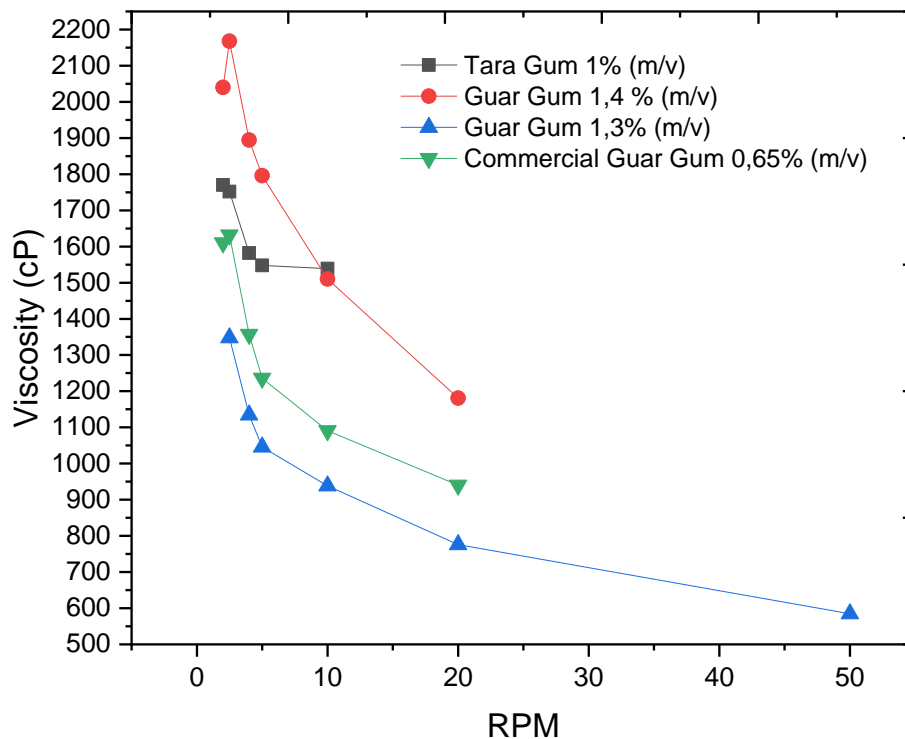
No processo de ampliação de escala, laboratorial para piloto, ao adquirir um lote de insumo de goma guar comercial de 25 kg. Ao usar na concentração de 1,5 % (m/v) de goma em água, a viscosidade da solução estava maior, superior a 6000 cP, em relação do revestimento feito durante o escalonamento na escala laboratorial, 800 cP aproximadamente. Tal comportamento é devido modo e método que a goma foi processada em sua fabricação, que pode mudar o tamanho das cadeias de polissacarídeos presente na goma. Para padronizar a viscosidade do revestimento enriquecido com nanoestruturas, ao adquirir um novo lote de goma guar deve realizar teste de viscosidade para reajustar a concentração de goma no revestimento. Na figura 14 está o comportamento reológico de uma solução de goma guar 1,5 % (m/v) utilizando a goma guar comercial do lote de 25 Kg e o comportamento reológico de uma solução de goma guar 1,5 % (m/v) utilizando a goma guar utilizando no escalonamento em escala

laboratorial, ambos os casos utilizando o spriler s61 para realizar as leituras de viscosidade.



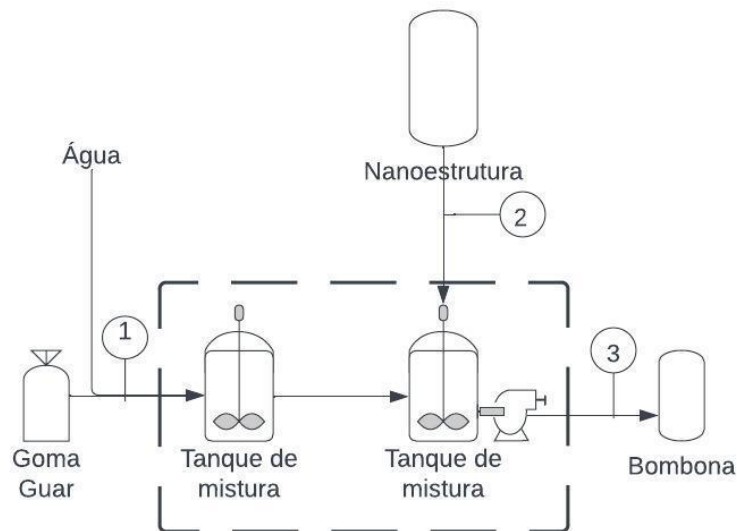
**Figura 14:** Comportamento reológico de soluções de goma guar 1,5 % (m/v) de lotes diferentes.

A concentração de goma guar foi reajustada para apresentar uma viscosidade adequada para aplicação do revestimento nas casas de beneficiamento de frutas. Para a goma guar comercial do lote de 25 Kg foi determinado a utilização em uma concentração de 0,65 % (m/v). A figura 15 está o comportamento reológico de uma solução de goma guar comercial a 0,65 % (m/v) em comparação a outras soluções de goma guar utilizado como parâmetros em etapas anteriores.



**Figura 15:** Comportamento reológico de uma solução de goma guar comercial a 0,65 % (m/v) em comparação a outras soluções de goma.

Na figura 16 está o diagrama de fluxo de processos para a produção do revestimento de goma guar enriquecido com nanoestrutura de óxido de zinco ou nanoestrutura de quitosana na planta piloto e o balanço de massa de cada linha visando uma produção de 1000 Kg de nanoestrutura por semana, levando em consideração uma perda de massa de 0,01% entre as etapas produtivas e uma conversão. Para esse balanceamento foi utilizado a concentração de goma guar de 0,65 % (m/v), ao adquirir um novo lote do insumo, deve ser realizado um teste com a goma adquirida para reajustar a concentração no revestimento, com o objetivo manter uma viscosidade adequada no produto final.



**Figura 16:** Diagrama de fluxo de processos para a produção do revestimento enriquecido com nanoestrutura na planta piloto.

Batelada em kg				
Nº da Linha	1	2	3	
Componente	Água	Goma Guar	Nanoestrutura de ZnO	Revestimento
Água	990,5	0	0	0
Goma Guar	0	6,5	0	0
Nanoestrutura de ZnO	0	0	3	0
Revestimento	0	0	0	1000
<b>Total</b>	990,5	6,5	3	1000

**Tabela 6:** Balanço de massa de cada linha na produção revestimento enriquecido com nanoestrutura de ZnO na planta piloto para uma produção de 1000 kg por semana.

Batelada em kg				
N da Linha	1	2	3	
Componente	Água	Goma Guar	Nanoestrutura de Quitosana	Revestimento
Água	943,5	0	0	0
Goma Guar	0	6,5	0	0
Nanoestrutura de Quitosana	0	0	50	0
Revestimento	0	0	0	1000



<b>Total</b>	943,5	6,5	50	1000
--------------	-------	-----	----	------

**Tabela 7:** Balanço de massa de cada linha na produção revestimento enriquecido com nanoestrutura de quitosana na planta piloto para uma produção de 1000 kg por semana.

#### 4. CONCLUSÕES

Durante o escalonamento em escala laboratorial, as sínteses da nanoestrutura de ZnO e da nanoestrutura de quitosana foram simplificadas. Essas alterações resultaram em uma redução nos custos associados aos reagentes químicos e à aquisição de equipamentos. Os protocolos adotados proporcionaram uma nanoestrutura de ZnO com raio hidrodinâmico de  $271,47 \pm 106,06$  nm e geraram uma nano dispersão com raio hidrodinâmico de  $35,93 \pm 4,62$  nm. Esses tamanhos de nanoestruturas validaram o processo de síntese em escala laboratorial. Quanto ao revestimento, houve substituição da goma Tara pela goma Guar, além de ajustes nas concentrações de nanoestrutura, passando de 0,5% (m/v) para 0,3% (m/v) de nanoestrutura de ZnO e de 0,5% (v/v) para 5% (v/v) de nanoestrutura de quitosana.

No escalonamento em planta piloto, o processo produtivo considerou o protocolo desenvolvido na etapa do escalonamento em escala laboratorial, adicionando as operações utilizadas nas indústrias. No escalonamento da produção da nanoestrutura de ZnO em escala piloto, a operação unitária de moinho de facas foi adicionada como um refinamento final da nanoestrutura. A nanoestrutura de ZnO sintetizada na planta piloto apresentou um raio hidrodinâmico de  $312,05 \pm 82,66$  nm. No escalonamento da produção da nanoestrutura de quitosana em escala piloto, foi realizado um planejamento experimental fatorial, variando a agitação e a vazão de gotejamento da solução de tripolifosfato. Com o aumento da vazão para 42 mL/min, a nanoestrutura de quitosana sintetizada na planta piloto apresentou um raio hidrodinâmico de  $45,28 \pm 10,78$  nm. Esses tamanhos de nanoestruturas validaram o processo de síntese na planta piloto planejada e desenvolvida.

## **CAPÍTULO 4 – APLICAÇÃO DO PROTÓTIPO DO REVESTIMENTO DE GOMA GUAR ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA DE ZnO E COM NANOESTRUTURA DE QUITOSANA EM AMBIENTE LABORATORIAL E EM EMPRESA**

### **RESUMO**

O revestimento de nanoestrutura de ZnO, apresentou melhor conservação da coloração amarelada e uma pele mais lisa nos mamões em comparação ao grupo controle, tanto em condições laboratoriais quanto na aplicação real na empresa UGBP. Houve uma redução significativa na área de lesões por fitopatógenos e na perda diária de massa, sendo 11,56% para o ZnO versus 16,60% para o controle. Na linha destinada ao mercado europeu, os mamões revestidos exibiram coloração amarelo/esverdeado, menos perda de massa (13,85% para o ZnO versus 15,60% para o controle) e uma taxa de contaminação menor (40% para o ZnO versus 80% para o controle). No mercado dos EUA, os resultados foram semelhantes, com redução da perda de massa (10,77% para o ZnO versus 13,37% para o controle) e diminuição da taxa de contaminação por fitopatógenos (40% para o ZnO versus 60% para o controle). Utilizando o protótipo com nanoquitosana, observou-se uma redução semelhante na perda de massa (10,25% em relação a 16,60% do controle) e taxa de contaminação (50% em comparação com 80% do controle) em laboratório. Na empresa UGBP, as reduções foram mantidas, indicando que tanto o nano ZnO quanto a nanoquitosana têm potencial como tratamento pós-colheita, minimizando perda de massa, conservando a aparência e reduzindo contaminações.

### **1. INTRODUÇÃO**

O Brasil, destacando-se como um dos principais protagonistas da agroindústria mundial, fundamenta sua economia na produção e exportação de commodities. Na fruticultura, ocupa a terceira posição como maior produtor global, beneficiando-se da vasta extensão territorial que proporciona condições propícias para o cultivo de mais de 28 espécies distintas de frutas. Com mais de 2,3 milhões de hectares dedicados à produção de frutas, o país lidera o cultivo de laranja, banana, açaí, entre outras, com colheitas que ultrapassam 40 milhões de toneladas anuais.

Entretanto, o setor enfrenta desafios significativos relacionados ao desperdício e à perda de alimentos, um problema global que afeta de 10% a 30% da produção alimentar mundial. No Brasil, com uma capacidade anual superior a 260 milhões de toneladas de alimentos, estima-se uma perda de cerca de 26 milhões de toneladas, sendo as etapas de manuseio e transporte responsáveis por metade desse total. Nos estabelecimentos de comercialização, o desperdício diário de hortaliças e frutas varia entre 15% e 50%, sendo o setor de Frutas, Legumes e Verduras (FLV) o mais afetado, resultando em um desperdício anual de R\$ 1,3 bilhão nos supermercados brasileiros. Itens como tomate, banana, laranja e hortaliças folhosas figuram entre os mais desperdiçados.<sup>5,8</sup>

As perdas no setor de frutas estão relacionadas a diversos fatores, como falta de higiene nas etapas produtivas, desconhecimento do processo, condições climáticas desfavoráveis, uso inadequado de equipamentos, danos mecânicos, temperatura inadequada de refrigeração, contaminações microbiológicas, infestações de insetos e taxas elevadas de amadurecimento. Diante desse cenário, buscar soluções eficazes para reduzir o desperdício e melhorar a gestão do processo torna-se imperativo para garantir a sustentabilidade desse importante segmento da economia brasileira.<sup>12</sup>

E esses problemas incentivam a procura por melhores soluções. A interseção entre a nanotecnologia e o setor de embalagens destaca-se como um campo de grande relevância, especialmente no desenvolvimento de embalagens ativas e inteligentes. No âmbito das embalagens ativas, cujas propriedades impactam diretamente os produtos, destacam-se características como atividade antimicrobiana e aprimoramento das resistências mecânicas e térmicas dos alimentos. Por outro lado, as embalagens inteligentes desempenham o papel de fornecer informações valiosas sobre os produtos, utilizando sensores para monitorar conservação e temperatura interna.<sup>15,18</sup>

Num cenário pós-colheita, a busca por embalagens ativas que estendam a vida útil dos frutos, preservando suas características naturais por mais tempo, ganha destaque. Nesse contexto, nanoestruturas com potencial antimicrobiano, como ZnO e quitosana, tornam-se objetos de estudo para sua incorporação em embalagens destinadas aos frutos. Este cenário promissor representa uma abordagem inovadora na busca por soluções eficazes e sustentáveis no segmento de embalagens, alinhando-se às demandas crescentes por tecnologias mais avançadas e ecologicamente conscientes.<sup>19,62</sup>

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1 ANÁLISE DE MUDANÇA DE COLORAÇÃO DAS FRUTAS

A análise da mudança de cor método da Associação dos Químicos Analíticos Oficiais (AOAC), número 935.14 e 992.24.<sup>63</sup> Calculando os índices  $L^*$  (variação de luminosidade),  $C^*$  (croma) e  $h^*$  (ângulo de matiz) utilizando as equações abaixo:

$$h = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$
$$C = ((a)^2 + (b)^2)^{\frac{1}{2}}$$

Os parâmetros  $a$  (variação da coloração na escala entre o verde e o vermelho),  $b$  (variação da coloração na escala entre o azul e o amarelo), indicado na figura 17, são coletadas através de fotos tiradas dos. Para a análise das imagens é utilizado um editor de imagens, todas as frutas foram analisadas tomando 5 pontos distintos para a coleta dos valores de  $L$ ,  $a$ ,  $b$ .

