



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOQUÍMICA

CAMILA RIBEIRO DOS SANTOS GOMES

**EFEITO DO REVESTIMENTO DE QUITOSANA SOBRE A QUALIDADE E
FISIOLOGIA PÓS-COLHEITA DO PEDÚNCULO DE *Anacardium occidentale* L.**

FORTALEZA

2021

CAMILA RIBEIRO DOS SANTOS GOMES

EFEITO DO REVESTIMENTO DE QUITOSANA SOBRE A QUALIDADE E
FISIOLOGIA PÓS-COLHEITA DO PEDÚNCULO DE *Anacardium occidentale* L.

Dissertação de Mestrado apresentado à
Coordenação do Curso de Pós-graduação em
Bioquímica, da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para obtenção do
grau de Mestra em Bioquímica.
Área de concentração: Bioquímica Vegetal.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria Raquel
Alcântara de Miranda.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G613e Gomes, Camila Ribeiro dos Santos.
Efeito do revestimento de quitosana sobre a qualidade e fisiologia pós-colheita do pedúnculo de *Anacardium occidentale* L. / Camila Ribeiro dos Santos Gomes. – 2021.
57 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Maria Raquel Alcântara de Miranda.
1. Caju. 2. Quitosana. 3. Qualidade Pós-colheita. I. Título.

CDD 572

CAMILA RIBEIRO DOS SANTOS GOMES

EFEITO DO REVESTIMENTO DE QUITOSANA SOBRE A QUALIDADE E
FISIOLOGIA PÓS-COLHEITA DO PEDÚNCULO DE *Anacardium occidentale* L.

Dissertação de Mestrado apresentado à
Coordenação do Curso de Pós-graduação em
Bioquímica, da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para obtenção do
grau de Mestra em Bioquímica.
Área de concentração: Bioquímica Vegetal.

Aprovada em: 19 / 10 / 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Maria Raquel Alcântara de Miranda (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dra. Márjory Lima Holanda Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dra. Norma Maria Barros Benevides
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família, que sempre me influenciou
para ciência, por todo seu amor e paciência.
Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

À minha família perfeita (Aldenia Gomes; Claudione Gomes; Micaelle Gomes e Mirella Gomes) por todo incentivo, amor incondicional e apoio emocional nesta jornada científica, e ao Luan Mesquita pelo grande apoio.

Aos Deuses.

À UFC-Universidade Federal do Ceará, DBBM-Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular e PPGB-Programa de Pós-Graduação em Bioquímica Vegetal, pela oportunidade de realizar meu sonho.

À FUNCAP-Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro, número de processo do financiamento: 88887.373147/2019-00.

À EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e ao professor Dr. Carlos Farley Hebster Moura pela doação dos cajus BRS 189 para aplicação desta pesquisa e por todo apoio científico.

À professora Dra. Maria Raquel Alcântara de Miranda pela orientação e apoio na realização deste trabalho.

Aos professores Dr. Humberto Henrique de Carvalho e Enéas Gomes Filho do Laboratório de Fisiologia pelo empréstimo da B.O.D. e apoio científico.

À equipe do Laboratório de Bioquímica e Fisiologia de Frutos (Luciana Herculano; João Alves; Débora Silva; Rute Xavier; Luana Lima; Luíz Ferreira e Aristides Filho) e do Laboratório de Fisiologia Vegetal (Micaelle Gomes; Francisco Dalton e Lineker Lopes), pelo apoio e fraternidade.

Agradecer também aos demais colegas que ganhei do mestrado de Bioquímica.

RESUMO

O caju possui uma vida útil pós-colheita curta e por isso, esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do revestimento de quitosana sobre a sua qualidade e fisiologia pós-colheita. Pedúnculos de cajueiro BRS 189 foram revestidos com solução de quitosana a 2% (m/v) e armazenados a 5 °C e UR 90% por 10 dias, enquanto o controle consistia em frutos sem revestimentos mantidos na mesma condição. A cada dois dias, os pedúnculos foram analisados quanto à perda de massa; pH; sólidos solúveis; acidez titulável; relação SS/AT; firmeza, atividade de enzimas hidrolíticas da parede celular e ao metabolismo antioxidante. Os pedúnculos revestidos apresentaram aumento da firmeza ao final de 10 dias de armazenamento, a qual pode ser elucidada pela baixa atividade da PME. Este estudo contribuiu para promover o esclarecimento da influência a nível fisiológico e bioquímico de revestimentos comestíveis de quitosana em caju e com isso a diminuição do desperdício natural e conseqüentemente a diminuição dos recursos naturais aplicados em sua produção devido ao melhor aproveitamento nas safras de caju.

Palavras-chave: caju; quitosana; qualidade pós-colheita.

ABSTRACT

Cashew has a short postharvest shelf life and, therefore, this study aimed to evaluate the effect of chitosan coating on its quality and postharvest physiology. BRS 189 cashew stalks were coated with a 2% (w/v) chitosan solution and stored at 5 °C and 90% RH for 10 days, while the control consisted of uncoated fruits kept in the same condition. Every two days, the peduncles were analyzed for mass loss; pH; soluble solids; titratable acidity; SS/AT ratio; firmness, cell wall hydrolytic enzyme activity and antioxidant metabolism. The coated peduncles showed increased firmness after 10 days of storage, which can be elucidated by the low activity of PME. This study contributed to clarifying the physiological and biochemical influence of edible coatings of chitosan on cashew and with it the reduction of natural waste and consequently the reduction of natural resources applied in its production due to better use in cashew crops.

Keywords: cashew; chitosan; post-harvest quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Planta e fruto do cajueiro precoce BRS 189.....	19
Figura 2-	Estádios de desenvolvimento do caju BRS 189.....	20
Figura 3-	Estrutura da parede celular vegetal.....	21
Figura 4-	Metabolismo antioxidante de eliminação de EROs em plantas.....	22
Figura 5-	Estrutura de quitosana.....	25
Figura 6-	Seleção dos pedúnculos de cajueiro BRS 189.....	26
Figura 7-	Aplicação do revestimento de quitosana no pedúnculo de cajueiro BRS 189.....	27
Figura 8-	Cajus revestidos com solução de quitosana 2% (esquerda) e controle (direita) em cada dia de análise, durante os 10 dias de armazenamento a 5 °C.....	33
Figura 9-	Perda de massa de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.....	34
Figura 10-	pH de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.....	35
Figura 11-	Sólidos Solúveis de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.....	36
Figura 12-	Acidez titulável de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.....	37
Figura 13-	Relação entre sólidos solúveis e acidez titulável de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.....	38
Figura 14-	Firmeza de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.....	38
Figura 15-	Atividade específica da pectinametilsterase (PME) de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.....	40
Figura 16-	Atividade específica da poligalacturonase (PG) de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.....	41
Figura 17-	Atividade da catalase (CAT) de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2	

	%.....	42
Figura 18-	Atividade da ascorbato peroxidase (APX) de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.....	43
Figura 19-	Flavonóides de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.....	44
Figura 20-	Antocianinas de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.....	45
Figura 21-	Polifenóis totais de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.....	45
Figura 22-	Atividade da polifenoloxidase de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.....	47
Figura 23-	Carotenóides de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.....	48
Figura 24-	Pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2, no dia da colheita e no 10° dia de armazenamento.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM	Atmosfera Modificada
ATT	Atividade Antioxidante total
APX	Ascorbato peroxidase
AR	Açúcar Redutor
AST	Ácido Ascórbico Total
AOAC	Association of Official Agricultural Chemists
BNB	Banco do Nordeste
°C	Graus Celsius
CCP 09	Clone de caju
CCP 76	Clone de caju
CCP 1001	Clone de caju
BRS189	Clone de caju
BRS265	Clone de caju
CAT	Catalase
cm ³	Centímetro cúbico
DTT	Ditiotreitol
et al.	et alii
END 183	Clone de caju
ETENE	Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EROs	Espécies reativas de oxigênio
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
G	Gramas
GAE	Equivalente de Ácido Gálico
HCl	Ácido clorídrico
Há	Hectare
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
Hue	Ângulo de escala de medida pra colorimetria
ICB	Instituto Caju Brasil
IAL	Instituto Adolfo Lutz
KI	Iodeto de potássio

Kg	Quilogramas
L	Litro
lat.	Latitude
lon.	Longitude
M	Metro
min.	Minuto
MF	Matéria fresca
Mg	Miligramas
mL	Mililitro
μL	Microlitro
M	Molar
N	Newton
NaOH	Hidróxido de sódio
NaCl	Cloreto de sódio
NH ₂	Amina
Mmol	Milimolar
Nmol	Nanomolar
O ₂	Oxigênio
OH	Hidroxila
pH	Potencial hidrogeniônico
PME	Pectina Metil Esterase
PG	Poligalacturonase
PPO	Polifenol oxidase
P	Proteína
PVC	Policloreto de polivinila
PM	Peso molar
Ppm	Parte por milhão
RL	Radicais livres
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
S	Segundos
SST	Sólidos Solúveis Totais
SST/ATT	Relação de Sólidos Solúveis Totais e Acidez Titulável Total
TBA	Ácido tilbarbitúrico
TCA	Ácido tricloroacético

TMQ	Sais hidrossolúveis trimetil quitosana
Tween 80	Surfactante
Tween 20	Surfactante
Tillman	2,6 diclorofenol indofenol-DFI
µg	Micrograma
UR	Umidade Relativa
UA	Unidade de Atividade de Proteína
µm	Micrometro
V	Volume
x g	Rotações por grama
°Brix	Unidade de medida de sólidos solúveis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Botânica do Cajueiro	17
2.2	Cultura do Cajueiro	18
2.3	Fisiologia e qualidade do pedúnculo do Cajueiro	19
2.4	Tecnologias pós-colheita	24
2.5	Revestimento Comestível	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	Material vegetal	26
3.2	Métodos	26
3.2.1	<i>Preparo e aplicação do revestimento</i>	26
3.2.2	<i>Análises de Qualidade</i>	27
3.2.2.1	<i>Perda de massa</i>	27
3.2.2.2	<i>Potencial hidrogeniônico (pH)</i>	28
3.2.2.3	<i>Sólidos Solúveis (SS)</i>	28
3.2.2.4	<i>Acidez Titulável (AT)</i>	28
3.2.2.5	<i>Relação SS/AT</i>	28
3.2.2.6	<i>Proteínas Solúveis Totais</i>	28
3.2.3	<i>Variáveis associadas à firmeza</i>	28
3.2.3.1	<i>Firmeza</i>	28
3.2.3.2	<i>Atividade da pectinametilsterase (PME; EC 3.1.1.11)</i>	29
3.2.3.3	<i>Atividade da poligalacturonase (PG, EC 3.2.1.15)</i>	29
3.2.4	<i>Variáveis do metabolismo antioxidante</i>	30
3.2.4.1	<i>Atividade da Catalase (CAT, EC 1.11.1.6)</i>	30
3.2.4.2	<i>Atividade da Peroxidase do Ascorbato (APX, EC 1.11.1.1)</i>	30
3.2.4.3	<i>Atividade da Polifenoloxidase (PPO, EC 1.14.18.1)</i>	31
3.2.4.4	<i>Flavonoides amarelos e Antocianinas totais</i>	31
3.2.4.5	<i>Polifenóis totais</i>	31
3.2.4.6	<i>Carotenóides</i>	32
3.2.5	<i>Análise estatística</i>	32

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
4.1	Análise de qualidade.....	33
4.2	Análise de variáveis associados à firmeza.....	38
4.3	Análise de variáveis do metabolismo antioxidante.....	41
5	CONCLUSÃO.....	50
	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma grande diversidade de plantas cultivadas, na qual a cultura do cajueiro *Anacardium occidentale* L. possui destaque por ser comercializada desde a época do Brasil Colônia. Natural da região Nordeste, foi disseminada pelos colonizadores para outras colônias portuguesas como Moçambique e Guiné Bissau (Serrano; Pessoa, 2016; Alexandre, 2013).