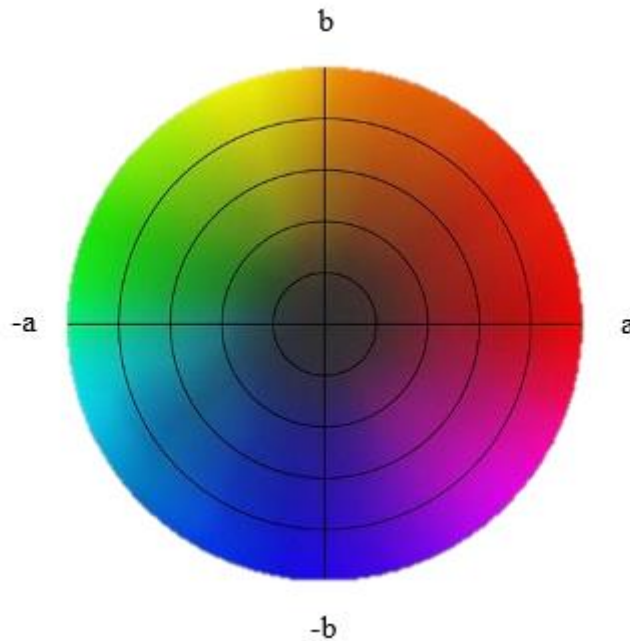


Figura 17: Diagrama de cores do gráfico CIELAB

### 2.2 ANÁLISE DE PERDA DE MASSA DAS FRUTAS

A análise da perda de massa foi realizada com o auxílio de uma balança. A perda de massa foi determinada a partir da diferença de massa de cada mamão em relação à sua massa inicial (dia 0) em comparação à massa do dia do armazenamento correspondente.

### **2.3 ANÁLISE DA TAXA DE CONTAMINAÇÃO DAS FRUTAS POR AGENTES FITOPATOGENICOS**

A análise da taxa de contaminação das frutas foi realizada tirando fotos das frutas durante os dias do experimento. No último dia foram contabilizados a taxa de contaminação das frutas em relação ao número total de frutas no grupo analisado. Também foi mensurado, com o auxílio de um programa de edição de imagem, a taxa da área aproximada das lesões em relação a área total da fruta.

### **2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Para análise estatística foi realizado o teste Tukey ao nível de 5% de significância, com auxílio do software de estatísticas.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 APLICAÇÃO DO PROTOTIPO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA EM MAMÕES EM AMBIENTE LABORATORIAL**

Para certificar que as alterações realizadas na obtenção das nanoestruturas e na produção dos revestimentos enriquecidos com nanoestruturas não comprometeram a qualidade final do produto, foi realizado um teste, em laboratório, dos protótipos dos revestimentos em mamões formosa. Os mamões foram separados em 3 grupos: controle, frutas que não foram revestidos; as frutas que foram revestidos com o protótipo do revestimento de goma guar enriquecido com nanoestrutura de ZnO e frutas não foram revestidos; as frutas que foram revestidos com o protótipo do revestimento de goma guar enriquecido com nanoestrutura de quitosana. Os três grupos foram mantidos a céu aberto e na temperatura ambiente. Na tabela 8, mostra as fotos de um mamão representando de cada grupo de estudo ao decorrer dos dias.

<b>Dias</b>	<b>Controle</b>	<b>Nanoestrutura de ZnO</b>	<b>Nanoestrutura de Quitosana</b>
-------------	-----------------	-----------------------------	-----------------------------------

0



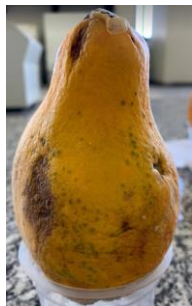
2



4



6



8



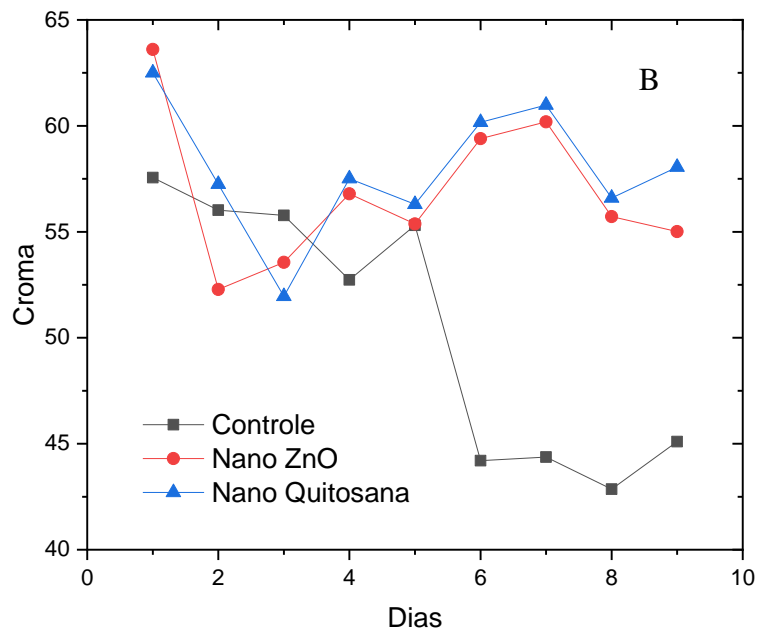
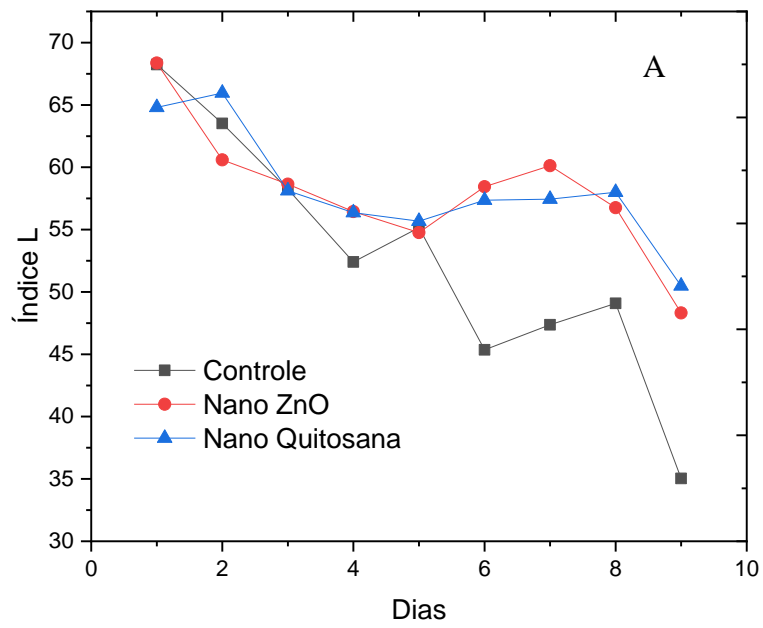
9



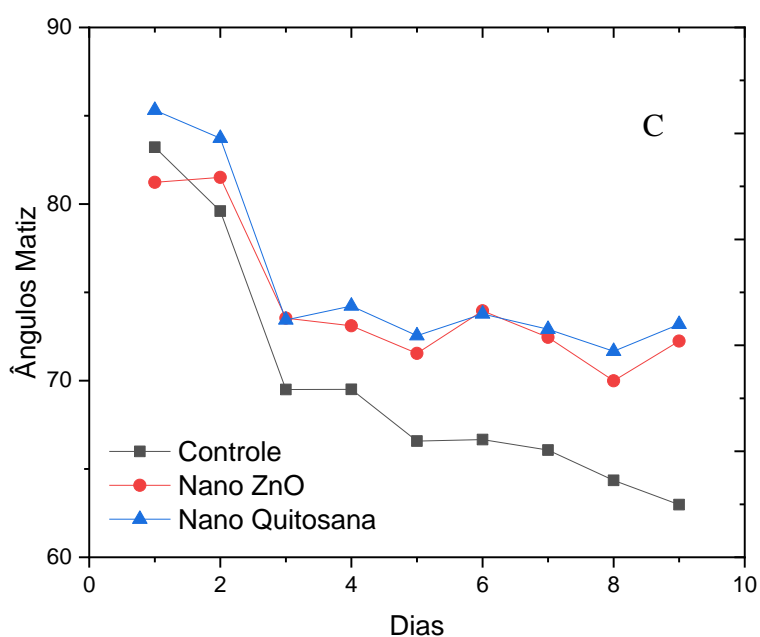
**Tabela 8:** Imagens dos mamões com e sem revestimento de goma guar incorporado com nanoestruturas de ZnO e quitosana ao longo de 9 dias.

Os mamões recobertos com os protótipos dos revestimentos enriquecidos com nanoestruturas apresentaram, após 9 dias, um aspecto de pele do fruto mais lisa, maior brilho em relação ao controle, e menor incidência de agentes fitopatogênicos, retardou o avanço de lesões presentes anteriormente nas frutas. Já as frutas do controle apresentaram uma pele com grau de enrugação elevado, chegando à 1/3 do fruto, e apresentaram uma quantidade elevada de manchas marrons e pretas, ambos aspectos ocasionados aos desenvolvimentos de agentes fitopatogênicos nos mamões.

Os frutos que foram recobertos com os protótipos dos revestimentos enriquecidos com nanoestruturas conseguiram manter uma coloração amarelada com leves pontos esverdeados por maior tempo em relação ao controle, sem nenhum tipo de revestimento. Os mamões do controle também apresentaram uma coloração alaranjada mais intensa no final do experimento. Obteve-se os índices  $L^*$  (variação de luminosidade),  $C^*$  (croma) e  $h^*$  (ângulo de matiz), os resultados de  $L^*$ ,  $C^*$  e  $h^*$  estão apresentado na figura 18 onde, o gráfico A esta a variação de  $L^*$ , o gráfico B a variação de  $C^*$  e o gráfico C a variação de  $h^*$ .



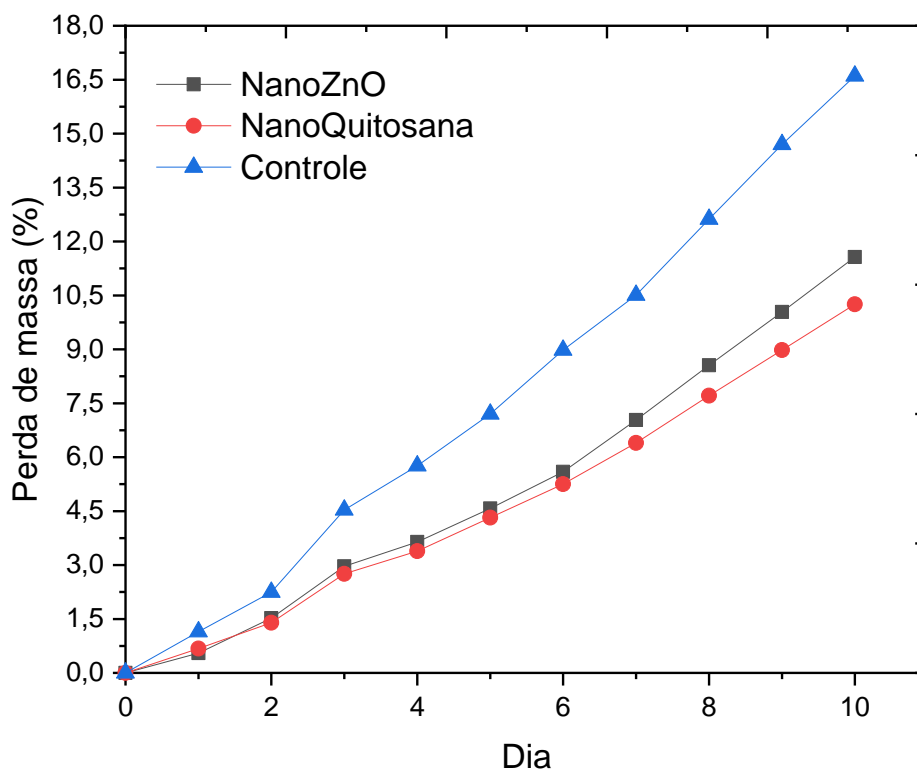




**Figura 18:** o gráfico A esta a variação de  $L^*$ , o gráfico B a variação de  $C^*$  e o gráfico C a variação de  $h^*$  dos mamões analisados.

Os resultados evidenciaram um decréscimo em todos os parâmetros ao longo do tempo. No entanto, destaca-se que o ensaio controle exibiu as maiores discrepâncias nos valores dos parâmetros, quando comparados aos valores do início (dia 0) e ao final da análise (dia 8). O ensaio controle registrou uma redução de 48,69% no valor de  $L^*$ , 21,64% em  $C^*$  e 24,44% em  $h^*$ . Já os frutos cobertos com o protótipo do revestimento de goma guar com nanoestrutura de ZnO apresentaram uma diminuição de 29,31% em  $L^*$ , 13,51% em  $C^*$  e 11,06% em  $h^*$ . Os mamões revestidos com o protótipo do revestimento de goma guar com nanoestrutura de quitosana exibiram uma diminuição de 22,09% em  $L^*$ , 7,12% em  $C^*$  e 14,20% em  $h^*$ . Esses resultados corroboram com as imagens apresentadas na Tabela 8, na qual os mamões revestidos evidenciaram uma alteração de cor e brilho menor quando comparados aos mamões não revestidos do ensaio controle, conseguindo preservar a coloração por um período mais longo.

Os mamões foram pesados durante 10 dias de experimento, os valores anotados foram utilizados para o cálculo de perda de massa (%). A figura 19 está o gráfico de perda de massa dos mamões durante o experimento.



**Figura 20:** Gráfico de perda de massa (%) dos mamões por dias de experimento.

O grupo controle registrou uma perda de massa de 16,60% no décimo dia, enquanto os frutos revestidos com a goma guar contendo nanoestrutura de ZnO apresentaram uma redução de 11,56%, e aqueles revestidos com a goma guar contendo nanoestruturas de quitosana obtiveram uma diminuição de 10,25% em massa. A equação da reta para o grupo controle foi  $y = 1,6686x - 0,6797$ , com  $R^2 = 0,9941$ ; para os mamões revestidos com a goma guar contendo nanoestrutura de ZnO, a equação foi  $y = 1,1541x - 0,6758$ , com  $R^2 = 0,9863$ ; e para os frutos revestidos com a goma guar contendo nanoestrutura de quitosana, a equação foi  $y = 1,0232x - 0,4679$ , com  $R^2 = 0,9913$ . A análise dos coeficientes angulares das equações de reta sugere que o grupo controle teve a maior perda de massa diária (1,6686% ao dia), enquanto o revestimento de nanoestrutura de ZnO teve uma perda de 1,1541% ao dia, e o revestimento com nanoestrutura de quitosana teve uma perda de 1,0232% ao dia. Esses resultados evidenciam a eficácia da utilização de uma solução de biopolímeros para criar uma estrutura de barreira ao redor do fruto.

O teste do produto formulado em laboratório, com as modificações na produção e na síntese das nanoestruturas, demonstrou efeitos benéficos na preservação dos mamões, reduzindo a taxa de perda de massa, minimizando o deslocamento da coloração para o vermelho das frutas e diminuindo a incidência e o crescimento de agentes fitopatogênicos. Isso valida as modificações realizadas nos processos em nível laboratorial.

### **3.2 APLICAÇÃO DO PROTOTIPO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA EM MAMÕES EM EMPRESA.**

Os protótipos dos revestimentos de goma guar enriquecidos com nanoestruturas foram também testados na empresa UGBP, localizada no Espírito Santo - ES. A UGBP é uma empresa que realiza o enriquecimento de mamões locais para exportação. Possui duas linhas de produção, uma destinada à exportação de mamões para os EUA e outra para o bloco europeu. Atualmente, os mamões destinados ao mercado americano não recebem nenhum revestimento final, passando apenas por um tratamento térmico com um banho de água aquecida, com o objetivo de reduzir a contaminação por ovos de mosca. Já os mamões destinados à Europa são revestidos com cera de carnaúba, um produto comum no mercado utilizado para conferir brilho à fruta.

Os revestimentos de goma guar enriquecidos com nanoestruturas foram testados em ambos os cenários. Na avaliação dos revestimentos na linha de produção destinada aos mamões que serão exportados para a Europa, os mamões foram divididos em quatro grupos distintos, cada um contendo 10 mamões: um grupo sem nenhum revestimento (controle), um grupo com cera de carnaúba, um grupo com revestimento de goma guar enriquecido com nanoestruturas de ZnO e um grupo com revestimentos de goma guar enriquecido com nanoestrutura de quitosana.

Os mamões foram analisados durante 16 dias via imagem e perda de massa. Na tabela 9, é mostrado os mamões com o decorrer dos dias de teste e na figura 24 é mostrado a porcentagem de perda de massa de cada grupo com o passar dos dias.

Dias	Controle	Carnaúba	ZnO	Quitosana
------	----------	----------	-----	-----------

---

0



2



5



7



9



12



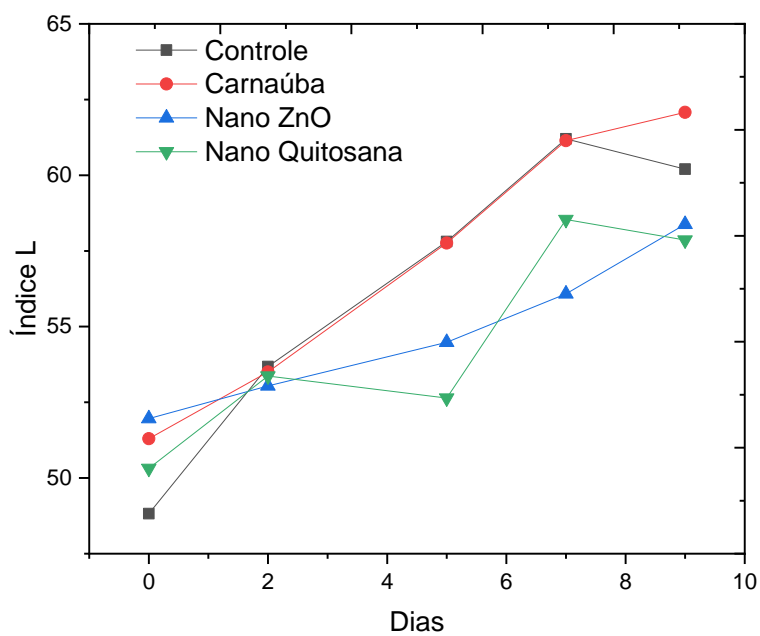
14

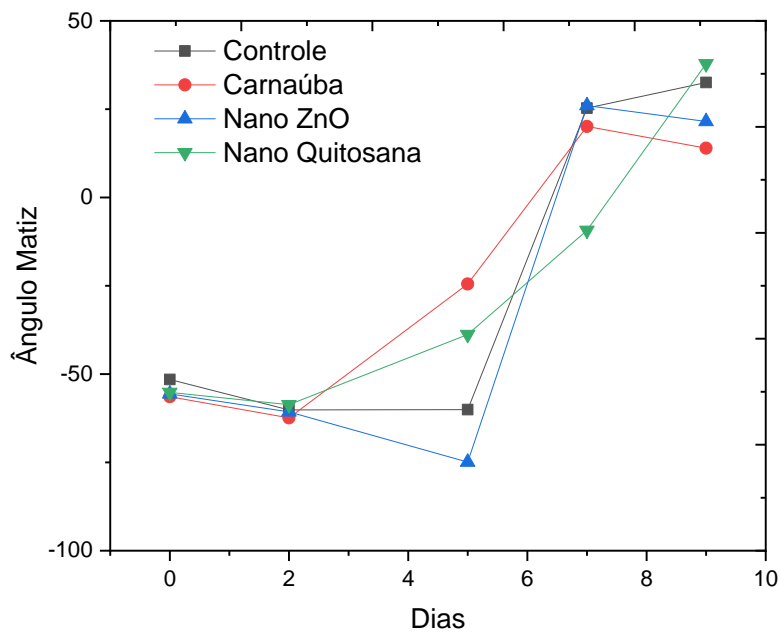
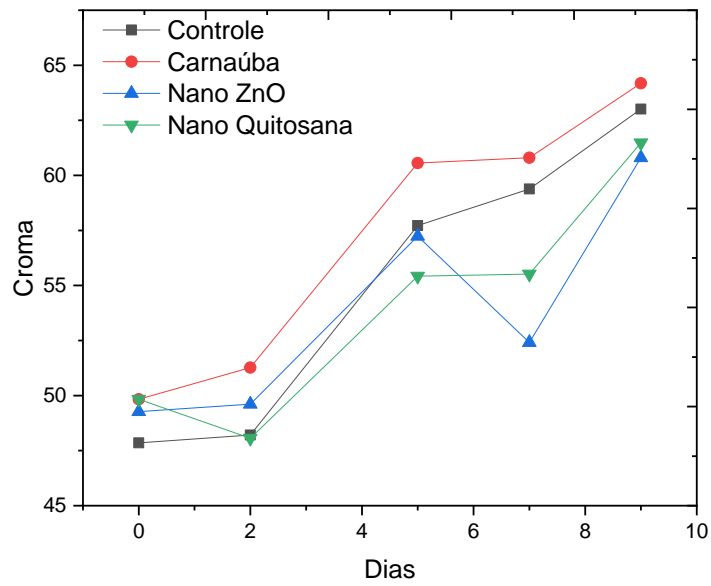




**Tabela 9:** Imagens dos mamões com revestimento de goma guar incorporado com nanoestruturas de ZnO e quitosana e com cera controle, cera de carnaúba testados na empresa UGBP.

Na figura 22 temos as variações dos índices  $L^*$  (variação de luminosidade),  $C^*$  (croma) e  $h^*$  (ângulo de matiz).



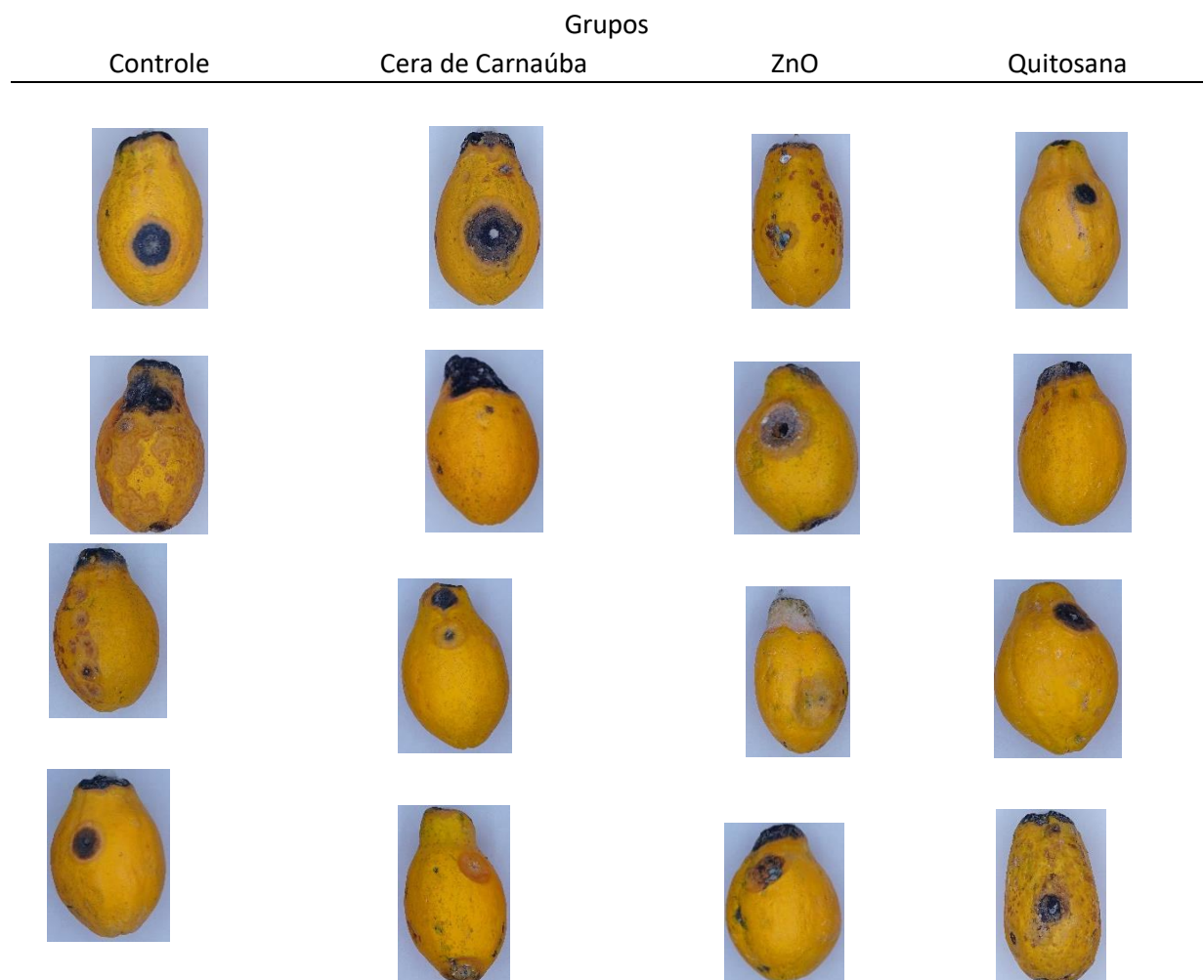


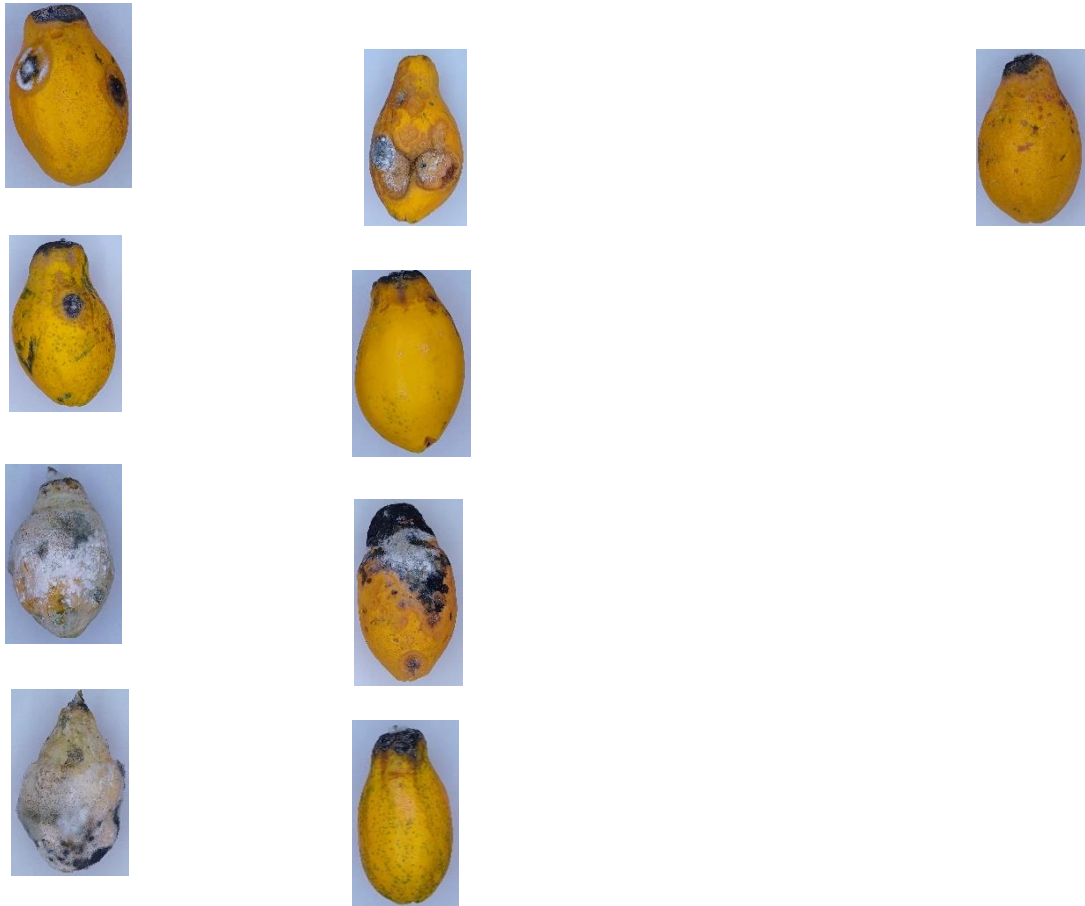
**Figura 22:** variações dos índices  $L^*$  (variação de luminosidade),  $C^*$  (croma) e  $h^*$  (ângulo de matiz).