A cultura do cajueiro é direcionada principalmente para a produção da castanha por seu alto valor comercial e considerável tempo de armazenamento. No entanto, o pedúnculo carnosos representa cerca de 90% da massa do caju e é muito aceito por ser carnosos, suculento, com alto valor nutricional, o que faz o seu comércio ser de fundamental importância para agricultura, típica de região semiárida auxiliando então no desenvolvimento socioeconômico no Nordeste (ICB, 2020; Brainer; Vidal, 2020; Cordeiro; Braga, 2020).

O pedúnculo do cajueiro pode ser consumido fresco ou utilizado como matéria-prima para produção de bebidas, compotas, doces, geleias, dentre outros. O pedúnculo é classificado como pseudofruto não climatérico e perecível com vida útil pós-colheita que não ultrapassa 48 h em temperatura ambiente devido à grande perda de firmeza e perda de nutrientes, além de se tornar um produto não desejável ao comércio (Moura *et al.*, 2010)

Um dos maiores problemas para os produtores de cajueiro é a alta perecibilidade do pedúnculo, por isso tem sido submetido a diferentes tecnologias de conservação que visam prolongar a vida útil pós-colheita como redução de temperatura de armazenamento (Moura *et al.*, 2010) e o tratamento com cálcio sob refrigeração (Figueiredo *et al.*, 2007). No entanto, não há registro da aplicação de revestimentos os quais são formados por polímeros sintéticos ou naturais que atuam como barreira física ou fisiológica resistente a determinados agentes exógenos ou mecânicos (Brainer; Vidal, 2020; Pereira *et al.*, 2020). A quitosana é um biopolímero atóxico e com atividade antifúngica que ao ser usado como revestimento atua como barreira contra a perda de água, transmissão de gases, oxidação lipídica, perda de flavor e manutenção da firmeza, aumentando o tempo de armazenamento pós-colheita (Felipe *et al.*, 2017; Betchem *et al.*, 2019).

Portanto, este trabalho teve o objetivo de avaliar como o revestimento de quitosana associado ao armazenamento refrigerado influencia na qualidade e armazenamento pós-colheita de pedúnculos de cajueiro.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Botânica do Cajueiro

Desde o Brasil colônia, a cultura do cajueiro possui destaque em meio à diversidade de plantas cultivadas. O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é originário do Nordeste brasileiro e por ser uma planta com grande capacidade de adaptação, foi difundida em vários países como Moçambique, Guiné Bissau e Vietnã, sendo a Nigéria e a Índia, que são os maiores produtores de castanha (Serrano; Pessoa, 2016; Alexandre, 2013).

O cajueiro é uma planta perene com ramificação baixa e porte variado, pois o cajueiro comum pode chegar a 15 m de altura com 20 m de envergadura, mas programas de melhoramento desenvolveram plantas com o comportamento precoce (antes denominados como anão), que se reproduzem mais cedo quando tem uma altura média de 4 m e a envergadura entre 6 e 8 m (Ramos *et al.*, 2016).

O sistema radicular é constituído por uma raiz pivotante bem desenvolvida e bifurcada, com raízes laterais que atingem até duas vezes a projeção da copa. As folhas são simples, inteiras, alternas, glabras (ausência de tricomas), de aspecto subcoriáceo e com pecíolo curto (Araújo *et al.*, 2015). Durante o seu desenvolvimento, a planta possui inflorescência do tipo panícula (com surgimento no ápice dos ramos) caracterizada por formato piramidal, com cacho terminal e suas ramificações vão decrescendo da base para o ápice que contêm flores masculinas e hermafroditas em proporções variadas, produzidas na periferia da copa, onde se encontram dois tipos de flores: hermafroditas ou perfeitas e masculinas ou estaminadas (Ramos *et al.*, 2016; Adiga *et al.*, 2019).

O número de flores em cada panícula varia entre e dentro dos tipos de cultivares podendo chegar a 500 flores e por ser uma espécie alógama, reproduz-se por cruzamento. Como não foram detectados sistemas de autoincompatibilidade, a polinização pode também ocorrer dentro de uma mesma flor, entre flores diferentes na mesma planta ou entre plantas diferentes (Martins *et al.*, 2017; Adiga *et al.*, 2019).

Quando a flor é fecundada, o crescimento do ovário dá origem a castanha que é o fruto verdadeiro, enquanto o pedúnculo sofre hipertrofia formando a parte carnosa do caju, sendo a proporção média entre pedúnculo e castanha de 9:1. A castanha é um aquênio reniforme de coloração marrom-acinzentada constituído pelo pericarpo (casca) e a amêndoa (semente) segundo Martins *et al.*, (2017) e Adiga *et al.*, (2019). O crescimento do pedúnculo é lento se comparado ao da castanha e acelera quando o fruto atinge tamanho máximo com maturação completa entre 48 e 52 dias, estando maduro e apto para consumo (Araújo *et al.*, 2015).

2.2 Cultura do Cajueiro

Dentre as espécies da família Anacardiácea, apenas a *Anacardium occidentale* é cultivada comercialmente e compreende os tipos precoce e comum. O cajueiro-comum possui maior potencial produtivo individual, porém os pomares de cajueiro precoce têm uma maior produtividade, pois permite o plantio de um maior número de plantas por hectare (ICB, 2020; Martins *et al.*, 2019).

No Ceará, em 2016, a produção foi 2000 kg.ha⁻¹ de castanhas e 12700 kg.ha⁻¹ de pedúnculo de caju e a época reprodutiva do cajueiro ocorre na estação de estiagem correspondente ao segundo semestre do ano (Serrano; Pessoa, 2016). No Brasil, em 2019, houve um aumento de 39,9% de exportações da castanha de caju principalmente para os EUA e Canadá, enquanto o pedúnculo fica concentrado no comércio interno e local brasileiro, (ICB, 2020). A partir do ano de 2020, o panorama brasileiro de exportação de castanha de caju mudou e o Vietnã e Índia se tornaram os maiores importadores de castanha de caju com casca. Nesses países, o produto é processado e uma parte deste produto é destinada para consumo interno e outra parte para reexportação, ou seja, a castanha é vendida para outros países, inclusive o Brasil, tornando o Vietnã e a Índia os maiores exportadores mundiais de amêndoa da castanha do caju (Brainer; Vidal, 2020).

A partir de programas de melhoramento, a Embrapa Agroindústria Tropical lançou diferentes cultivares de cajueiro como a BRS 189 que é produto da seleção fenotípica de cajueiro precoce entre cultivares CCP 1001 e CCP76 e possui porte baixo com florescimento e frutificação precoce com um pedúnculo grande com 155 g e castanha pequena, indicado para o cultivo em sequeiro ou irrigado e recomendado para mercado in natura (Figura 1). A cultivar CCP 76 é a mais difundida e cultivada em várias regiões do Brasil. A cultivar BRS 226 que foi originalmente recomendada para o Semiárido do Piauí, é bastante plantada no litoral do Ceará, enquanto a Embrapa 51 é plantada no litoral do Ceará e no litoral e sertão do Rio Grande do Norte (Araújo *et al.*, 2015).

Figura 1: Planta e fruto do cajueiro precoce BRS 189.



Fonte: Embrapa, 2016.

A cultura do cajueiro atualmente é direcionada para a produção de castanha (Cordeiro; Braga, 2020; Araújo *et al.*, 2015), devido a amêndoa comestível e ao líquido da castanha de caju (LCC) que é utilizado na indústria química como lubrificante e aditivo para indústria automobilística (Mazetto; Lomonaco, 2009). O pedúnculo é carnosos e apresenta menor importância comercial podendo ser consumido fresco ou utilizado como matéria prima para outros produtos como bebidas e doces (Cordeiro; Braga, 2020). Um dos maiores problemas para a comercialização do pedúnculo fresco é sua alta perecibilidade com rápida perda de firmeza e sua consequente senescência após dois dias em temperatura ambiente (Moura *et al.*, 2010; Araújo, 2015). Uma vez que a castanha é o principal foco da cultura, após a retirada desta durante a colheita, os pedúnculos são deixados no campo resultando em desperdício de quase 90% de pedúnculos produzidos (Luciano *et al.*, 2011).

2.3 Fisiologia e qualidade do pedúnculo do Cajueiro

A partir da fecundação da flor do cajueiro anão precoce inicia o desenvolvimento do fruto (Figura 2), quando a castanha atinge o tamanho máximo entre o 30º e 36º dia, enquanto o pedúnculo atinge o tamanho máximo entre o 48º e 52º dia (Serrano; Pessoa, 2016).

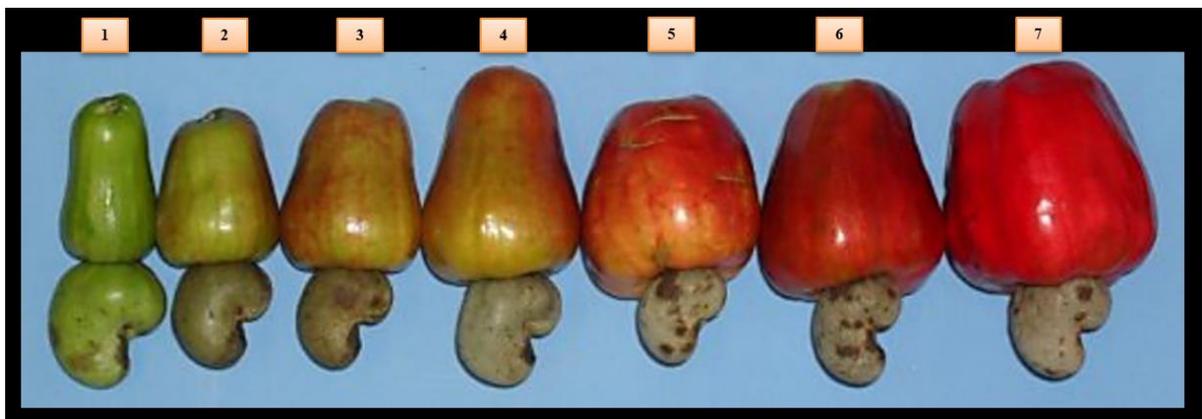
O pedúnculo do cajueiro é classificado como fruto não-climatérico e como tal apresenta um contínuo decréscimo na taxa de respiração durante seu processo de amadurecimento, o qual acontece ainda ligado à planta-mãe. O amadurecimento se dá após os frutos completarem seu crescimento e iniciarem a maturação, sendo a última etapa do

desenvolvimento. Nessa etapa, o fruto sofre uma série de alterações que o tornam apto para consumo (Chitarra; Chitarra, 2005).

O termo maturidade fisiológica ou horticultural representa o estágio que o vegetal possui os pré-requisitos para ser comercializado e consumido, podendo referir-se a qualquer estágio de desenvolvimento. Por fim, a senescência é um conjunto de vários processos que ocorrem após o amadurecimento e levam a morte de tecidos deste pseudofruto, tornando-o impróprio ao consumo (Farinas, 2011).