As fotos demonstram a coloração dos mamões do grupo controle e dos mamões revestidos com cera de carnaúba apresentaram um deslocamento para a coloração vermelha em comparação com os mamões revestidos com os revestimentos de goma guar enriquecidos com nanoestruturas, estes últimos mantiveram uma cor tendendo ao verde. Todos os

grupos demonstraram um amarelamento das frutas. Assim, ao final do experimento, os mamões revestidos com os revestimentos de goma guar enriquecidos com nanoestruturas apresentaram uma coloração média tendendo mais para um amarelado/esverdeado, enquanto os mamões do grupo controle e os mamões revestidos com cera de carnaúba tiveram uma média de cor amarelada/alaranjada. Isso indica um atraso na mudança de coloração ao utilizar os revestimentos de goma guar nanoestruturados.

No entanto, o teste de Tukey indicou que não houve diferença significativa entre os valores de coloração entre os grupos analisados. Isso pode ser decorrente do amadurecimento irregular da fruta e da não ciência das condições intenda de cada fruta, onde o mesmo mamão apresentava diferentes colorações, que aumenta os valores dos desvios padrões, apesar da variação na coloração visível nas imagens. Na tabela 10 estão os mamões do experimento no dia 14, com a quantidade de frutas contaminadas por agentes fitopatogênicos e a intensidade da infecção ocasionada em cada mamão.





**Tabela 10:** Fotos dos mamões contaminados por agentes fitopatogênicos no dia 14 do experimento.

Utilizando o revestimento de goma guar enriquecido com nanoestruturas para recobrir os mamões, foi observado um menor índice de contaminação nas frutas, utilizando a nanoestrutura de óxido de zinco (NSZnO) 4 dos 10, 40 %, mamões apresentaram contaminação no dia 14, e utilizando a nanoestrutura de quitosana foram contaminados 5 dos 10 mamões, 50 %. Enquanto os mamões que foram tratados com a cera de carnaúba, 8 de 10, 80 %, frutas infectadas, valor igual aos mamões do controle. O grupo tratado com o revestimento de goma guar enriquecido com nanoestruturas quando infectados por agentes fitopatogênicos, eles apresentaram feridas/danos menores em relação as frutas contaminadas do controle e tratado com cera de carnaúba. E ao mesurar as áreas das lesões das frutas digitalmente, com um programa de edição de imagem, foi possível calcular porcentagem de área danificada de cada grupo, exposto na tabela 11.

---

**Grupo:**

**Área lesionada (%):**

---



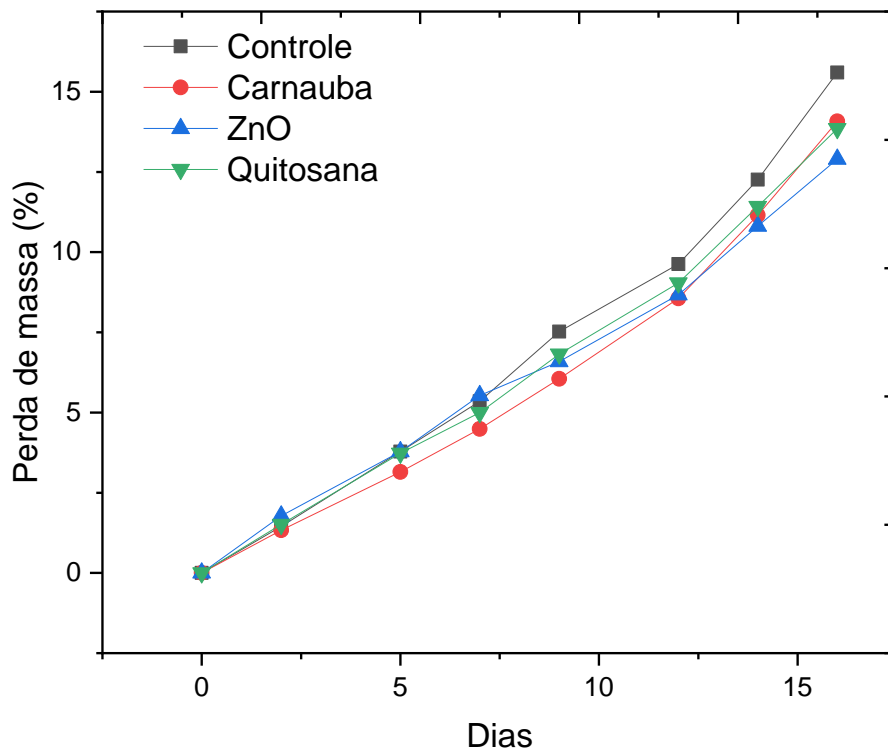
Controle	50,25 ± 37,62
Cera Carnaúba	35,65 ± 20,98
Revestimento de ZnO	21,89 ± 2,75
Revestimento de Quitosana	12,55 ± 7,15

---

**Tabela 11:** Porcentagem de área danificada de cada grupo.

As frutas revestidas com os protótipos dos revestimentos enriquecidos com nanoestruturas tiveram uma área de lesão de  $21,89 \pm 2,75$  %, revestimento com nanoestruturas de ZnO, e  $12,55 \pm 7,15$  %, revestimento com nanoestruturas de quitosana, números menores que o controle e da cera de carnaúba. A diminuição da taxa de contaminação juntamente com redução da área das lesões ocasionada pelos fitopatógenos é corroborada com o que é apresentado na literatura, uma atividade antimicrobiana da nanoestrutura de ZnO e da nanoestrutura de quitosana, sendo utilizada como bacteriostática/fungistático ou bactericida/fungicida ao depender da concentração de nanoestrutura utilizada, tempo de exposição e espécie analisada.<sup>24,27,45,64</sup>

Na figura 23 está exposto a perda de massa dos mamões com o decorrer dos dias de experimento.





















**Figura 23:** Gráfico de perda de massa (%) dos mamões destinados a Europa por dias testados na empresa UGBP.

Os mamões que passaram por algum tratamento, tiveram uma menor de perda de massa por dia. O controle apresentou uma perda de massa total de  $15,60 \pm 2,06$  % enquanto os mamões que foram tratados com a cera de carnaúba apresentaram uma perda de massa total de  $13,13 \pm 3,17$  % e os mamões que foram revestidos com os protótipos de revestimento enriquecido com nanoestruturas apresentaram uma perda de massa total de  $13,85 \pm 3,00$  %, com a nanoestrutura de ZnO, e  $13,18 \pm 3,67$  %, com a nanoestrutura de quitosana. O teste de tucker indicou que não houve diferenças significativas entre os grupos no dia 16.

Na avaliação dos revestimentos na linha de produção, que destina os mamões para os EUA, os mamões foram separados em 3 grupos distintos, cada um com 10 mamões, sendo 1 grupo que passou pelo tratamento térmico (controle), 1 grupo com revestimento de goma guar enriquecido com nanoestruturas de ZnO e 1 grupo com revestimentos de goma guar enriquecido com nanoestrutura de quitosana.

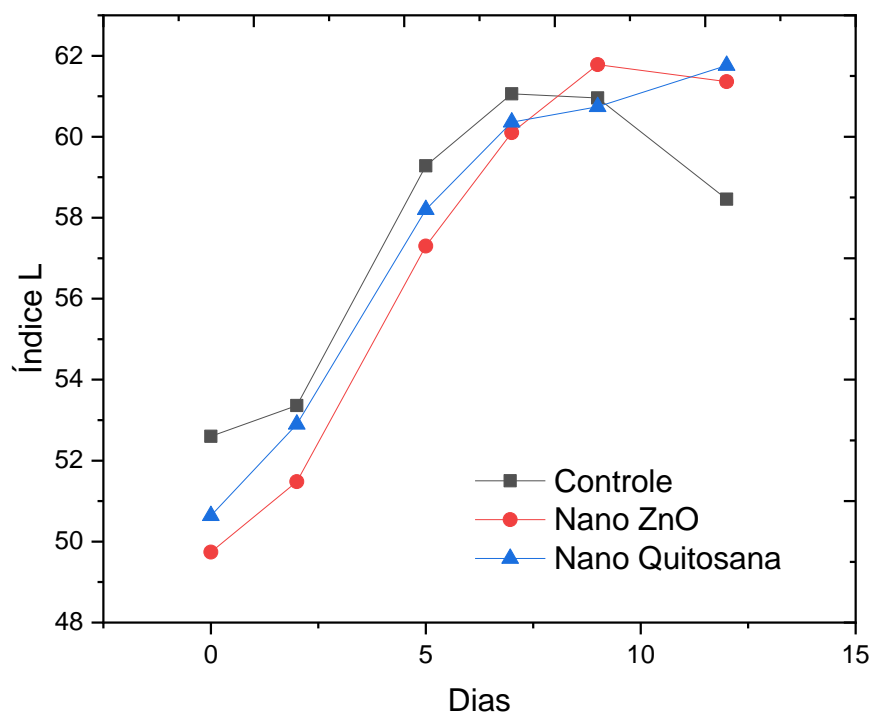
Os mamões foram analisados durante 16 dias via imagem e perda de massa. Na tabela 12, é mostrado os mamões com o decorrer dos dias de teste e na figura 25 é mostrado a porcentagem de perda de massa de cada grupo com o passar dos dias.

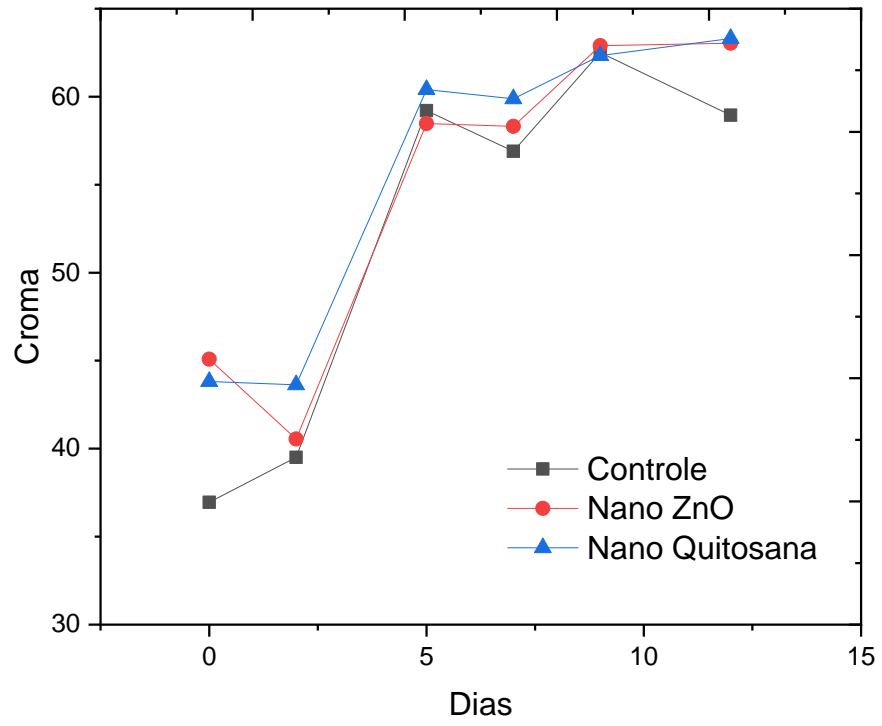
Dias	Controle	ZnO	Quitosana
0			
2			
5			
7			
9			
12			

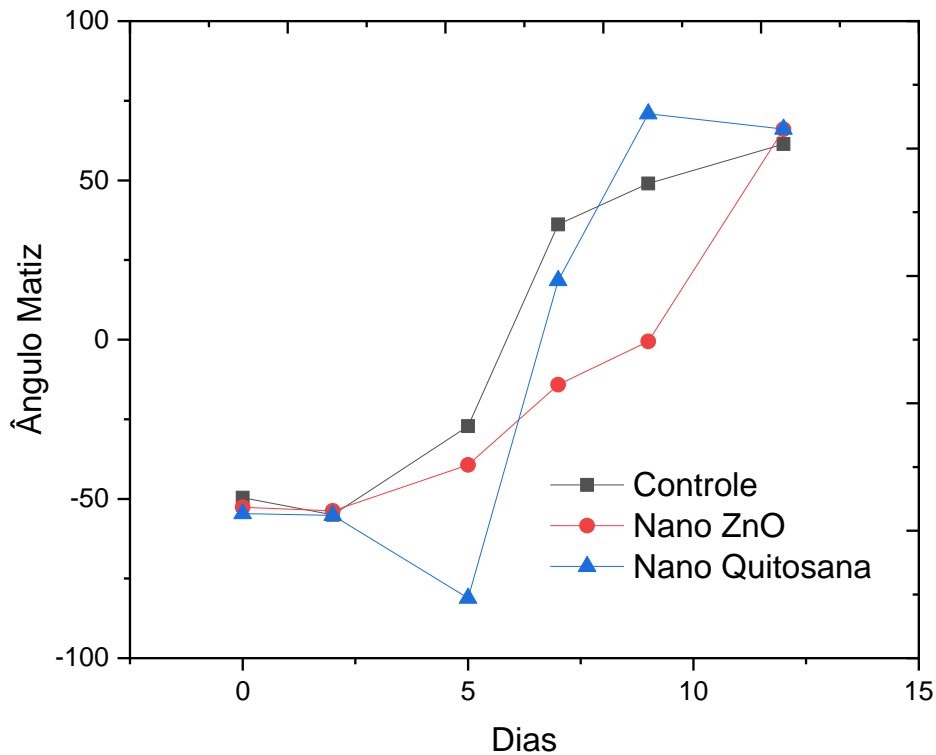


**Tabela 12:** Imagens dos mamões que passaram pelo tratamento térmico (controle) e dos mamões revestidos com o revestimento de goma guar incorporado com nanoestruturas de ZnO e quitosana na empresa UGBP.

E a figura 25 estão apresentados as variações dos valores numéricos dos índices:  $L^*$ , croma e ângulos matiz:







**Figura 25:** variações dos índices L\* (variação de luminosidade), C\* (croma) e h\* (ângulo de matiz).

As fotos revelam um deslocamento da coloração para um o amarelamento, em todos os grupos analisados. O grupo de mamões do controle teve um deslocamento maior na coloração avermelhamento em comparação com os grupos de mamões que passaram pelo tratamento com os protótipos de revestimento enriquecida com nanoestruturas. No dia 12, o grupo controle registrou uma transição da coloração amarelado para o alaranjado. Desse modo, ao final do experimento, os mamões revestidos com os protótipos de revestimentos de goma guar enriquecidos com nanoestruturas apresentaram uma coloração média mais inclinada para o amarelado, enquanto os mamões do controle uma média de cor amarelada/alaranjada.

Na tabela 13 estão os mamões do experimento no dia 16, mostrando a quantidade de frutas contaminadas por agentes fitopatogênicos e a intensidade da infecção ocasionada em cada mamão.

Grupos		
Controle	ZnO	Quitosana



---

**Tabela 13:** Fotos dos mamões contaminados por agentes fitopatogênicos no dia 14 do experimento.

De maneira semelhante ao teste realizado na linha de produção destinada à exportação de mamões para o bloco europeu, ao utilizar o revestimento de goma guar enriquecido com nanoestruturas para cobrir os mamões, observou-se um menor índice de contaminação nas frutas. Ao empregar a nanoestrutura de óxido de zinco (NSZnO), 4 dos 10 mamões, 40 % apresentaram contaminação no dia 16, enquanto utilizando a nanoestrutura de quitosana, 5 dos 10, 50 %, mamões foram contaminados. Em contraste, os mamões do grupo controle apresentaram 6 de 10, 60 %, frutas infectadas. O grupo tratado com o

revestimento de goma guar enriquecido com nanoestruturas, quando infectado por agentes fitopatogênicos, exibiu feridas/danos menores em comparação com as frutas contaminadas do controle, destacando-se os mamões revestidos com a solução de goma guar com nanoestrutura de ZnO. E ao mesurar as áreas das lesões das frutas digitalmente, com um programa de edição de imagem, foi possível calcular porcentagem de área danificada de cada grupo, exposto na tabela 14.

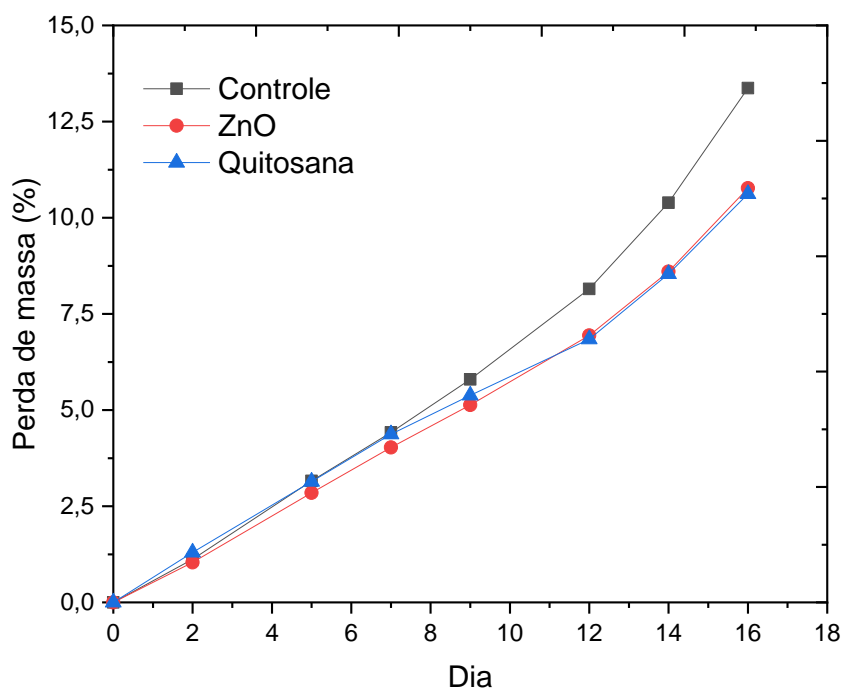
<b>Grupo:</b>	<b>Área lesionada (%):</b>
Controle	44,76 ± 25,48
Revestimento de ZnO	13,47 ± 8,71
Revestimento de Quitosana	28,23 ± 12,09

**Tabela 14:** Porcentagem de área danificada de cada grupo.

As frutas revestidas com os protótipos dos revestimentos enriquecidos com nanoestruturas tiveram uma área de lesão de 13,47 ± 8,71 %, revestimento com nanoestruturas de ZnO, e 28,23 ± 12,09 %, revestimento com nanoestruturas de quitosana, números menores que o controle. Esses resultados estão em consonância com os resultados obtidos nos testes realizados na linha de produção destinada à exportação de mamões para o bloco europeu.

Na figura 26 está exposto a perda de massa dos mamões com o decorrer dos dias de experimento.





**Figura 26:** Gráfico de perda de massa (%) dos mamões da linha destinada para EUA por dias testados na empresa UGBP.

Os mamões revestidos com os protótipos de revestimentos de goma guar enriquecidos com nanoestruturas, observou-se uma menor perda de massa em comparação ao controle. Os mamões do grupo controle apresentaram uma perda de massa de  $13,37 \pm 4,28\%$  ao final do experimento, enquanto os mamões revestidos com os revestimentos enriquecidos com nanoestruturas registraram uma perda de massa total de  $10,77 \pm 1,41\%$  para óxido de zinco e  $10,62 \pm 2,58\%$  para quitosana.

Ambos os experimentos, conduzidos em laboratório e em ambiente real, demonstraram que o protótipo dos revestimentos de goma guar enriquecidos com nanoestrutura de óxido de zinco ou quitosana, confeccionados com as adaptações realizadas no processo produtivo, apresentaram resultados promissores. Esses resultados incluem a redução na perda de massa nas frutas, a desaceleração do processo de amadurecimento do mamão, a diminuição nos índices de contaminação por agentes fitopatogênicos e, quando ocorre a contaminação dos mamões, a redução na velocidade de desenvolvimento do patógeno. Isso válida o conceito de Mínimo Produto Viável (MPV).

#### 4. CONCLUSÕES

Os experimentos conduzidos com o revestimento enriquecido com nanoestrutura de ZnO demonstraram que, em condições laboratoriais, os mamões que passaram pela aplicação do protótipo apresentaram uma conservação superior da coloração amarelada e uma pele mais lisa em comparação com o grupo controle. Além disso, observou-se uma menor área de lesões causadas por fitopatógenos e uma redução na perda de massa diária, com valores de 16,60% para o controle e 11,56% para o ZnO.

Quando o protótipo foi aplicado na empresa UGBP, na linha destinada ao mercado europeu, os mamões revestidos com o nanoestruturado exibiram uma coloração visual de amarelo/esverdeado, enquanto o grupo controle apresentou uma tonalidade predominantemente amarela. Adicionalmente, houve uma diminuição na perda de massa em relação ao controle, que registrou  $15,60 \pm 2,06\%$ , enquanto o ZnO apresentou  $13,85 \pm 3,00\%$ . A taxa de contaminação por fitopatógenos também diminuiu, passando de 80% no controle para 40% no grupo revestido.

No que se refere à linha destinada ao mercado dos EUA, os mamões revestidos com o protótipo contendo nano ZnO apresentaram novamente uma redução na perda de massa, de  $13,37 \pm 4,28\%$  para  $10,77 \pm 1,41\%$ , em comparação com o controle. A taxa de contaminação por agentes fitopatogênicos também foi reduzida de 60% para 40% em relação ao controle.

## **CAPÍTULO 5 – ANÁLISE E MODELAGEM FINANCEIRA DA PRODUÇÃO DE REVESTIMENTO DE GOMA GUAR ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA DE ZnO E COM NANOESTRUTURA DE QUITOSANA EM ESCALA PILOTO**

### **RESUMO**

No processo de estabelecimento e execução das operações para a produção de revestimentos com nanoestruturas, o custo estimado é de aproximadamente R\$ 113.252,476. Ao considerar uma fatia de 20% do mercado de exportação de manga, mamão, limão e goiaba (SOM), totalizando 85,5 mil toneladas de frutas, um segmento endereçável que abrange as exportações brasileiras dessas frutas (SAM), resultando em um mercado de 427.944 mil toneladas (TAM) relacionado ao consumo de frutas in natura. A substituição da goma Tara pela goma Guar gerou melhorias financeiras significativas. No cenário com goma Tara, o Valor Presente Líquido (VPL) em um ano foi de -R\$ 121.762,33, superando o investimento inicial, com uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de -16%. Já com goma Guar, o VPL foi de -R\$ 56.568,00 e TIR de 7%. Dependendo do lote de goma Guar utilizado, os valores podem atingir VPL de -R\$ 48.121,05 e TIR de 9%. Com suporte de espaços de inovação tecnológica e fundos não reembolsáveis, em um ano de produção, o Valor Presente Líquido pode chegar a R\$ 191.345,62, com uma TIR de 662%.

### **1. INTRODUÇÃO**

A nanotecnologia emerge como uma poderosa força transformadora, penetrando em diversos setores industriais, como construção, medicina, automotiva, eletrônicos, agrícola, cosmética, alimentícia, têxtil e esportiva. Notavelmente, a indústria de construção lidera, abrigando 618 empresas globalmente que comercializam produtos nanotecnológicos. No contexto brasileiro, o país ocupa a 12ª posição com 110 empresas atuando nesse campo, correspondendo a 2,02% do total mundial. Apesar do destaque, a maioria das empresas brasileiras está concentrada no segmento de cosméticos, com apenas 7 e 2 empresas nos setores agrícola e alimentício, respectivamente. <sup>24,33,34</sup>

Contudo, a implementação bem-sucedida da nanotecnologia requer uma análise econômico-financeira abrangente, considerando fatores como o tamanho total, endereçável e alcançável do mercado. A modelagem financeira se revela crucial para

expor os riscos econômicos associados a essa inovação, oferecendo insights valiosos tanto para empreendedores tecnológicos quanto para potenciais investidores.<sup>36</sup>

A incerteza sobre a escalabilidade do protótipo e a perspectiva de retorno a curto prazo relativamente baixo, quando comparado ao risco envolvido, levanta desafios significativos. Surge, então, a problemática conhecida como "vale da morte", um período crítico em que pesquisadores enfrentam dificuldades para investir na tecnologia, enquanto o setor privado mostra relutância, resultando em recursos escassos para as startups. Estimativas indicam que apenas 45% a 55% das startups sobrevivem nos primeiros 5 anos de atividade na Europa e nos EUA, destacando a importância de superar esse desafio para a prosperidade das iniciativas inovadoras.<sup>65</sup>

## **2. EXPERIMENTAL**

### **2.1 ANÁLISE DE TAMANHO DE MERCADO**

O tamanho do mercado foi estimado através de um levantamento bibliográfico, examinando dados sobre o mercado de frutas no Brasil, identificando tendências e revisando estudos anteriores. Foi definido um escopo para pesquisa, focando nas principais frutas, selecionando variáveis relevantes e estabelecendo um período temporal para a análise. Com essas definições, foi coletado dados por meio de informações secundárias de órgãos governamentais, associações do setor e pesquisas de mercado. Para dessa maneira que fosse possível levantar um cálculo do TAM (Total Available Market) – tamanho do mercado total; cálculo do SAM (Serviceable Available Market) - O mercado endereçável e o cálculo do SOM (Serviceable Obtainable Market) – O mercado alcançável.

### **2.2 ANÁLISE FINANCEIRA DA PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA DE ZnO E NANOESTRUTURA DE QUITOSANA**

A análise financeira da produção foi estimada a partir do processo desenvolvido no capítulo 3. Foram considerados os gastos com a aquisição de equipamentos, despesas com energia (calculadas a partir de um balanço de energia da planta piloto), custos com insumos (considerando o tamanho da produção estimada no capítulo 3), juntamente com despesas administrativas.