Devido ao seu amadurecimento não climatérico, o pedúnculo deve ser colhido maduro e, portanto, é bastante perecível com vida útil pós-colheita que não ultrapassa 48 h em temperatura ambiente (Serrano; Oliveira, 2013; Adiga *et al.*, 2019). As alterações fisiológicas características do amadurecimento representam a qualidade pós-colheita que segue padrões aceitáveis de acordo com o mercado. Assim, o peso e a cor do pedúnculo maduro podem variar de modo que, estudos mostraram que as cultivares vermelhas pesam 4,58 g (Santos-Filho, 2016), 50 a 120 g (Das e Arora, 2017) e 88,45 a 155,40 g (Moura *et al.*, 2001). Em cultivares laranjas, há relatos que o peso varia de 100 e 130 g (Das e Arora, 2017), de 51,31 a 122,24 g (Almeida *et al.*, 2017) e 91,72 a 150,82 g (Moura *et al.*, 2001), enquanto nas amarelas varia entre 100 e 140 g (Das; Arora, 2017).

Figura 2: Estádios de desenvolvimento do caju BRS 189.



Fonte: Embrapa, 2016.

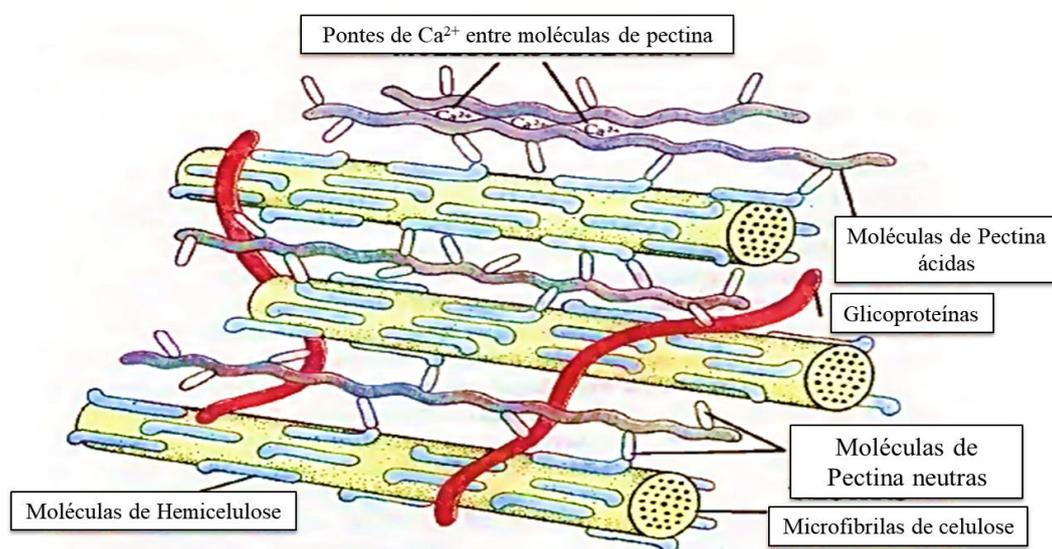
- 1- Pedúnculo verde, castanha verde
- 2- Pedúnculo verde, castanha madura e seca
- 3- Pedúnculo verde-claro, castanha madura e seca
- 4- Pedúnculo com início de coloração laranja avermelhado, castanha madura e seca
- 5- Pedúnculo laranja avermelhado com início de cor vermelha, castanha madura e seca
- 6- Pedúnculo vermelho-claro, castanha madura e seca

7- Pedúnculo vermelho-escuro, castanha madura e seca

Com o amadurecimento, o pedúnculo sofre alterações que afetam a sua qualidade, como nos sólidos solúveis que representam uma medida indireta do conteúdo de açúcares (85-90%) assim como outras substâncias solúveis como vitaminas, fenólicos, pectinas e ácidos orgânicos (Silveira *et al.*, 2018). Os sólidos solúveis no pedúnculo maduro variam entre 5 e 15 °Brix, enquanto os açúcares (sacarose, glicose, frutose) variam de 10 a 30%, tornando o suco do caju uma boa fonte para processos fermentativos e enzimáticos como a produção de ácido lático e etanol (Khandetod *et al.*, 2016; Oliveira *et al.*, 2020). A acidez titulável expressa o teor de ácidos orgânicos presentes e pode variar entre 0,5 e 1% (Das; Arora, 2017) e o pH médio da polpa do pedúnculo é 4,5 (Castro *et al.*, 2015; Aroucha *et al.*, 2010).

Dentre as modificações que ocorrem com o amadurecimento, a perda de firmeza é um importante aspecto que afeta a aceitação comercial. O amaciamento é atribuído principalmente à degradação dos componentes da parede celular (Yamamoto *et al.*, 2011). A parede celular vegetal (Figura 3) é composta por polissacarídeos que representam 90% e consistem em celulose (20-40%), hemiceluloses (15-25%) e pectinas (~30%) e em menor escala, por proteínas (Cortez, 2010; Taiz; Zeiger, 2017).

Figura 3: Estrutura da parede celular vegetal.



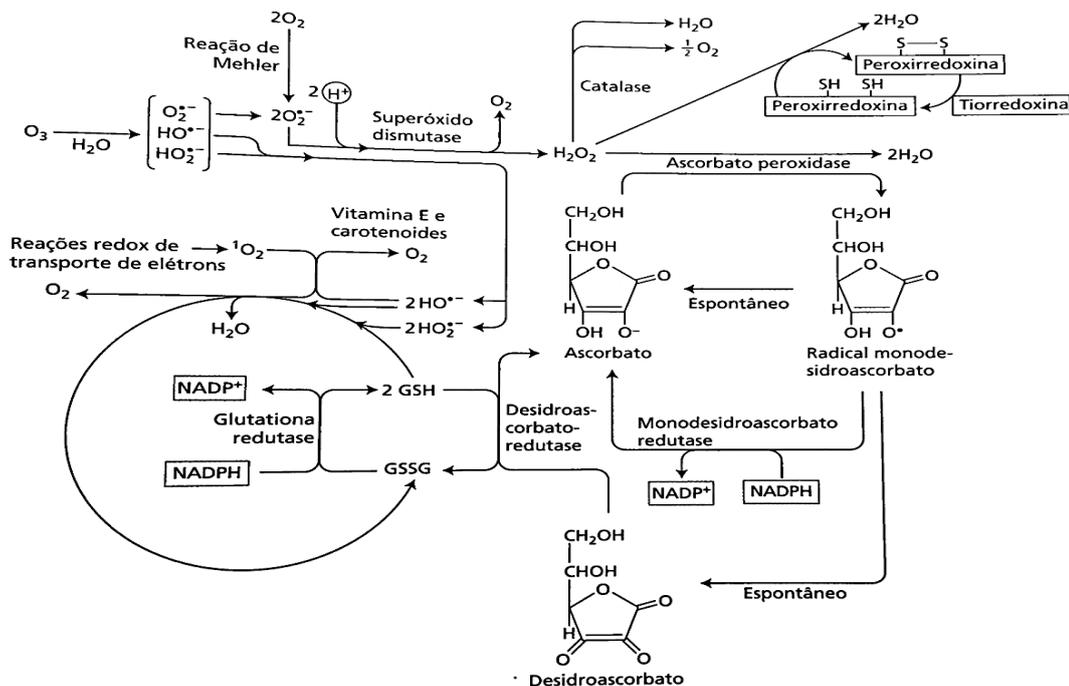
Fonte: Raven, 1996.

As enzimas hidrolíticas da parede celular degradam esses componentes da parede levando ao amaciamento dos frutos (Taiz; Zeiger, 2017; Bhat, 2000). As substâncias pécticas sofrem a mais marcante modificação durante o amadurecimento de frutos, como solubilização e despolimerização (Chitarra; Chitarra, 2005; Taiz; Zeiger, 2017). A enzima hidrolítica pectinametilesterase (PME, E.C.3.1.1.11) hidrolisa os grupos metil-éster das substâncias

pécticas produzindo pectinas de menor grau de metilação. A ação da PME é de extrema importância, pois as mudanças texturais, sejam decorrentes do amadurecimento normal ou de danos diversos, estão intimamente ligadas às degradações das pectinas (Sainz; Vendruscolo, 2015). O produto da catálise da PME serve como substrato para a enzima poligalacturonase (PG, E.C. 3.2.1.15) que catalisa a hidrólise das ligações β -1,4 entre os resíduos de ácido galacturônico da cadeia de pectina. Então, a ação conjunta destas enzimas promove o amaciamento e a consequente perda de firmeza do fruto (Farinas, 2011).

A fisiologia pós-colheita de um fruto está intimamente associada com a sua taxa respiratória e apesar desta diminuir com o amadurecimento dos frutos não-climatéricos como pedúnculo do cajueiro, ainda influencia diretamente seu metabolismo e sua vida útil pós-colheita. Em condições fisiológicas normais (Figura 4), a respiração mitocondrial produz espécies reativas de oxigênio (EROs) como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), o superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$), o oxigênio singlete ($^1\text{O}_2$) e o radical hidroxila (OH^{\cdot}), estes três últimos radicais livres. As EROs são capazes de reagir rapidamente com os constituintes celulares e oxidá-los, além de desencadear processo autocatalítico de oxidação de membranas levando a apoptose, acumulando em resposta a diferentes tipos de estresses ambientais. As EROs podem ser neutralizadas ou eliminadas por diferentes compostos do metabolismo antioxidante de natureza enzimática ou não (Taiz; Zeiger, 2017).

Figura 4: Metabolismo antioxidante de eliminação de EROs em plantas.



Fonte: Taiz; Zeiger, 2017.

A catalase (CAT, EC 1.11.1.6) é uma enzima cuja função é neutralizar H_2O_2 em água (H_2O) e oxigênio molecular (O_2). A catalase é dividida em três classes: classe 1, responsável pela dismutação de H_2O_2 produzido durante a fotorrespiração; classe 2, produzidas nos tecidos vasculares com função de lignificação; classe 3, presente nas sementes e plantas jovens e tem função de remover o H_2O_2 produzido durante a degradação dos ácidos graxos no glioxissomos (Lehninger, 2019; Taiz; Zeiger, 2017). A peroxidase do ascorbato (APX, EC 1.11.1.1) utiliza o ascorbato como doador de elétrons para reduzir o H_2O_2 , fazendo parte do ciclo da ascorbato-glutationa, sendo importante em compartimentos da célula onde não há ação da catalase, como nos cloroplastos. As isoenzimas de APX são distribuídas em compartimentos distintos como na mitocôndria (miAPX), citosol (cAPX), peroxissomo/glioxissomo (mAPX) e nos cloroplastos (chlAPX) (Taiz; Zeiger, 2017).

Dentre os antioxidantes presentes nas células dos frutos, estão também os compostos de natureza não enzimática denominados como bioativos por exercerem papéis benéficos à saúde humana (Hamerski *et al.*, 2013). Os carotenoides são pigmentos associados com a coloração do amarelo ao vermelho encontrado nas plantas além apresentarem um potencial antioxidante. No pedúnculo do cajueiro, o ácido anacárdico é o principal carotenoide responsável pela coloração amarela na película e aumenta com o amadurecimento (Fernández-García *et al.*, 2012; Maia *et al.*, 2019). Os carotenoides como o licopeno também são precursores da vitamina A e apresentam atividade anticancerígena (Maia *et al.*, 2019).