## **2.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO VALOR DA PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURAS**

A análise de sensibilidade do valor da produção foi conduzida mediante a formulação de diversos cenários econômicos, variando as quantidades e os tipos de insumos empregados na produção dos revestimentos enriquecidos com nanoestruturas. Essas variações de cenários resultaram em diferentes fluxos de caixa. Utilizando esses fluxos de caixa, juntamente com uma taxa de desconto de 20%, foram calculados o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), métricas amplamente empregadas na análise financeira para avaliar a atratividade de um investimento.

O VPL representa a diferença entre o valor presente dos fluxos de caixa esperados do investimento e o valor inicial do investimento. A TIR, por sua vez, é a taxa de retorno que iguala o valor presente dos fluxos de caixa futuros ao valor do investimento inicial (VPL = 0). Esses cálculos foram realizados por meio das fórmulas apropriadas.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+i)^t}$$

Sendo:

FCt = fluxo de caixa líquido gerado em período t;

i = taxa de desconto;

t = tempo do fluxo de caixa;

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

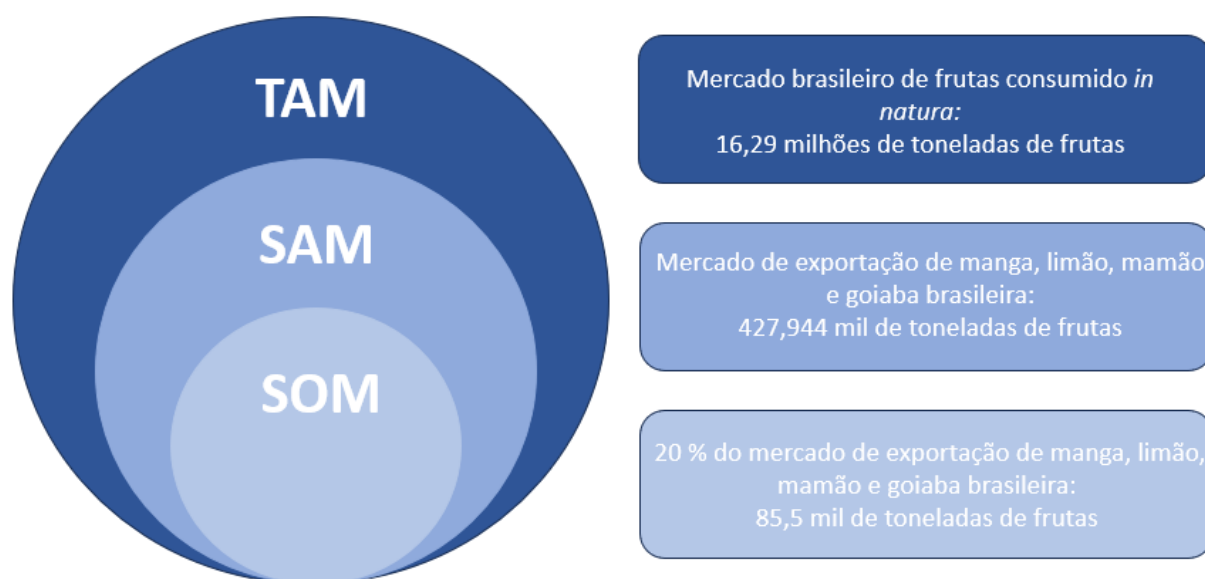
### **3.1 TAMANHO DO MERCADO**

O Brasil possui uma produção estimada de frutas de 40 milhões de toneladas por ano. O revestimento de goma guar enriquecido com nanoestruturas tem a capacidade de cobrir 1 tonelada de frutas por quilograma de revestimento quando aplicado por aspersão. Para atender a 1% da produção de frutas nacionais, seria necessária uma produção mensal de 33.333,33 toneladas de revestimento, uma quantidade inviável em uma escala piloto. O tamanho do mercado, conhecido como TAM (Total Available Market), corresponderia à produção nacional de frutas, a maioria destinada ao consumo in natura e não à indústria

de sucos ou derivados. Frutas como laranja, açaí e banana não fazem parte do tamanho de mercado do revestimento de goma guar enriquecido com nanoestruturas. O TAM seria de 16,29 milhões de toneladas de frutas, o que exigiria uma produção mensal de 1.358,88 toneladas de revestimento para atender à demanda.

Frutas como manga, goiaba e mamão são interessantes para a aplicação do revestimento, pois são frutos sensíveis que amadurecem rapidamente e são relevantes na exportação brasileira. O limão também é interessante devido à relevância da cultura na exportação. O mercado de frutas destinadas à exportação é promissor, pois são frutas com maior valor agregado, que demandam cuidados especiais durante o transporte prolongado e não têm nenhum produto que ofereça as características da tecnologia proposta.

O mercado endereçável (SAM - Serviceable Available Market) baseia-se no número de exportações brasileiras de frutas, como manga, mamão, limão e goiaba, resultando em um mercado de 427.944 mil toneladas de frutas, correspondendo a 41,79% das exportações brasileiras. Seria necessária uma produção mensal de 36 toneladas de revestimento de goma guar enriquecido com nanoestruturas. Devido aos principais exportadores estarem localizados nas regiões sudeste e nordeste, uma planta localizada no estado de Minas Gerais poderia atender rapidamente a essas regiões. O mercado alcançável (SOM - Serviceable Obtainable Market) da produção do revestimento em escala piloto é de 20% do setor de exportação de manga, mamão, limão e goiaba, totalizando 85,5 mil toneladas de frutas. Isso exigiria uma produção mensal de 8 toneladas de revestimento, uma tonelada semanal para cada tipo de revestimento, como mostrado na figura 16.



**Figura 16:** Esquema do mercado total, mercado endereçado e do mercado alcançável do produto revestimento de goma guar enriquecido com nanoestruturas.

### 3.2 ANÁLISE FINANCEIRA DA PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO DE GOMA GUAR ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA DE ZnO E NANOESTRUTURA DE QUITOSANA EM PLANTA PILOTO

Para a análise financeira da planta piloto levará em consideração: gastos de obtenção de equipamento, gastos de insumos, gasto de energia dos equipamentos, despesa de funcionário e admirativo.

Na tabela 11 abaixo estão listados os equipamentos e as quantidades necessário para a produção de 4 t mensais de cada revestimento.

Equipamento	Quantidade	Valor do equipamento (R\$)	Valor total por equipamento (R\$)
Tanque de mistura PP 100 L	1	5699,50	5699,5
Tanque de mistura PP 500 L	1	6100,00	6100,00
Tanque de mistura PP 1000L	2	9934,00	19868,00
Forno elétrico 170 L	1	20464,95	20464,95

Filtro prensa 20 placas 400mm x 400mm	1	32024,65	32024,65
Secador de bandeja 200L	1	7200,00	7200
Bomba peristáltica	1	5256,00	5256
Moinho de faca	1	6900,00	6.900,00
<b>Total</b>			<b>103513,1</b>

**Tabela 11:** Lista de equipamentos com os seus valores dos equipamentos para a produção de 8 toneladas mensais de revestimento.

O gasto energético é obtido através do balanço de energia da produção multiplicado pela tarifa de R\$0,64 kWh. O balanço energético para a produção dos revestimentos enriquecidos com nanoestruturas na planta piloto para uma produção de 8 t totais mensais, se dará através do gasto energético dos equipamentos utilizados durante o processo de produção. Uma vez que, para a produção dos revestimentos não tem necessidade de uma utilização de caldeira/vapor para aquecimento de alguma etapa.

Para a realização do balanço energético, foi listado todos os equipamentos utilizados na produção das nanoestruturas ou na produção do revestimento, a quantidades de horas de trabalho de cada equipamento e a potência dos equipamentos. A listagem dos equipamentos juntamente com o gasto energético total mensal (sem contar gasto por iluminação) estão apresentados na tabela 12.

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Duração de uso no mês (h)	Gasto energético total (kWh)
Tanque de mistura PP 100 L	1	1103,25	20	22,065
Tanque de mistura PP 500 L	1	735,5	20	14,71
Tanque de mistura PP 1000L	2	1103,25	20	44,13
Forno elétrico 170 L	1	9600	160	1536



Filtro prensa 20 placas 400mm x 400mm	1	3677	80	294,16
Secador de bandeja 200L	1	2000	720	1440
Bomba peristáltica	1	100	480	48
Moinho de faca	1	735,5	20	14,71
<b>Total</b>	-	-	-	<b>3413,775</b>

**Tabela 12:** Balanço de energia para produzir 8 t de revestimento enriquecido com nanoestrutura por mês.

Para atender a produção de 8 toneladas de revestimentos mensais seriam gastos estimadamente um valor de 3413,775 kWh na planta piloto. Na tabela 13 abaixo está listada os gastos de energias dos equipamentos para a produção de 4 t mensais de cada revestimento.

<b>Equipamento</b>	<b>Gasto energético total (kWh)</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Tanque de mistura PP 100 L	22,065	14,1216
Tanque de mistura PP 500 L	14,71	9,4144
Tanque de mistura PP 1000L	44,13	28,2432
Forno elétrico 170 L	1536	983,04
Filtro prensa 20 placas 400mm x 400mm	294,16	188,2624
Secador de bandeja 200L	1440	921,6
Bomba peristáltica	48	30,72
Moinho de faca	14,71	9,4144
<b>Total</b>		<b>2184,816</b>

**Tabela 13:** Valor do gasto energético para a produção das 8 t de revestimento nanoestruturadas.

A tabela 14 abaixo está listada os gastos de insumo para a produção de 1 t semanal de cada revestimento na planta piloto, utilizando de insumos de grau de pureza comercial.

Reagentes	Quantidade Utilizado (kg)	Preço do reagente (R\$)	Valor utilizado (R\$)
Goma Guar (25 kg)	13,00	699,60	363,48
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (25 kg)	3,57	145,11	20,72
ZnCl <sub>2</sub> (1 kg)	3,57	38,16	136,23
NaCl (25 kg)	19,64	90,63	71,18
Quitosana (1 kg)	0,06	480,18	27,99
Ácido acético glacial (1000 mL)	0,18	35,33	6,18
Tripolifosfato de sódio (25 kg)	0,02	406,93	0,36
<b>Total</b>			<b>626,14</b>

**Tabela 14:** Valor do gasto aos insumos para a produção das 1 t de cada revestimento nanoestruturado, utilizando insumos com grau de pureza comercial.

Na tabela 15 e 16 estão as despesas associado a funcionários e administrativas.

Funcionários (DIMENSIONAMENTO DE EQUIPE)	Quantidade	Total Parcial	TOTAL
Estagiários	2	R\$ 1.200,00	R\$ 3.200,00
Contador	1	R\$ 2.000,00	

**Tabela 15:** Despesas referente a funcionários da planta piloto.

Abertura Empresa	Quantidade	Total Parcial	TOTAL
Microempresa		R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00
Contas (DESPESAS ADMINISTRATIVAS)	Quantidade	Total Parcial	TOTAL
Programa próprio da empresa/emissão nota fiscal		R\$ 250,00	R\$ 250,00

**Tabela 16:** Despesas administrativas.

A tabela 17 apresenta o gasto de produção estimada total para a iniciação da produção de 4 t mensais de cada revestimento, analisando dois casos.

<b>Gastos</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Equipamento	103513,1
Insumos	2504,56
Energético	2184,816
Funcionários	3200,00
Administrativo	1850,00
<b>Total</b>	<b>113252,476</b>

**Tabela 17:** Valor dos gastos totais para a produção de 8 t de revestimento nanoestruturado.

A planta piloto gastaria R\$ 113252,476 para aquisição de todos os equipamentos, insumos e gastos energéticos produtivos para a obtenção das 8 toneladas mensais de revestimentos enriquecido com nanoestruturas. Após ela apresentaria um gasto mensal de R\$ 108.202,476 para os gastos recorrentes de insumos, energia, funcionários e administrativos.

### **3.3 ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO VALOR DA PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO ENRIQUECIDO COM NANOESTRUTURA DE ZnO E NANOESTRUTURA DE QUITOSANA**

Com o desenvolvimento do projeto, foram identificados elementos na produção que causavam impacto nos custos do produto. O primeiro observado foi a importação da goma tara, utilizada no trabalho baseado em Kelly,<sup>45</sup> um produto que chega ao Brasil importado, com um valor elevado por quilo do insumo em comparação com outras gomas, e quando adquirido por compras no exterior, a moeda utilizada é o dólar ou o euro, aumentando consideravelmente o preço unitário de produção e reduzindo a margem de lucro. Essa observação pode representar um risco econômico para o produto. Para analisar o impacto gerado, foram simulados quatro cenários distintos:

- 1) Cenário atual: Goma tara substituída por goma guar.
- 2) Cenário com a goma tara a um preço de aquisição na menor cotação do euro nos últimos 10 anos (R\$ 4,22).
- 3) Cenário com a goma tara a um preço de aquisição na média da cotação do euro nos últimos 10 anos (R\$ 5,30).
- 4) Cenário com a goma tara a um preço de aquisição na maior cotação do euro nos últimos 10 anos (R\$ 6,75).

Em cada cenário estudado, também foi simulado um cenário provável, considerando a quantidade de produto esperada originalmente, e um cenário otimista, considerando um aumento de 40% em relação ao estipulado.

O fluxo de caixa simulado para um ano levou em conta os investimentos necessários para a aquisição dos equipamentos, os gastos com a compra de insumos, a mão de obra, o pagamento dos acionistas, o marketing, a internet e a telefonia. Os gastos associados ao aluguel, à conta de água e à conta de luz não foram contabilizados, pois o projeto está sendo desenvolvido em uma incubadora de inovação chamada OuroHub, localizada em Ouro Branco – MG.

A tabela 18 apresenta o fluxo de caixa dos diferentes cenários mencionados, juntamente com o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR). O VPL é uma fórmula que determina o valor presente de pagamentos futuros, subtraindo uma taxa de juros e o custo do investimento inicial; e a TIR é uma tradução do valor presente para os retornos de investimento.

Mês	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	Cenário Provável	Cenário Otimista	Cenário Provável	Cenário Otimista	Cenário Provável	Cenário Otimista	Cenário Provável	Cenário Otimista
0	-R\$ 103.513,15	-R\$ 103.513,15	-R\$ 103.513,15	-R\$ 103.513,15	-R\$ 103.513,15	-R\$ 103.513,15	-R\$ 103.513,15	-R\$ 103.513,15
1	-R\$ 22.308,76	-R\$ 27.912,26	-R\$ 33.110,80	-R\$ 43.035,12	-R\$ 36.994,40	-R\$ 48.472,16	-R\$ 42.208,80	-R\$ 55.772,32
2	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 7.372,20	R\$ 32.297,08	R\$ 3.488,60	R\$ 26.860,04	-R\$ 1.725,80	R\$ 19.559,88
3	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 7.372,20	R\$ 32.297,08	R\$ 3.488,60	R\$ 26.860,04	-R\$ 1.725,80	R\$ 19.559,88
4	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 7.372,20	R\$ 32.297,08	R\$ 3.488,60	R\$ 26.860,04	-R\$ 1.725,80	R\$ 19.559,88
5	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 7.372,20	R\$ 32.297,08	R\$ 3.488,60	R\$ 26.860,04	-R\$ 1.725,80	R\$ 19.559,88
6	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 7.372,20	R\$ 32.297,08	R\$ 3.488,60	R\$ 26.860,04	-R\$ 1.725,80	R\$ 19.559,88
7	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 7.372,20	R\$ 32.297,08	R\$ 3.488,60	R\$ 26.860,04	-R\$ 1.725,80	R\$ 19.559,88
8	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 7.372,20	R\$ 32.297,08	R\$ 3.488,60	R\$ 26.860,04	-R\$ 1.725,80	R\$ 19.559,88
9	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 7.372,20	R\$ 32.297,08	R\$ 3.488,60	R\$ 26.860,04	-R\$ 1.725,80	R\$ 19.559,88
10	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 7.372,20	R\$ 32.297,08	R\$ 3.488,60	R\$ 26.860,04	-R\$ 1.725,80	R\$ 19.559,88
11	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 7.372,20	R\$ 32.297,08	R\$ 3.488,60	R\$ 26.860,04	-R\$ 1.725,80	R\$ 19.559,88
12	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 7.372,20	R\$ 32.297,08	R\$ 3.488,60	R\$ 26.860,04	-R\$ 1.725,80	R\$ 19.559,88
Valor Presente Líquido (VPL)	-R\$ 56.568,00	R\$ 32.518,89	-R\$ 104.522,19	-R\$ 30.885,38	-R\$ 121.762,33	-R\$ 53.680,02	-R\$ 144.910,18	-R\$ 84.285,73
Taxa Interna de Retorno (TIR)	7%	28%	-7%	16%	-16%	11%	-	5%

**Tabela 18:** Valor do fluxo de caixa, valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR), dos diferentes cenários analisados.

Ao utilizar a goma tara como insumo, mesmo com a menor cotação do euro dos últimos 10 anos, nos cenários prováveis há um aumento da dívida inicial, resultante dos investimentos nos equipamentos, variando de -R\$ 103.513,15 para -R\$ 104.522,19 até -R\$ 144.910,18. Isso gera uma taxa interna de retorno (TIR) negativa, indicando uma redução de 7% a 11% do patrimônio investido ao optar por esse processo. No entanto, ao substituir a goma tara pela goma guar, as perspectivas mudam. Há uma redução da dívida referente ao investimento inicial, de -R\$ 103.513,15 para -R\$ 56.568,00 no cenário provável e no cenário otimista, em um ano de operação, já teria gerado receita suficiente para ultrapassar o ponto de payback. Isso resulta em uma TIR de 7% no cenário provável e 28% no cenário otimista, fortalecendo a decisão de substituir a goma tara pela goma guar.

Outro elemento observado é a quantidade de goma guar utilizada para atingir a viscosidade adequada do produto. A goma guar comercial pode ser disponibilizada com diferentes pesos moleculares, dependendo do tamanho da cadeia polimérica presente na goma. Essa variação é decorrente do método de fabricação da goma, que é específico para cada fornecedor. Durante o experimento, a concentração de goma guar no revestimento enriquecido com nanoestrutura variou de 0,65% (m/v) até 1,5% (m/v). Visando analisar o impacto gerado na receita, foram considerados quatro cenários possíveis:

- 1) Concentração de goma guar no revestimento enriquecido com nanoestrutura de 0,65% (m/v).
- 2) Concentração de goma guar no revestimento enriquecido com nanoestrutura de 0,80% (m/v).
- 3) Concentração de goma guar no revestimento enriquecido com nanoestrutura de 1,00% (m/v).
- 4) Concentração de goma guar no revestimento enriquecido com nanoestrutura de 1,5% (m/v).

Em cada cenário estudado, também foi simulado um cenário provável, considerando a quantidade de produto esperada originalmente, e um cenário otimista, considerando um aumento de 40% em relação ao estipulado.

A tabela 19 apresenta o fluxo de caixa dos diferentes cenários mencionados, juntamente com o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR).

Mês	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	Cenário Provável	Cenário Otimista	Cenário Provável	Cenário Otimista	Cenário Provável	Cenário Otimista	Cenário Provável	Cenário Otimista
0	-R\$ 103.513,15	-R\$ 103.513,15	-R\$ 103.513,15	-R\$ 103.513,15	-R\$ 103.513,15	-R\$ 103.513,15	-R\$ 103.513,15	-R\$ 103.513,15
1	-R\$ 22.308,76	-R\$ 27.912,26	-R\$ 22.308,76	-R\$ 27.912,26	-R\$ 22.308,76	-R\$ 27.912,26	-R\$ 22.308,76	-R\$ 27.912,26
2	R\$ 20.077,40	R\$ 50.084,36	R\$ 19.741,64	R\$ 49.614,30	R\$ 19.293,96	R\$ 48.987,54	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44
3	R\$ 20.077,40	R\$ 50.084,36	R\$ 19.741,64	R\$ 49.614,30	R\$ 19.293,96	R\$ 48.987,54	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44
4	R\$ 20.077,40	R\$ 50.084,36	R\$ 19.741,64	R\$ 49.614,30	R\$ 19.293,96	R\$ 48.987,54	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44
5	R\$ 20.077,40	R\$ 50.084,36	R\$ 19.741,64	R\$ 49.614,30	R\$ 19.293,96	R\$ 48.987,54	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44
6	R\$ 20.077,40	R\$ 50.084,36	R\$ 19.741,64	R\$ 49.614,30	R\$ 19.293,96	R\$ 48.987,54	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44
7	R\$ 20.077,40	R\$ 50.084,36	R\$ 19.741,64	R\$ 49.614,30	R\$ 19.293,96	R\$ 48.987,54	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44
8	R\$ 20.077,40	R\$ 50.084,36	R\$ 19.741,64	R\$ 49.614,30	R\$ 19.293,96	R\$ 48.987,54	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44
9	R\$ 20.077,40	R\$ 50.084,36	R\$ 19.741,64	R\$ 49.614,30	R\$ 19.293,96	R\$ 48.987,54	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44
10	R\$ 20.077,40	R\$ 50.084,36	R\$ 19.741,64	R\$ 49.614,30	R\$ 19.293,96	R\$ 48.987,54	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44
11	R\$ 20.077,40	R\$ 50.084,36	R\$ 19.741,64	R\$ 49.614,30	R\$ 19.293,96	R\$ 48.987,54	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44
12	R\$ 20.077,40	R\$ 50.084,36	R\$ 19.741,64	R\$ 49.614,30	R\$ 19.293,96	R\$ 48.987,54	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44
Valor Presente Líquido (VPL)	-R\$ 48.121,05	R\$ 43.687,30	-R\$ 49.610,85	R\$ 41.717,51	-R\$ 51.597,85	R\$ 39.090,34	-R\$ 56.568,00	R\$ 32.518,89
Taxa Interna de Retorno (TIR)	9%	30%	9%	29%	8%	29%	7%	28%

**Tabela 19:** Valor do fluxo de caixa, valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR), dos diferentes cenários analisados

O impacto da concentração final de goma no revestimento é menor em relação ao uso da goma tara na produção do revestimento enriquecido com nanoestrutura. A concentração de 0,65% (m/v) de goma guar apresentou os melhores índices econômico-financeiros, com um VPL de -R\$ 48.121,05, uma redução de 53,51% do investimento inicial e uma taxa interna de retorno de 9%. Em todos os cenários otimistas, já alcançaríamos o payback no primeiro ano, o que é crucial para o desenvolvimento econômico da empresa.

O período de payback é influenciado por diversas variáveis, como a complexidade do processo de fabricação, preço de equipamentos, custo de insumos, preço de venda do produto e quantidade de vendas. Esse período pode variar dependendo do setor de inovação em que a startup está inserida. Inovações em Hard Sciences demandam infraestrutura física e equipamentos diferentes de inovações em sistemas de informações, por exemplo. O período de payback é considerado uma meta de médio prazo econômico em uma startup, geralmente em torno de 3 a 5 anos. Estudos de caso, como o da startup PT Limatra,<sup>65</sup> atuante no segmento de bebidas de suco de frutas embaladas, apontam um período de payback de 4 anos e 1 mês, com uma TIR de 32%. Outro exemplo, a startup Cody Kit,<sup>66</sup> na área de brinquedos didáticos baseados em programação, previa um payback de 2,8 anos e uma TIR de 16,05%.

Apesar das perspectivas promissoras, existem barreiras para a implementação do projeto. O investimento inicial significativo, superior a R\$ 103.513,15, é uma quantia onerosa para os pesquisadores financiarem. Além disso, o nível de prontidão tecnológica ainda não é satisfatório para atrair o interesse das empresas, pois não há garantia de que o protótipo elaborado possa ser escalonado, e mesmo que seja, o retorno a curto prazo é baixo em comparação com o risco assumido. Nesse cenário, surge o desafio conhecido como "vale da morte", um período em que os pesquisadores não conseguem mais investir na tecnologia ao mesmo tempo que o setor privado investe pouco, levando a startup a ter recursos insuficientes para continuar os trabalhos, com estimativas indicando que apenas 45% a 55% das startups sobrevivem nos primeiros 5 anos de atividade na Europa e nos EUA.<sup>65</sup> Diante desse cenário, optou-se por passar por um processo de incubação, estabelecendo um espaço físico de operação inicial em um ambiente de fomento à inovação tecnológica, reduzindo gastos como aluguel, água e luz. Além disso, participou de seleções para programas de aceleração de inovações com fundo perdido. Esse fundo perdido possibilita que o pesquisador monte uma planta piloto operacional, com a chance



de produzir os primeiros lotes do produto, sem prejudicar a realidade financeira dos pesquisadores. Com os experimentos de escalas realizados, validando o produto e o processo em uma escala maior do que a de laboratório, e já apresentando uma pequena geração de caixa, a startup torna-se mais atrativa para investidores do setor privado.

Na tabela 20 está uma análise de sensibilidade de dois cenários distintos, um do primeiro ano de operação da planta piloto incubada sem auxílio de um fundo perdido; e o cenário 2 um do primeiro ano de operação da planta piloto incubada com auxílio de um fundo perdido.

Mês	Cenário 1		Cenário 2	
	Cenário Provável	Cenário Otimista	Cenário Provável	Cenário Otimista
0	<b>-R\$ 103.513,15</b>	<b>-R\$ 103.513,15</b>	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1	<b>-R\$ 22.308,76</b>	<b>-R\$ 27.912,26</b>	<b>-R\$ 8.300,00</b>	<b>-R\$ 8.300,00</b>
2	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 54.983,00	R\$ 89.832,20
3	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 54.983,00	R\$ 89.832,20
4	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 54.983,00	R\$ 89.832,20
5	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 54.983,00	R\$ 89.832,20
6	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 54.983,00	R\$ 89.832,20
7	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 54.983,00	R\$ 89.832,20
8	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 54.983,00	R\$ 89.832,20
9	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 54.983,00	R\$ 89.832,20
10	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 54.983,00	R\$ 89.832,20
11	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 54.983,00	R\$ 89.832,20
12	R\$ 18.174,60	R\$ 47.420,44	R\$ 54.983,00	R\$ 89.832,20
Valor Presente Líquido (VPL)	<b>-R\$ 56.568,00</b>	R\$ 32.518,89	R\$ 191.345,62	R\$ 294.842,16
Taxa Interna de Retorno (TIR)	7%	28%	662%	1082%

**Tabela 20:** Comparação do fluxo de caixa, valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR) em um cenário sem e com fundo perdido.

Devido ao fundo perdido o valor presente líquido em um ano de operação sai de -R\$ 56.568,00 para R\$ 191.345,62; um cenário que permite a consolidação de todas os estudos para validar o produto, o método de produção e linha de produção e permite a geração de um fluxo inicial de caixa, aumentando a saúde financeira da startup.

#### **4. CONCLUSÃO**

Para a montagem e implementação das operações destinadas à produção dos revestimentos enriquecidos com nanoestruturas, estima-se um custo aproximado de R\$ 113.252,476. Considerando uma fatia do mercado de exportação de manga, mamão, limão e goiaba, correspondendo a 20% do setor e totalizando 85,5 mil toneladas de frutas (SOM), um segmento endereçável que contempla as exportações brasileiras de frutas, como manga, mamão, limão e goiaba, resultando em um mercado de 427.944 mil toneladas de frutas (SAM), e um mercado total (TAM) relacionado ao consumo de frutas in natura.