Os compostos fenólicos são importantes antioxidantes e o conteúdo de polifenóis totais no pedúnculo maduro da cultivar BRS 189 é $54,8 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{MF}$ (Lopes *et al.*, 2012). Dentre estes, estão alguns envolvidos com pigmentação como antocianinas e flavonoides amarelos como miricetina (Betaglioni *et al.*, 2015) e outros treze tipos de flavonoides glicosilados (Brito *et al.*, 2007). O conteúdo de flavonoides amarelos é maior nos clones CCP 76 e BRS 189 conferindo sua coloração amarela (Lopes *et al.*, 2012; Hamerski *et al.*, 2013). Já as antocianinas estão associadas com a coloração vermelha e a mais abundante nos pedúnculos é 3-O-hexosídeo de metil-cianidina (Brito *et al.*, 2007). As antocianinas apresentam potencial de prevenção de doenças cardiovasculares, cancerígenas e neurodegenerativas devido ao seu potencial antioxidante (Hamerski *et al.*, 2013). As polifenoloxidasas (PPO, EC 1.14.18.1) atuam sobre compostos fenólicos, causando a sua oxidação a quinonas na presença de O_2 e o escurecimento dos tecidos devido à polimerização delas ou à sua reação com aminoácidos e proteínas (Chitarra; Chitarra, 2005; Freire *et al.*, 2013).

2.4 Tecnologias pós-colheita

A pós-colheita se inicia no momento da colheita ou separação da planta-mãe com intenção de utilizá-lo como alimento. Um dos principais focos das tecnologias pós-colheita é o armazenamento para garantir a conservação e qualidade do vegetal até o seu consumo (Cortez, 2010; Taiz; Zeiger, 2017). Durante o armazenamento pós-colheita, se objetiva reduzir a atividade biológica do produto, inibir o crescimento de microrganismos e diminuir a perda d'água e os principais fatores que influenciam isso são temperatura, umidade relativa (UR) e higiene da câmara de armazenamento (Chitarra; Chitarra, 2005).

A refrigeração é a mais comum e eficiente tecnologia empregada na pós-colheita, todavia alguns cuidados são importantes ao estabelecer a temperatura de armazenamento de um produto. Temperaturas muito baixas, próximas de 0 °C, podem induzir desordens com sintomas como murchamento, alterações na firmeza, maturação anormal, e escurecimento, enquanto temperaturas altas podem acelerar o amaciamento, alterações na coloração, incidência de microrganismos e perda de água (Chitarra; Chitarra, 2005).

A umidade relativa do ambiente de armazenamento, caso seja baixa pode resultar na perda de água, de peso e qualidade, e se for elevada, favorece o desenvolvimento de microrganismos e brotamento (Chitarra; Chitarra, 2005). Dentre os fatores que podem interferir na perda de água do vegetal, pode-se citar o tipo de tecido superficial e a área de superfície exposta por unidade de volume (Chitarra; Chitarra, 2005).

O maior obstáculo na comercialização do pedúnculo do cajueiro fresco é o curto período pós-colheita e, portanto, diferentes tecnologias como redução de temperatura de armazenamento (Moura *et al.*, 2010) e o tratamento com cálcio associado a refrigeração (Figueiredo *et al.*, 2007) têm sido empregadas na pós-colheita com objetivo de aumentar sua vida útil.

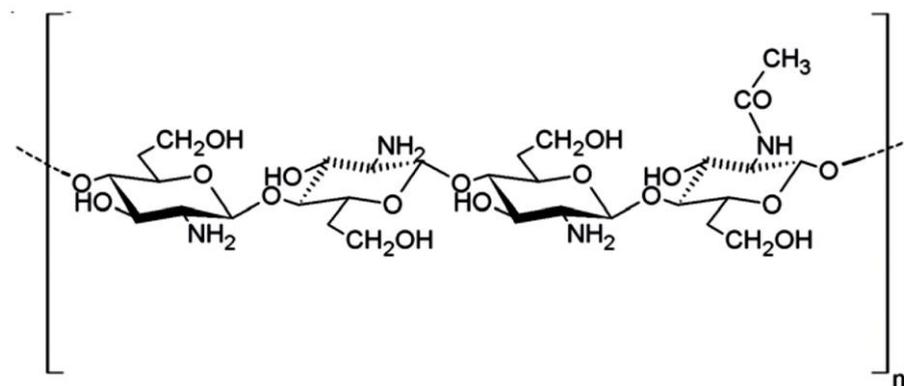
2.5 Revestimento comestível

Dentre as tecnologias pós-colheita, estão os revestimentos que são formados por polímeros orgânicos e inorgânicos aplicados sobre a superfície de vegetais para garantir a qualidade e aumentar sua vida útil (Pokhrel *et al.*, 2015). Os revestimentos possuem a capacidade de modificar a atmosfera interna do tecido de fruto criando uma barreira semipermeável que controla as trocas gasosas, reduz a perda de água, mantém a firmeza e inibe a ação microbiana (Chitarra; Chitarra, 2005). Os revestimentos variam em composição como lipídeos, proteínas e carboidratos podendo ser ou não adicionados de surfactantes que

promovem a emulsão e estabilização interfacial com aumento da viscosidade ou estabilidade (Pokhrel *et al.*, 2015; Carvalho *et al.*, 2016; Betchem *et al.*, 2019).

Dentre os biopolímeros empregados como revestimento, tem-se a quitosana (Figura 5) produzida a partir da desacetilação da quitina (poli- β -1(1-4)N-acetil-D-glucosamina) extraída do exoesqueleto de caranguejos, camarões e lagostas (Felipe *et al.*, 2017). De modo que se o grau médio de acetilação for até 40%, é considerado quitosana e se o polímero possuir grau de acetilação superior a 40% é considerado quitina (FELIPE *et al.*, 2017).

Figura 5. Estrutura de quitosana.



Fonte: Felipe *et al.*, 2017

A quitosana possui diversas propriedades e versatilidades de aplicação por ser atóxica, biocompatível e apresentar atividades de adsorção e quelante (Pokhrel *et al.*, 2015; Betchem *et al.*, 2019). Esse biopolímero é considerado um polieletrólito por possuir grupos ionizáveis aniônicos ou catiônicos em toda extensão de sua cadeia. Seus grupos amino apresentam reatividade e pH menor que 6,5, com capacidade de ligar-se a íons hidrogênios (Ng *et al.*, 2016; Sobreira *et al.*, 2020; Sánchez *et al.*, 2020).

O revestimento à base de quitosana mantém a qualidade pós-colheita por contribuir para a integridade estrutural de membranas biológicas e parede celular atuando como uma barreira física às trocas gasosas, diminuindo a taxa respiratória e a dependência de O₂, além de possuir atividade antifúngica (Carvalho *et al.*, 2016; Nyari *et al.*, 2020; Brito; Assis, 2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material vegetal

Os pedúnculos de cajueiro precoce BRS 189 foram colhidos no estágio maduro de plantas com 12 anos em espaçamento 8 x 6 m, cultivadas em condições de sequeiro na Estação Experimental da Embrapa Agroindústria Tropical em Pacajus-CE, Brasil (lat. 4°11'26,62" S e lon. 38°29'50,78" O), no ano de 2020. Nesse ano, a pluviosidade foi de 940,2 mm (Funceme, 2020) e o solo da região é do tipo neossolo quartzarênico de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018).

Após a colheita, os pedúnculos foram transportados em temperatura e umidade ambiental para o Laboratório de Bioquímica e Fisiologia de Frutos do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular na Universidade Federal do Ceará-UFC, em Fortaleza-CE. Os frutos foram selecionados (Figura 6) quanto a uniformidade e ausência de defeitos (tais como injúrias), sanitizados com solução de hipoclorito de sódio na concentração de 20% e solução Tween 20 a 2% por 20 min para remoção de impureza e microrganismos depois, lavados apenas com água destilada.

Figura 6. Seleção dos pedúnculos de cajueiro BRS 189.



Fonte: própria autora

3.2 Métodos

3.2.1 Preparo e aplicação do revestimento

A solução de revestimento a base de quitosana 2% (m/v) foi preparada com 14 g quitosana (Sigma-Aldrich) adicionados ao detergente Tween 20 a 0,3% (v/v) e ao glicerol a 1,5% (v/v), completando o volume com água destilada até 700 mL. Então, a mistura foi homogeneizada em Turrax (IKA®T25 digital) por 2 min a 15000 rpm.

Para revestimento (Figura 8), metade dos pedúnculos foi submersa totalmente na solução de quitosana por 30 s e deixados para secar em estantes sob temperatura ambiente. Os

frutos recobertos foram acondicionados em bandejas de polipropileno e cobertos com filme PVC (15 μm). Assim, os pedúnculos foram divididos em dois tratamentos, aqueles revestidos com quitosana e o grupo controle sem o revestimento de quitosana, e ambos foram armazenados a 5 ± 1 °C em uma câmara incubadora de controle de umidade e temperatura (BOD) por 10 dias.

Figura 7. Aplicação do revestimento de quitosana no pedúnculo de cajueiro BRS 189.



Fonte: própria autora

Durante o armazenamento, as amostras foram avaliadas no dia da colheita (0), no seguinte à colheita (1) e depois, a cada dois dias por 10 dias. Cada amostra era composta por três repetições (bandejas) com três cajus cada repetição. Em cada tempo de avaliação, a castanha foi separada do pedúnculo e este foi processado em uma centrífuga doméstica Walita®, a polpa processada, sem filtração, foi armazenada a -18°C até ser analisada como descrito a seguir.

3.2.2 Análises de Qualidade

3.2.2.1 Perda de massa

A determinação de perda de massa fresca foi realizada conforme IAL (2008), obtida por pesagem em balança semi-analítica (Mark-1300), mensurado o peso dos cajus com e sem o revestimento de quitosana 2% (m/v), utilizado a seguinte fórmula:

$$X = \frac{\text{massa inicial} - \text{massa final}}{\text{massa inicial}} \cdot 100$$

Onde;

X: % de perda de massa do fruto,

Massa inicial: peso dos frutos no dia 0,

Massa final: peso dos frutos no dia da avaliação.

3.2.2.2 *Potencial hidrogeniônico (pH)*

O pH foi determinado através de leitura direta na polpa em pHmetro (Mettler-toledo GmbH), conforme IAL (2008).

3.2.2.3 *Sólidos Solúveis (SS)*

A polpa foi filtrada em papel de filtro e o conteúdo de sólidos solúveis foi determinado utilizando um refratômetro manual (Kasvi) com compensação automática de temperatura, de acordo com AOAC (2002). Os resultados expressos em °Brix.

3.2.2.4 *Acidez Titulável (AT)*

A polpa foi avaliada por titulação volumétrica conforme a metodologia descrita em IAL (2008). Assim, 1,0 g de polpa foi diluído em 50 mL de água destilada e titulado com uma solução de NaOH (0,1 M) (m/v), sendo fenolftaleína 1% utilizada como indicador, até a mudança de cor para róseo. Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido málico.

3.2.2.5 *Relação SS/AT*

A relação de Sólidos Solúveis por Acidez Titulável (SS/AT) foi calculada conforme AOAC (2002).

3.2.2.6 *Proteínas Solúveis Totais*

O conteúdo de proteínas solúveis totais na polpa foi determinado segundo Bradford (1976), com modificações, utilizando albumina sérica bovina (BSA) como padrão e os resultados foram expressos em mg de proteína (P).Kg⁻¹massa fresca (MF), sendo utilizados para o cálculo das atividades enzimáticas específicas.

3.2.3 *Variáveis associadas à firmeza*

3.2.3.1 *Firmeza*

A firmeza foi determinada por meio de um penetrômetro manual (Magness-Taylor modelo FT 02) mediante pressão exercida na região lateral do pedúnculo íntegro, sendo realizadas duas medições em regiões opostas e equidistantes. Resultados expressos em Newton.

3.2.3.2 Atividade da pectinametilesterase (PME; EC 3.1.1.11)

O extrato enzimático da PME foi obtido conforme metodologia descrita por Jen e Robinson (1984) adaptada por Lima (2002), com modificações, onde 5,0 g foram macerados com 20 mL de NaCl 0,2 M (m/v), em banho de gelo, depois, filtrados em papel de filtro Whatman N.1 e o filtrado considerado como extrato enzimático.