A substituição da goma Tara pela goma Guar proporcionou uma significativa melhoria na saúde financeira da produção. No cenário em que a goma Tara seria utilizada para a produção da solução polimérica, a viabilidade da produção seria comprometida devido à aquisição em euro. Nesse contexto, o VPL em um ano de produção foi de -R\$ 121.762,33, superando o investimento inicial, com uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de -16%. Já com a goma Guar, o VPL foi de -R\$ 56.568,00 e uma TIR de 7%. A escolha da goma Guar, dependendo do lote utilizado, pode resultar em valores ainda mais otimistas, como VPL de -R\$ 48.121,05 e TIR de 9%.

Quando há suporte proveniente de espaços de inovação tecnológica e fundos não reembolsáveis, o cenário se torna ainda mais promissor. Em apenas um ano de produção, é possível alcançar um Valor Presente Líquido de R\$ 191.345,62, acompanhado por uma TIR de 662%.

#### **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a CAPES e a Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) pelo suporte, ambiente e infraestrutura fornecida para a realização da dissertação.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LUÍS EDUARDO PACÍFICI RANGEL. ENFRENTAMENTO A PERDAS E DESPERDÍCIO DE ALIMENTOS. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/perdas-e-desperdicio-de-alimentos/publicacoes-em-destaque/relatorio-final-perdas-e-desperdicio> (2022).
2. Ilyas, R. A. *et al.* Regulations for Food Packaging Materials. *Bio-based Packaging: Material, Environmental and Economic Aspects* 467–494 (2021).
3. Campeão, P., Sanches, A. C. & Maciel, W. R. E. Mercado Internacional de Commodities: uma análise da participação do Brasil no mercado mundial de soja entre 2008 e 2019. *Desenvolvimento em Questão* **18**, 76–92 (2020).
4. Nava, D. E. Perspectivas do sistema de manejo integrado de mosca das frutas: um caminho para o desenvolvimento sustentável da fruticultura no Brasil. in (CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOSSANIDADE, 5., 2019; Desafios e Avanços da ..., 2019).
5. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agropecuária. <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>.
6. Oliveira, I. M. & Pereira, L. A. G. Redes de comércio internacional e logística de exportação de frutas no Brasil. *Geografia em Questão* **12**, (2019).
7. ABRAFRUTAS - Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados. DADOS DE EXPORTAÇÃO DE 2022. <https://abrafrutas.org/2023/02/dados-de-exportacao-de-2022/> (2023).
8. ABRAFRUTAS - Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados. IBGE projeta expansão da produção de frutas no País nos próximos anos. <https://abrafrutas.org/2022/01/ibge-projeta-expansao-da-producao-de-frutas-no-pais-nos-proximos-anos/>.
9. Horticultura, I.-I. B. de Q. em. Programa brasileiro para modernização da horticultura. Normas de classificação do tomate. Centro de qualidade em horticultura. Preprint at (2003).
10. Aiolfi, A. H. & Basso, C. Preparações elaboradas com aproveitamento integral dos alimentos. *Disciplinarum Scientia/ Saúde* **14**, 109–114 (2013).
11. ONU - Organização das Nações Unidas Brasil. FAO combate desperdício de frutas e hortaliças. <https://brasil.un.org/pt-br/201527-fao-combate-desperd%C3%ADcio-de-frutas-e-hortali%C3%A7as> (2022).
12. Freire Junior, M. & Soares, A. G. Orientações quanto ao manuseio pré e pós-colheita de frutas e hortaliças visando a redução de suas perdas. (2014).
13. Uskoković, V. Nanotechnologies: What we do not know. *Technol Soc* **29**, 43–61 (2007).
14. Alencar, M. S. M. de, Bochner, R. & Dias, M. F. F. Nanotecnologia em Ciências da Saúde no Brasil: um olhar informétrico sobre os grupos de pesquisa. (2013).
15. Garcia, M. D. S. & Lagaron, J. M. Nanocomposites for food and beverage packaging materials. in *Nanotechnology in the food, beverage and nutraceutical industries* 335–361 (Elsevier, 2012).
16. Azevedo, M. A., Bourbon, A. I., Vicente, A. A. & Cerqueira, M. A. Alginate/chitosan nanoparticles for encapsulation and controlled release of vitamin B2. *Int J Biol Macromol* **71**, 141–146 (2014).
17. Dutta, S. *Global Innovation Index 2011: Accelerating Growth and Development*. (WIPO, 2011).
18. Bumbudsanpharoke, N. & Ko, S. Nano-food packaging: an overview of market, migration research, and safety regulations. *J Food Sci* **80**, R910–R923 (2015).

19. Hebbar, U., Ranjan, S., Dasgupta, N. & Mishra, R. K. *Nano-Food Engineering*. (Springer, 2020).
20. Dainelli, D., Gontard, N., Spyropoulos, D., Zondervan-van den Beuken, E. & Tobback, P. Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends Food Sci Technol* **19**, S103–S112 (2008).
21. Krochta, J. M. & Mulder-Johnston, D. E. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food technology (USA)* (1997).
22. Cerqueira, M. A. *et al.* Galactomannans use in the development of edible films/coatings for food applications. *Trends Food Sci Technol* **22**, 662–671 (2011).
23. Embuscado, M. E. & Huber, K. C. *Edible Films and Coatings for Food Applications*. vol. 9 (Springer, 2009).
24. Bhadra, P., Mitra, M. K., Das, G. C., Dey, R. & Mukherjee, S. Interaction of chitosan capped ZnO nanorods with Escherichia coli. *Materials Science and Engineering: C* **31**, 929–937 (2011).
25. Gordon, T. *et al.* Synthesis and characterization of zinc/iron oxide composite nanoparticles and their antibacterial properties. *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp* **374**, 1–8 (2011).
26. He, L., Liu, Y., Mustapha, A. & Lin, M. Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles against Botrytis cinerea and Penicillium expansum. *Microbiol Res* **166**, 207–215 (2011).
27. Emamifar, A., Kadivar, M., Shahedi, M. & Soleimani-Zad, S. Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of Lactobacillus plantarum in orange juice. *Food Control* **22**, 408–413 (2011).
28. Espitia, P. J. P. *et al.* Zinc oxide nanoparticles: synthesis, antimicrobial activity and food packaging applications. *Food Bioproc Tech* **5**, 1447–1464 (2012).
29. Hosseini, S. F., Rezaei, M., Zandi, M. & Farahmandghavi, F. Fabrication of bio-nanocomposite films based on fish gelatin reinforced with chitosan nanoparticles. *Food Hydrocoll* **44**, 172–182 (2015).
30. Elsabee, M. Z. & Abdou, E. S. Chitosan based edible films and coatings: A review. *Materials Science and Engineering: C* **33**, 1819–1841 (2013).
31. Antoniou, J., Liu, F., Majeed, H. & Zhong, F. Characterization of tara gum edible films incorporated with bulk chitosan and chitosan nanoparticles: A comparative study. *Food Hydrocoll* **44**, 309–319 (2015).
32. De Moura, M. R., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., Krochta, J. M. & Mattoso, L. H. C. Properties of novel hydroxypropyl methylcellulose films containing chitosan nanoparticles. *J Food Sci* **73**, N31–N37 (2008).
33. StatNano. Nanotechnology Companies. <https://statnano.com/companies> (2023).
34. StatNano. Nanotechnology Products Database. <https://product.statnano.com/> (2023).
35. Thorpe, M. & Ridgman, T. Identifying and Sharing the Knowledge Required for Scaling Up Innovative Technologies in the Process Industry. *International Journal of Innovation and Technology Management* **13**, 1750006 (2016).
36. Araújo, M. H. *et al.* ‘ Spin-Off’ acadêmico: criando riquezas a partir de conhecimento e pesquisa. *Quim Nova* **28**, S26–S35 (2005).
37. da Silva Andrade, L. P. C., da Silva, R. C., Mascarenhas, L. A. B., de Oliveira Gomes, J. & de Souza Marinho, F. Proposal of an innovative environment for supporting production scale-up, including design, prototyping, manufacturing, assembly, testing, and certification of products that require special conditions. *Procedia CIRP* **41**, 177–182 (2016).

38. Vasconcellos, E. P. *et al.* Escalonamento de tecnologias: desenvolvimento de produto e processo do laboratório à escala piloto conectado ao mercado (parte 1). *Quim Nova* **44**, 377–384 (2021).
39. DIANA, D. E. M. J. J. *A Caminho Da Inovação: Proteção e Negócios Com Bens de Propriedade Intelectual: Guia Para o Empresário.* (IEL, 2010).
40. Oliveira, R. M. de & Velho, L. Patentes acadêmicas no Brasil: uma análise sobre as universidades públicas paulistas e seus inventores. *Parcerias Estratégicas* **14**, 173–200 (2009).
41. Escalab. Estudo de Viabilidade: O passo a passo para um EVTE completo. <https://escalab.com.br/estudo-de-viabilidade-passo-a-passo-evte-completo/> (2023).
42. Ferreira, C. V., Biesek, F. L. & Scalice, R. K. Product innovation management model based on manufacturing readiness level (MRL), design for manufacturing and assembly (DFMA) and technology readiness level (TRL). *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* **43**, 360 (2021).
43. Wang, B. The future of manufacturing: A new perspective. *Engineering* **4**, 722–728 (2018).
44. Islam, N. Innovative manufacturing readiness levels (IMRLs): a new readiness matrix. *Int J Nanomanuf* **6**, 362–375 (2010).
45. Costa, K. C. B. *et al.* Tara Gum Coating with Embedded ZnO Nanostructures for Increased Postharvest Guava Shelf Life. *ACS Food Science & Technology* **3**, 738–752 (2023).
46. Sharma, S., Jaiswal, S., Duffy, B. & Jaiswal, A. K. Nanostructured materials for food applications: spectroscopy, microscopy and physical properties. *Bioengineering* **6**, 26 (2019).
47. Shohany, B. G. & Zak, A. K. Doped ZnO nanostructures with selected elements-Structural, morphology and optical properties: A review. *Ceram Int* **46**, 5507–5520 (2020).
48. Sullivan, D. J. *et al.* Synthesis of monodisperse chitosan nanoparticles. *Food Hydrocoll* **83**, 355–364 (2018).
49. Bangun, H., Tandiono, S. & Arianto, A. Preparation and evaluation of chitosan-tripolyphosphate nanoparticles suspension as an antibacterial agent. *J Appl Pharm Sci* **8**, 147–156 (2018).
50. Sawtarie, N., Cai, Y. & Lapitsky, Y. Preparation of chitosan/tripolyphosphate nanoparticles with highly tunable size and low polydispersity. *Colloids Surf B Biointerfaces* **157**, 110–117 (2017).
51. Delan, W. K. *et al.* Formulation of simvastatin chitosan nanoparticles for controlled delivery in bone regeneration: Optimization using Box-Behnken design, stability and in vivo study. *Int J Pharm* **577**, 119038 (2020).
52. Çakır, M. A., Icyer, N. C. & Tornuk, F. Optimization of production parameters for fabrication of thymol-loaded chitosan nanoparticles. *Int J Biol Macromol* **151**, 230–238 (2020).
53. Othman, N. *et al.* Synthesis and optimization of chitosan nanoparticles loaded with L-ascorbic acid and thymoquinone. *Nanomaterials* **8**, 920 (2018).
54. Esmaili, F. *et al.* Parameters influencing size of electrosprayed chitosan/HPMC/TPP nanoparticles containing alendronate by an artificial neural networks model. *J Electrostat* **112**, 103598 (2021).
55. Gao, X. *et al.* Development and optimization of chitosan nanoparticle-based intranasal vaccine carrier. *Molecules* **27**, 204 (2021).

56. Tenorio-Barajas, A. Y. *et al.* Chitosan, Chitosan/IgG-Loaded, and N-Trimethyl Chitosan Chloride Nanoparticles as Potential Adjuvant and Carrier-Delivery Systems. *Molecules* **28**, 4107 (2023).
57. Miao, Q. *et al.* Rheological properties of five plant gums. *Am J Analyt Chem* **9**, 210 (2018).
58. Xu, L., Gong, H., Dong, M. & Li, Y. Rheological properties and thickening mechanism of aqueous diutan gum solution: Effects of temperature and salts. *Carbohydr Polym* **132**, 620–629 (2015).
59. Banaś, K. & Harasym, J. Natural gums as oleogelators. *Int J Mol Sci* **22**, 12977 (2021).
60. Calvo, P., Remunan-Lopez, C., Vila-Jato, J. L. & Alonso, M. J. Novel hydrophilic chitosan-polyethylene oxide nanoparticles as protein carriers. *J Appl Polym Sci* **63**, 125–132 (1997).
61. Vimal, S. *et al.* Synthesis and characterization of CS/TPP nanoparticles for oral delivery of gene in fish. *Aquaculture* **358**, 14–22 (2012).
62. Krochta, J. M. & Mulder-Johnston, D. E. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food technology (USA)* (1997).
63. AOAC. Method 935.14 and 992.2. in *Official Method of Analysis* (ed. Association of Officiating Analytical Chemists) ( Washington, DC, USA, 2005).
64. Haghghat, M. *et al.* Cytotoxicity properties of plant-mediated synthesized K-doped ZnO nanostructures. *Bioprocess Biosyst Eng* 1–9 (2022).
65. Harinugroho, W., Indradewa, R., Syah, T. Y. R. & Sunaryanto, K. Financial analysis of startups company pt. limatra innovation of subang honey pineapple beverage. *International Journal of Research and Review* **8**, 478–485 (2021).
66. Jagatpati, T. A. A. & Irawan, A. Financial Feasibility of Business on Toy Startup: A Case Study of Cody Kit. in *Conference Proceedings International Conference on Education Innovation and Social Science* 237–244 (2023).