A determinação da atividade das PME seguiu de acordo com Jen e Robinson (1984). Extrato (5 mL) foi homogeneizado em solução de pectina cítrica 1% em NaCl 0,2M (m/v) pH 7,0, acompanhando a desmetilação da pectina por 10 min durante a titulação com NaOH 0,01 M com o pH do meio reacional constante em 7,0. Uma unidade de atividade enzimática foi definida como a quantidade de enzima capaz de catalisar a desmetilação de pectina correspondente ao consumo de nmol de NaOH em $\text{UAE} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}\text{P}$.

3.2.3.3 Atividade da poligalacturonase (PG, EC 3.2.1.15)

O extrato enzimático para a poligalacturonase foi obtido conforme a metodologia descrita por Pressey e Avants (1973), com modificações, onde 12 g de polpa foram homogeneizados com 25 mL de água destilada, centrifugados em centrífuga Sigma 2-16KL a 3250 x g por 10 min a 4 °C. O sobrenadante foi descartado e o precipitado foi adicionado 10 mL de água destilada e centrifugado a 3250 x g por 10 min a 4 °C. O sobrenadante foi descartado e o precipitado foi homogeneizado com 20 mL de NaCl 1,0 M, e incubado por 1 h a 4 °C. Após nova centrifugação a 3250 x g por 10 min a 4 °C, o sobrenadante foi separado e considerado o extrato.

A atividade de poligalacturonase (PG) foi determinada conforme o método de Pressey e Avants (1973), através de metodologia do ácido 3,5-dinitro salicílico (DNS) de Somogyi adaptada por Nelson (1944).

O extrato (300 μL) foi homogeneizado com 300 μL de ácido poligalacturônico a 0,25 % em tampão acetato de sódio 37,5 mM, pH 5,0 e deixado em banho-Maria a 30 °C por 3 h, para que a reação ocorra, e seguido por banho de gelo. Depois, foi retirada uma alíquota de 150 μL desta mistura e adicionada 100 μL de DNS em banho-Maria a 100 °C por 5 min, seguido de banho de gelo para interromper a reação. Então, foi adicionado 750 μL de água destilada, retirado uma alíquota de 250 μL da mistura final e a absorbância foi medida a 540 nm, representado o açúcar redutor 2 (AR2).

Para açúcar redutor 1 (AR1), foi retirado 300 μL de extrato com 300 μL de água destilada e homogeneizados em vórtex a 1 min, foi retirado 150 μL desta mistura e adicionados a 100 μL de DNS, deixados em banho-Maria a 100 °C por 5 min, seguido de

banho de gelo para interromper a reação, adicionado 750 μL de água destilada e retirado uma alíquota de 250 μL da mistura final, feito leitura a 540 nm em leitor de microplaca (SinergyMx Biotek).

A subtração dos valores de açúcares redutores na fórmula abaixo foi utilizada nos cálculos de determinação da atividade da poligalacturonase utilizando glicose anidra como padrão para cálculo de açúcares redutores (μmol) e expressa em $\text{UAE}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}\text{P}$.

$$\text{AR} = \text{AR2} - \text{AR1}$$

Onde,

AR= Açúcares redutores totais

AR1=Açúcares redutores 1

AR2= Açúcares redutores 2

3.2.4 Variáveis do metabolismo antioxidante

3.2.4.1 Atividade da catalase (CAT, EC 1.11.1.6)

A atividade da CAT foi determinada utilizando o método descrito por Beers-Júnior e Sizer (1952), com modificações. A mistura de reação (1,5 mL) foi composta por tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), contendo EDTA 0,1 μM , H_2O_2 20 mM e 50 μL de extrato enzimático. A reação foi iniciada pela adição do extrato, sendo a taxa de desaparecimento do H_2O_2 monitorada por absorbância a 240 nm e quantificada usando seu coeficiente de extinção molar ($36\text{ mM}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$), sendo os resultados expressos em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}\text{P}$.

3.2.4.2 Atividade da peroxidase do ascorbato (APX, EC 1.11.1.1)

O extrato foi preparado seguindo protocolo modificado de Yang *et al.*, (2009). Foi pesado 1,0 g de polpa e homogeneizado por 1 min com 10 mL de solução tampão fosfato de potássio 0,1 M (pH 7,0), contendo 0,1 mM de EDTA. Em seguida, a amostra foi centrifugada a 15.000 x g durante 20 min a 4 °C e o sobrenadante separado e utilizado como extrato enzimático. A atividade da APX foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Nakano e Asada (1981). A mistura reacional foi composta por 210 μL de tampão fosfato de potássio 0,05 M (pH 6,0), contendo EDTA a 0,05 mM, 20 μL de extrato enzimático, 10 μL de H_2O_2 a 5,96 M e 10 μL de ascorbato 0,015 M. O decréscimo na absorbância a 290 nm foi monitorado a cada 1 min por 20 min, em leitor de microplacas (Synergyx Mx Biotek), devido à oxidação do ascorbato. A atividade foi calculada usando o coeficiente de extinção molar (ϵ

= 2,8 mM⁻¹ .cm⁻¹), sendo os resultados expressos em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}\text{P}$, considerando que 1 mol de ascorbato é necessário para a redução de 1 mol de H₂O₂.

3.2.4.3 Atividade da polifenoloxidase (PPO, EC 1.14.18.1)

O extrato foi preparado segundo Sojo *et al.*, (1998). Polpa (1,0 g) foi macerada com 0,2 g de polivinilpolipirrolidona (PVPP), 10 mL de tampão fosfato 0,1 M pH 6,0 contendo 4% de Triton X-100 por 5 min, em banho de gelo. Depois, a mistura foi centrifugada a 5000 x g por 40 min a 4 °C, o sobrenadante foi separado e incubado em banho-Maria a 37 °C, por 10 min. Após, nova centrifugação a 2000 x g por 20 min a 4 °C, o sobrenadante foi recolhido e usado como extrato. Para análise, foi retirado uma alíquota de 80 μL de tampão fosfato 0,1 M pH 6,0 contendo 4% de Triton X-100, 100 μL de extrato enzimático e 5 μL de pirocatecol 0,1 M, e realizado leitura da absorbância a 395 nm. Os resultados foram expressos em UAE.min⁻¹ .mg⁻¹P.

3.2.4.4 Flavonóides amarelos e antocianinas totais

Conforme a metodologia proposta por Francis (1982), o extrato foi preparado a partir de 1,0 g de polpa adicionado 10 mL de solução de etanol-HCl (1,5 N), a mistura foi macerada no escuro e deixada por 12 h na geladeira. Após esse período, a mistura foi centrifugada a 3000 x g por 10 min a 4 °C e o sobrenadante foi separado e filtrado em papel filtro Whatman N.1, obtendo assim o extrato. A quantificação foi efetuada por leitura da absorbância a 535 nm para antocianinas e 374 nm para flavonoides amarelos e o resultado foi expresso em mg.Kg⁻¹ MF.

3.2.4.5 Polifenóis totais

Os polifenóis solúveis totais foram determinados conforme o método descrito por Obanda e Owuor (1997). Em ambiente escuro, foram macerados 4 mL de metanol 50% (v/v) e 1 g de polpa por 1 min e deixados em repouso por 60 min a 25 °C, então centrifugados a 12000 x g por 15 min a 25 °C. O sobrenadante foi filtrado em papel de filtro Whatman N.1 e separado. Ao precipitado, foi adicionado 4 mL de acetona 70% (v/v), homogeneizados em vórtex por 1 min e deixado em repouso de 60 min a 25 °C, seguido de centrifugação a 12000 x g por 15 min a 25 °C, o sobrenadante foi filtrado e unido ao primeiro sobrenadante e constituindo o extrato. Para análise, a solução contendo 125 μL de extrato, 250 μL de reagente de Folin-Ciocalteu 0,25% (v/v), 500 μL de carbonato de sódio anidro 20% (m/v) e 500 μL de água destilada foi preparada e uma alíquota de 250 μL desta mistura foi incubado a

25 °C por 30 min. Após esse período, a absorbância foi medida a 700 nm, usando curva de ácido gálico como padrão e os resultados foram expressos em mg equivalente ácido gálico (EAG).Kg⁻¹ MF.

3.2.4.6 Carotenóides

A determinação de carotenóides seguiu a metodologia de Higby (1962) e de Lichtenthaler *et al.* (1983), com modificações. O extrato foi preparado com 1 g de polpa, 1 mL de acetona 80% e 0,1 g de carbonato de cálcio e submetido a centrifugação por 15 min a 3000 x g 25 °C, sendo o sobrenadante será separado como o extrato. As absorbâncias deste extrato foram mensuradas a 663 nm para clorofila a, a 646 nm para clorofila b e 480 nm para carotenoides em leitor de microplacas (Synergyx Mx Biotek) utilizando a acetona 80% como branco, e foram calculados segundo as fórmulas abaixo e os resultados foram expressos em mg .kg⁻¹ MF.

$$\text{- Clorofila a (mg} \cdot \text{mL}^{-1}\text{)} = 12,21 \cdot (A663) - 2,81 \cdot (A646)$$

$$\text{- Clorofila b (mg} \cdot \text{mL}^{-1}\text{)} = 20,13 \cdot (A646) - 5,03 \cdot (A663)$$

$$\text{- Carotenoides (mg} \cdot \text{mL}^{-1}\text{)} = \frac{(1000 \cdot [A470] - 3,27 \cdot [\text{Clorofila a}] - 104 \cdot [\text{Clorofila b}])}{229}$$

3.2.5 Análise estatística

O delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x6, sendo dois tratamentos (controle e revestimento) e seis dias de avaliações. Em cada tempo de avaliação, uma amostra era composta por três repetições (bandejas) com três pedúnculos cada e todas as análises foram realizadas em triplicatas para cada repetição.com três repetições dos experimentos. Os dados foram submetidos à análise de variância usando o SISVAR versão 9.1 (2006) para testar diferença entre as médias pelo Teste de Tukey ($\alpha = 5\%$) sendo os resultados foram expressos em média \pm desvio padrão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análises de qualidade

A Figura 8 mostra a aparência dos cajuas BRS 189, cujos pedúnculos foram revestidos com solução de quitosana 2% e os sem revestimento ou controle. Pode ser observado que o revestimento confere um brilho ao pedúnculo, mas que após o 3º dia começa a afetar a cor que muda para tom amarelado.

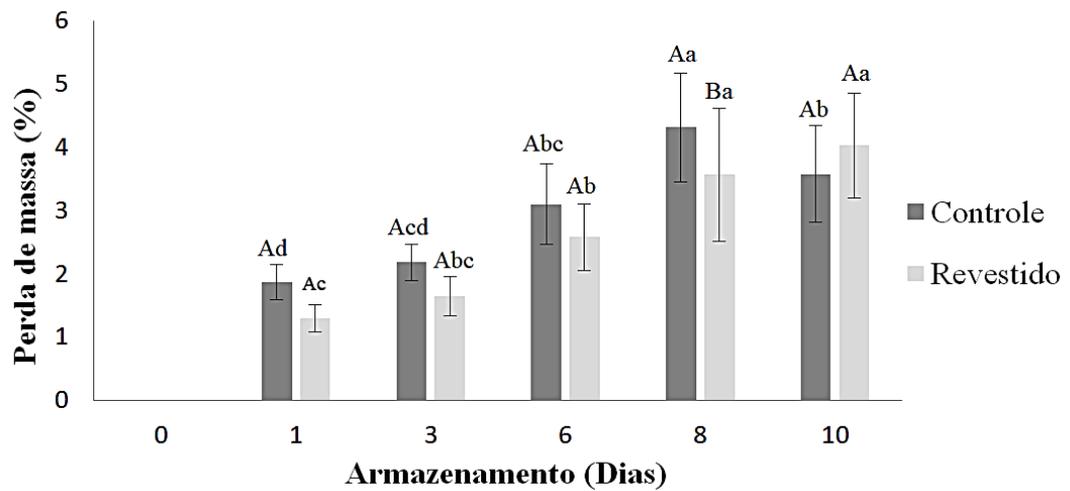
Figura 8: Cajuas revestidos com solução de quitosana 2% (esquerda) e controle (direita) em cada dia de análise, durante os 10 dias de armazenamento a 5 °C.



Fonte: própria autora

A perda de massa aumentou significativamente com o armazenamento, porém quanto aos tratamentos, estes apresentaram diferença estatística apenas no dia 8 de armazenamento (Figura 9), com perda de 3,11% no controle e menor 2,59% nos pedúnculos revestidos, porém, no 10º dia de armazenamento, não apresentavam diferença estatística.

Figura 9: Perda de massa de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.



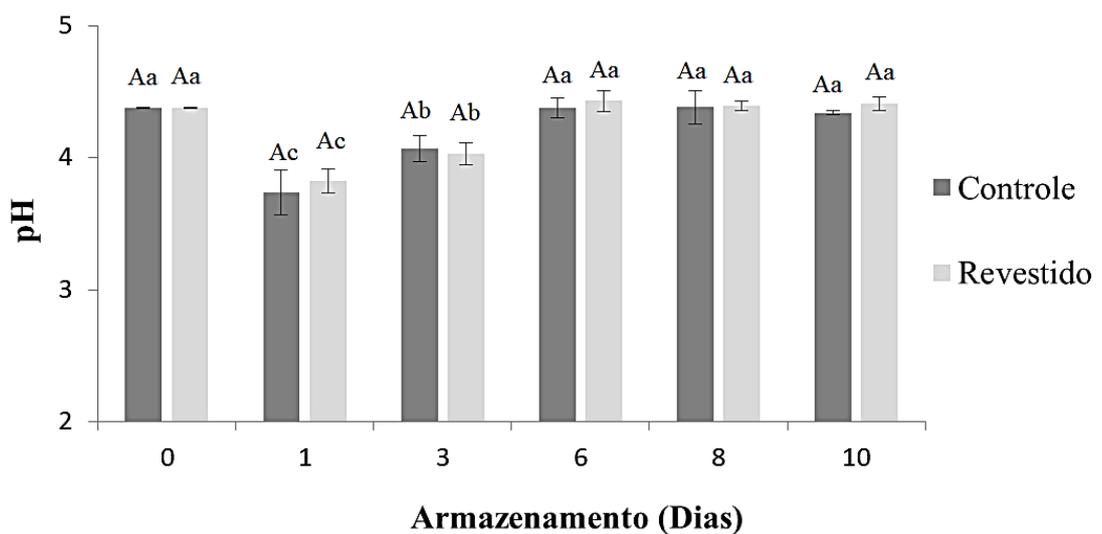
*Letras maiúsculas e minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Almeida *et al.* (2011) avaliaram pedúnculos de cajueiro CCP 76 colhidos manualmente, e armazenados em câmara fria à 10±1 °C e UR de 85±5%, por 15 dias. relataram uma perda de massa de 2,6%. No trabalho de Sena *et al.* (2019a), caju CCP 76 foram hidrosfriados por imersão em água clorada em diferentes temperaturas de armazenamento 1, 3, 5 e 7 °C e os autores observaram que a perda de massa fresca está diretamente relacionada a perda de água, assim como a mudança de coloração. O efeito da perda de água na massa fresca pode estar relacionado ao fluxo de água no caju, onde após a colheita, o abastecimento da planta é interrompido e a transpiração passa a ser responsável por promover a perda de água (Taiz; Zeiger, 2017). Sena *et al.* (2019b) avaliaram pedúnculos caju CCP 76 hidrosfriados (HY), hidrosfriamento e imersão em solução de CaCl 2% (HYCa), revestimento comestível de amido de milho (CE) revestimento comestível de amido de milho enriquecido com CaCl a 2% (ECCa), porém, os revestidos apresentaram maior perda de massa de 3,7 e 4,2% respectivamente, que foi maior do pedunculo não revestido, sendo justificado pelo uso do recobrimento a base de amido não ser eficiente em minimizar a perda de massa, o amido de milho ceroso apresenta maior estabilidade em temperaturas mais baixas do que o amido comum, e devido a sua natureza hidrofílica, então o resfriamento rápido foi responsável pelo sucesso na redução da perda de peso e qualidade visual mais do que o cálcio, uma vez que não houve diferença ($P < 0,05$) entre HY e HYCa.

Betchem *et al.* (2019) também não observaram diferença significativa na perda de massa de pimentões revestidos com nanopartículas de quitosana (0,05 %) e o controle, porém perderam massa com o decorrer do armazenamento por 21 dias. Nyari *et al.* (2020) avaliaram alho revestido com quitosana e identificaram perda de massa maior no controle (65%) enquanto no revestido foi menor com 40%. Brito e Assis (2020) avaliaram maçãs ‘Fuji’ revestidas com quitosana e relataram que o revestimento possui alta atividade antifúngica contra *Penicillium expansum*.

O pH está diretamente relacionado a acidez dos pedúnculos e este não foi influenciado pelo revestimento (Figura 10), de modo que no dia 10 o pH era 4,41 para pedunculo revestido e 4,34 para controle.

Figura 10: pH de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.

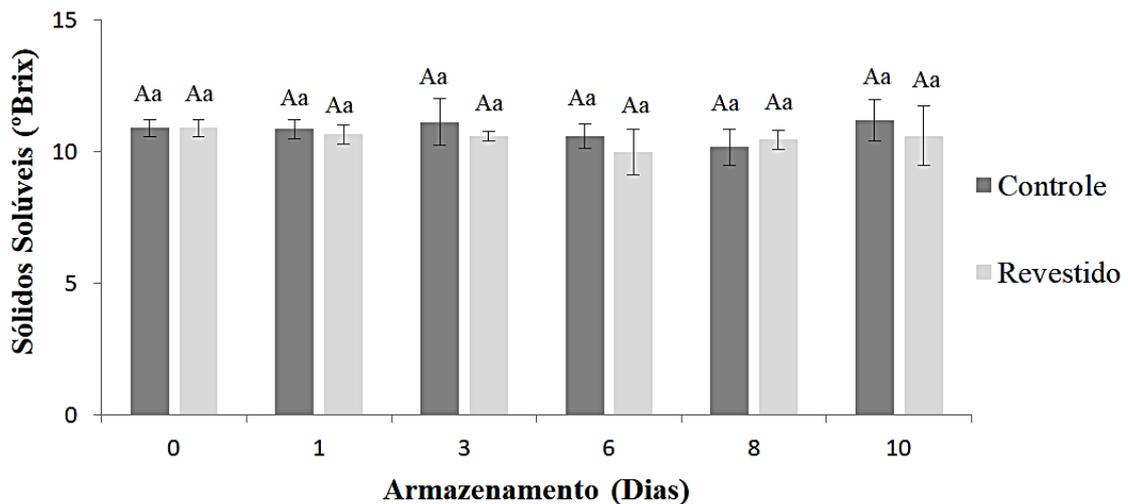


*Letras maiúsculas e minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Castro *et al.* (2015) e Freitas *et al.* (2020) afirmaram que pH inferior a 4,5 resulta em polpas com maior resistência a contaminações microbianas, com preservação da qualidade e não utilização de tratamento com alta temperatura, portanto reduz o custo de industrialização (Aroucha *et al.*, 2010). Almeida *et al.* (2011) avaliaram pedúnculos CCP 76 no dia da colheita e encontraram pH 4,35 e Silva *et al.* (2013) caracterizou a polpa de caju congelada e observou pH de 3,99. Nyari *et al.* (2020) avaliaram alho fresco revestido com quitosana e seu pH variou no controle entre 5,0 e 5,7, enquanto no revestido manteve-se 4,7.

O conteúdo de sólidos solúveis é uma medida indireta do conteúdo de açúcares e manteve-se constante sem diferença significativa entre os tratamentos e os tempos analisados (Figura 11). De modo que aos 10 dias de armazenamento, o conteúdo de SS era 10,60 °Brix.

Figura 11: Sólidos Solúveis de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.

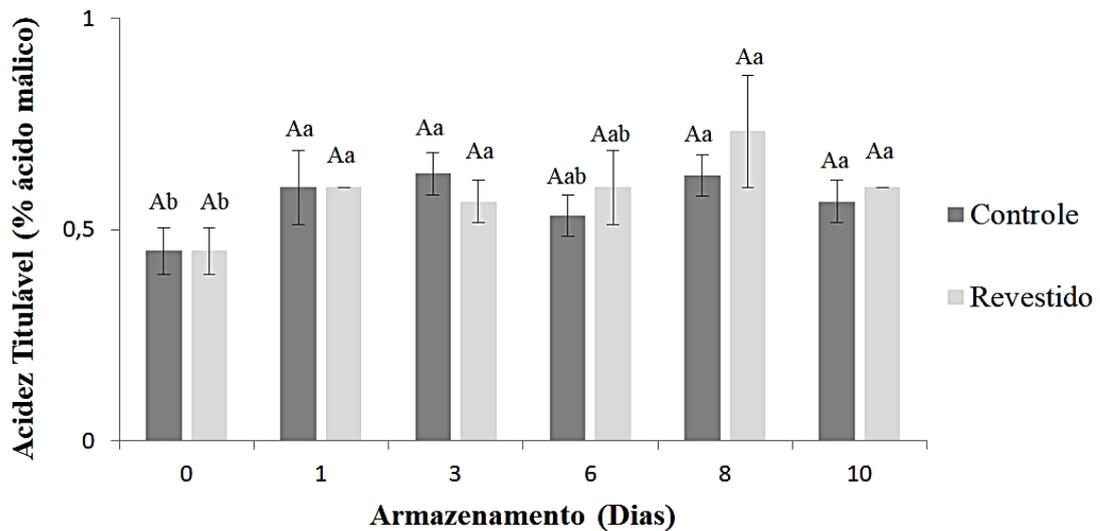


*Letras maiúsculas e minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Na revisão de Das e Arora (2017) sobre as características físico-químicas, os SS variaram entre 5,0 e 15,0 °Brix em pedúnculos de cajueiros oriundos de países diferentes como Índia, Nigéria, Brasil, África do Sul e Nigéria. Sena *et al.* (2019b) em seu trabalho com pedúnculos de caju CCP 76 hidrorresfriados (HY), hidrorresfriamento e imersão em solução de CaCl 2% (HYCa), revestimento comestível de amido de milho (CE), revestimento comestível de amido de milho enriquecido com CaCl a 2% (ECCa), encontraram SS de 10,7 °Brix na colheita, com aumento significativo ($P < 0,05$) durante o armazenamento. Em HY e EC, o aumento de SS foi de 2,7 °Brix para ambos os tratamentos, e quando combinados com cálcio HYCa e ECCa observou-se um aumento ($P < 0,05$) de 7,9 e 9,2 °Brix, respectivamente. Almeida *et al.* (2011) avaliaram pedúnculos CCP 76 e observaram valor de 13,3 °Brix.

O revestimento com quitosana não interferiu na acidez titulável (AT) (Figura 12), que aumentou com o tempo de armazenamnto de 0,45% na colheita para 0,6% no 10° dia, podendo ser explicado pelo amadurecimento com liberação de ácidos orgânicos pela ação de enzimas catalíticas. Na revisão de Das e Arora (2017), o valor de AT variou entre 0,5 e 1% de ácido málico.

Figura 12: Acidez titulável de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.



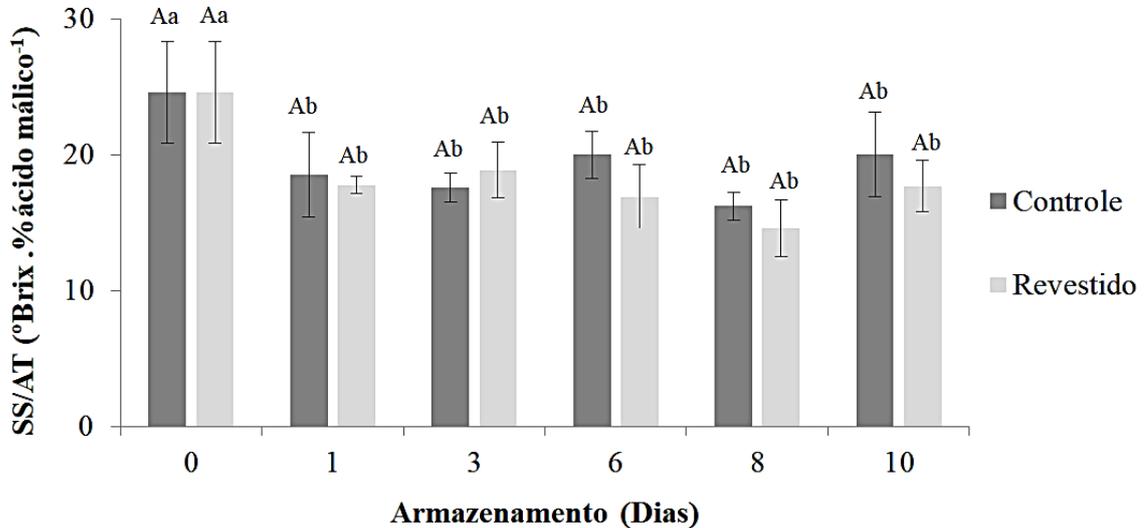
*Letras maiúsculas e minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Sena *et al.* (2019b) relataram que a acidez titulável diminuiu durante o armazenamento com refrigeração e revestimento de cálcio em caju para 0,25 % de ácido málico, enquanto no dia da colheita era 10,7 %, o que também foi observado em figos (Irfan *et al.*, 2013) e em cereja doce (Wang *et al.*, 2014). Freitas *et al.* (2020) em um estudo com comparativo de qualidade com diferentes cultivares de caju, afirmam que baixo pH associado com altos valores de acidez resultam na preservação do produto e evitam o crescimento de leveduras, sendo importante ao agronegócio.

A relação SS/AT indica o equilíbrio entre os sólidos solúveis e a quantidade de ácidos livres presentes no pedúnculo o revestimento com quitosana não afetou essa variável (Figura 13), que sofreu influência do tempo decaindo de $24,60 \pm 3,7$ no dia da colheita (dia 0) para $17,78 \pm 0,6$ no dia 1, depois se manteve constante.

Sena *et al.* (2019b) identificaram um aumento da relação SS/AT durante o período de armazenamento do caju, onde houve maior relação nos revestidos de amido de milho enriquecida com CaCl 2%, de 30,89 na colheita para 53,62 ao final do armazenamento de 25 dias, sendo atribuída estes valores aos fatores ambientais e de produção como o transporte, a mudança de temperatura, ou a forma de estocagem até a análise. Almeida *et al.* (2011) avaliaram pedúnculo CCP 76 e observaram uma relação de sólidos solúveis por acidez titulável de 50,5.

Figura 13: Relação entre sólidos solúveis e acidez titulável de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.

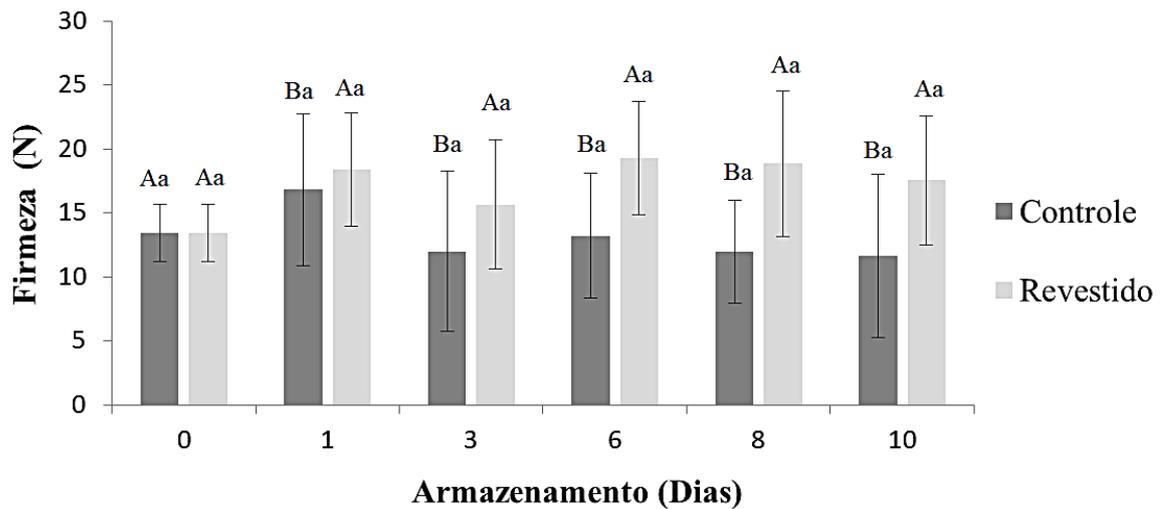


*Letras maiúsculas e minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

4.2 Análise de variáveis associadas à firmeza

A firmeza é uma importante e determinante variável de qualidade ao consumidor e no dia da colheita, os pedunculos apresentavam firmeza de 13,5 N (Figura 14). A partir do dia 1, o revestimento com quitosana resultou em uma firmeza significativamente maior até os 10 dias de armazenamento quando o controle apresentava 11,7 N e os pedunculos revestidos, 17,6 N. Portanto, o revestimento de quitosana manteve uma maior firmeza que é um importante indicador de qualidade pós-colheita para pedúnculo de cajueiro

Figura 14: Firmeza de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.



* Letras maiúsculas e minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

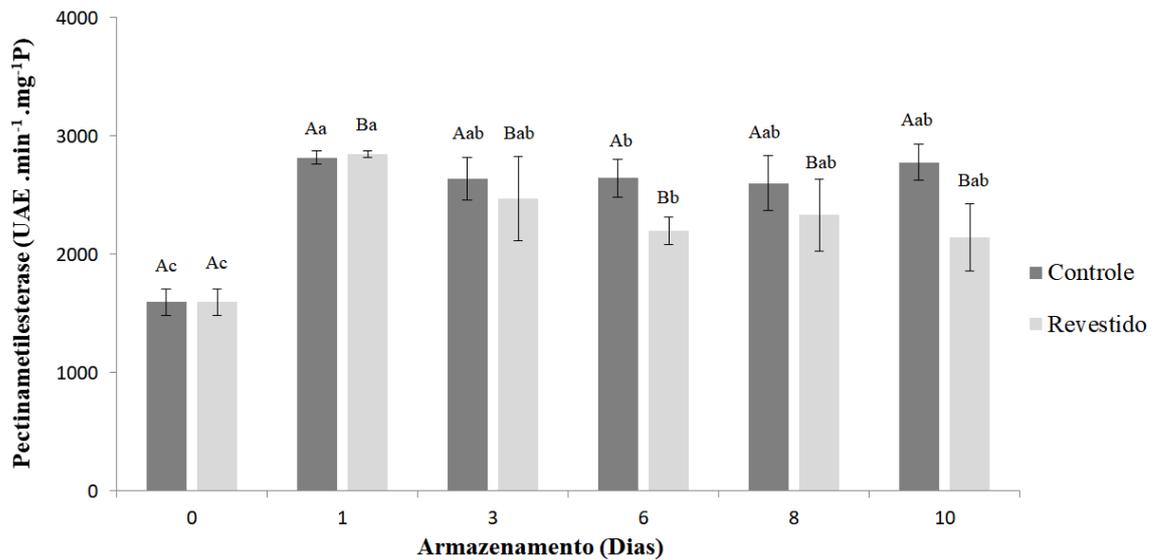
Souza *et al.* (2018) trataram pedúnculos de cajueiro BRS 189 na pré-colheita com hormônios GA₃ + AVG e GA₃ e observaram que os pedúnculos controle apresentaram firmeza de 15,09 N, enquanto os tratados com GA₃ até 40 dias após antese apresentaram 20,26 N e GA₃ (40 DAA) + AVG (45 DAA) com 18,33 N. Resultados semelhantes foram encontrados em Sena *et al.* (2019a), com diminuição significativa na firmeza dos pedúnculos de cajueiro CCP 76 após 20 dias de armazenamento, sendo a menor perda de firmeza nos frutos hidrorresfriados com 4,5% do que caju sob resfriamento (26,2%) após 25 dias. Paniagua *et al.* (2014) afirma que um maior percentual de água pode ocasionar aumento da firmeza do epicarpo, consequentemente aumentando a resistência mecânica da epiderme, o que influencia a firmeza geral do fruto.

Moura *et al.* (2010) armazenaram pedúnculos CCP 76 e END 183 sob 3,4±0,6 °C e umidade relativa de 85±11 % por 30 dias de armazenamento e relataram firmezas de 5,11 N e 5,5 N para CCP 76 e END 183, respectivamente. Almeida *et al.* (2011) analisaram pedúnculos CCP 76 e relataram firmeza de 10,3 N.

A firmeza está associada à integridade de um tecido que depende da parede celular. A parede das células pode ser hidrolisada por enzimas como a PME cuja atividade aumentou a partir do tempo 0 (Figura 15), mas foi significativamente menor nos pedúnculos revestidos de modo que aos 10 dias, o controle apresentava 2776,59 UAE min⁻¹ .mg⁻¹ P e o revestido 2141,88 UAE min⁻¹ .mg⁻¹ P. Os resultados aqui observados para atividade da PME

explicam os de firmeza (Figura 14) e mostram que o revestimento inibiu essa atividade resultando na manutenção da firmeza do pedúnculo.

Figura 15: Atividade específica da pectinametilesterase (PME) de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.

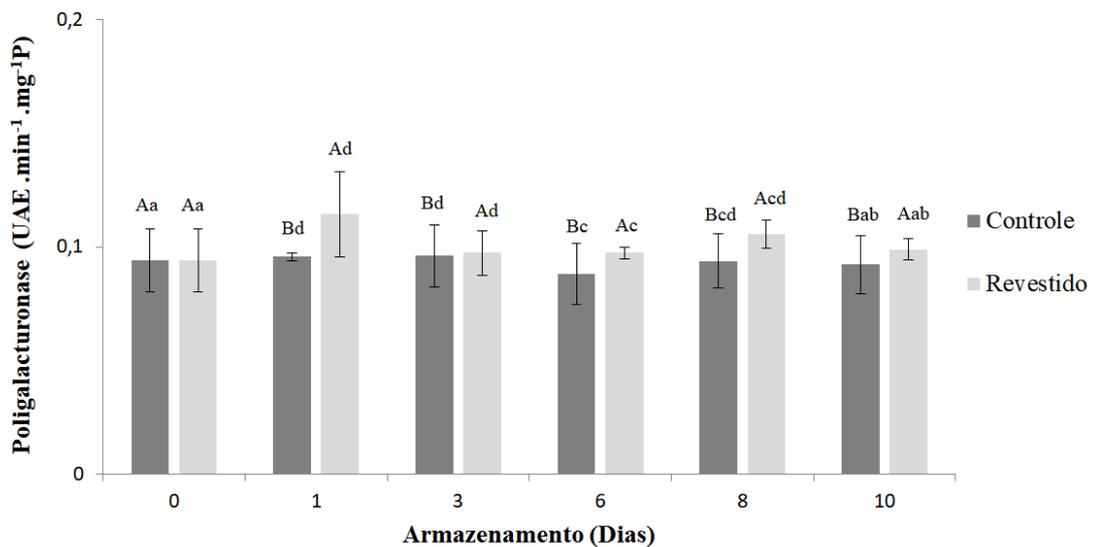


* Letras maiúsculas e minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Rabelo *et al.* (2016) relataram que a atividade da PME do suco de caju era influenciada pela temperatura e pelo tempo, a partir de 501,8 UA .mg⁻¹P e aumentando em até 10 vezes a 55 °C. Após 15 e 20 min a 65 e 85 °C, respectivamente, essa atividade indicou que a PME do caju é termoestável. Souza *et al.* (2018) avaliaram a atividade da PME no pedúnculo BRS 189 tratado com reguladores de crescimento e encontraram menor atividade nos cajueiros com tratamento GA₃ 40 DAA + AVG 45 DAA com 1769.69 UA mg⁻¹P. Carvalho *et al.* (2016) avaliaram melão minimamente processado com revestimento de quitosana adicionado de transcinamaldeído e relataram que a atividade de PME foi menor com o revestimento, com 91.10⁶ UA .mg⁻¹P, enquanto no controle apresentou 144.10⁶ UA .mg⁻¹P. Kirtil *et al.* (2014) concluíram que a alta atividade da PME pode resultar em um maior grau de desesterificação das cadeias de ácido poligalacturônico, e quando essas cadeias são acopladas aos íons de cálcio, provavelmente levam à formação de um gel, evitando danos e auxiliando na preservação da célula e integridade da parede. A PME catalisa a desesterificação da pectina, liberando ácido pectico menos esterificado, enquanto isso, a poligalacturonase (PG) hidrolisa o ácido pectico levando à perda de viscosidade e separação de fases durante o armazenamento do suco (Rabelo *et al.*, 2016).

A atividade da enzima poligalacturonase (PG) apresentou comportamento diferente da PME (Figura 15), pois foi mais alta nos pedúnculos revestidos com quitosana (Figura 16). Ao final de 10 dias de armazenamento, o controle apresentava $0,09 \text{ UAE min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}\text{P}$, enquanto os pedúnculos revestidos apresentavam $0,10 \text{ UAE min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}\text{P}$. O revestimento aumentou significativamente a atividade da PG, apesar de ter diminuído na PME indicando que a PME deve ser a enzima hidrolítica mais fortemente relacionada ao amaciamento do pedúnculo de cajueiro BRS 189.

Figura 16: Atividade específica da poligalacturonase (PG) de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5°C e UR $90\pm 2\%$.



* Letras maiúsculas e minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

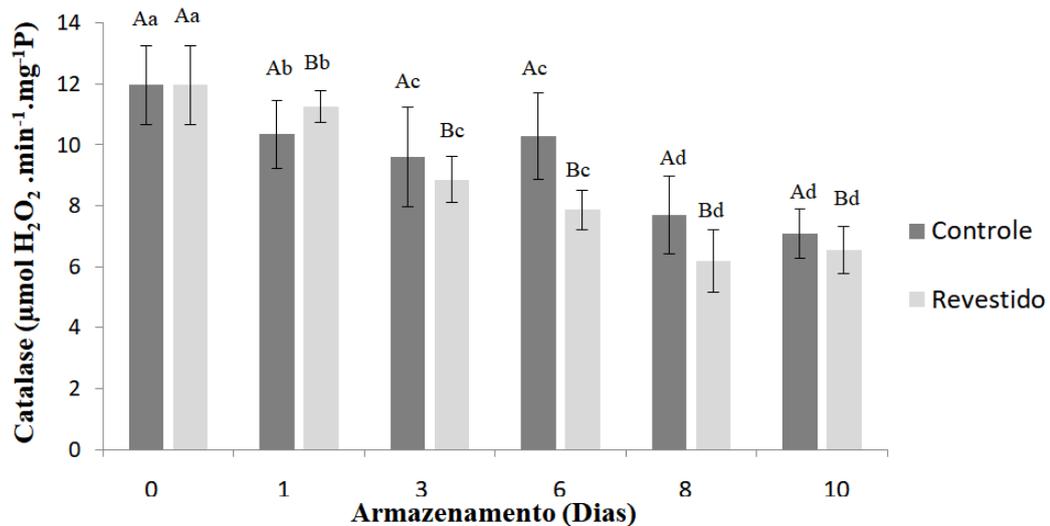
Al-Qurashi e Awad (2015) avaliaram o efeito dos revestimentos pós-colheita de quitosana a 1, 1, 5 e 2% na qualidade em uvas de mesa 'El-Bayadi' após 30 dias de armazenamento e identificaram aumento da atividade PG. Souza *et al.* (2018) avaliaram a atividade da PG no pedúnculo BRS 189 tratado com reguladores de crescimento e encontraram menor atividade nos cajueiros com tratamento GA_3 em 40 DAA com $14,42 \text{ UA mg}^{-1}\text{P}$, enquanto no controle apresentou uma atividade de $11,23 \text{ UA mg}^{-1}\text{P}$.

4.3 Análise de variáveis do metabolismo antioxidante

A enzima catalase tem a função de neutralizar o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em água (H_2O) e oxigênio molecular (O_2) e sua atividade decaiu durante o armazenamento dos pedúnculos a partir de $11,96 \mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}\text{P}$ no dia 0, sendo significativamente

menor com o revestimento (Figura 17) Ao final dos 10 dias de armazenamento, o controle apresentava $7,07 \mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}\text{P}$ e o revestido, $6,55 \mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}\text{P}$. O revestimento com quitosana reduziu a atividade da catalase de pedúnculos BRS 189 resultando em uma menor eliminação de H_2O_2 .

Figura 17: Atividade da catalase (CAT) de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5°C e UR $90\pm 2\%$.



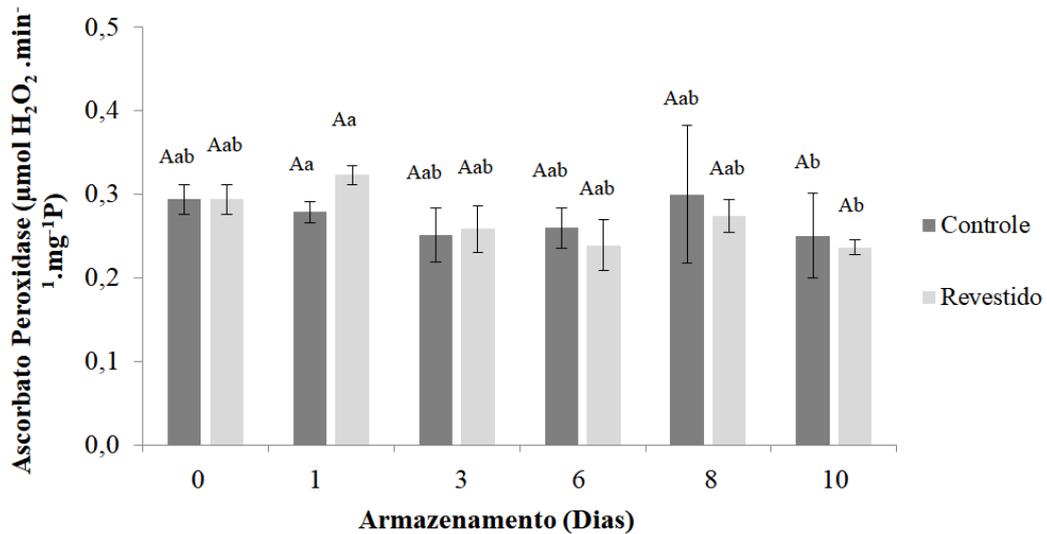
* Letras maiúsculas e minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Carvalho *et al.* (2016) avaliaram melões minimamente processados e revestidos com quitosana adicionada de trans-cinamaldeído e identificaram uma inibição significativa ($P < 0,05$) da atividade da catalase quando em comparação com o controle. Os níveis da atividade da CAT diminuíram de 6,8 para 2,6 a partir do dia 5 nas amostras com o revestimento, enquanto no controle o declínio aconteceu apenas após o dia 10. Inanan (2019) relatou que a quitosana teve a capacidade de inibir a ação da catalase, além de alterar a temperatura ideal de 37°C para 25°C , mas sem alteração do pH. A manutenção de sistemas antioxidantes auxilia na preservação de componentes celulares contra a ação de EROs atrasando consequentemente a senescência (Xia *et al.*, 2016).

A atividade específica da ascorbato peroxidase (APX) não sofreu influência significativa do revestimento, mas apresentou declínio ao 10º dia de armazenamento com 0,25 e 0,24 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}\text{P}$ nos pedúnculos controle e revestido, respectivamente (Figura

18). A menor atividade de eliminação de H_2O_2 da APX indica que a principal responsável pela neutralização é a catalase, em pedúnculos BRS 189 (Figura 17).

Figura 18: Atividade da ascorbato peroxidase (APX) de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.



* Letras maiúsculas e minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

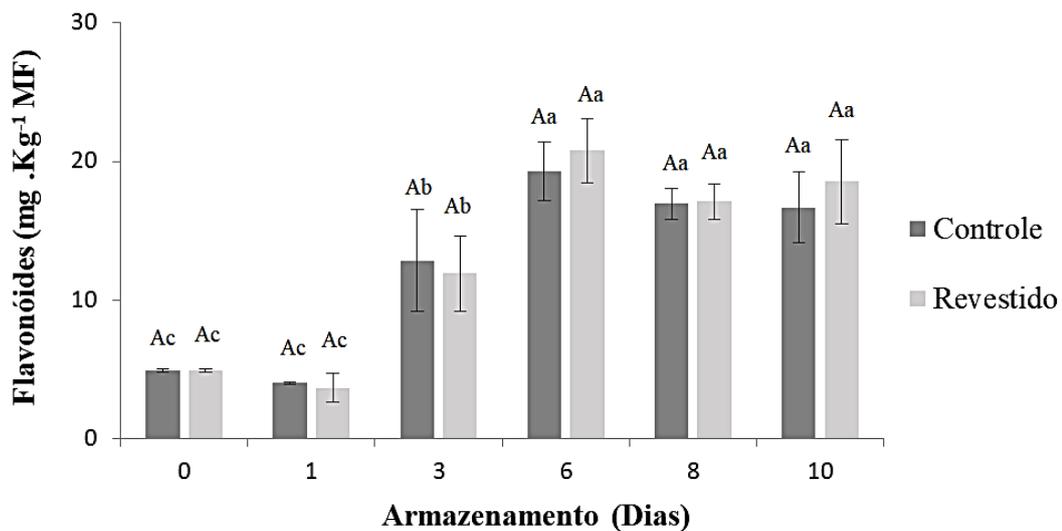
Carvalho *et al.* (2016) trabalharam com melões minimamente processados e revestidos com quitosana 2 %, onde a atividade por mg de proteína de ascorbato peroxidase foi menor que a catalase, e era significativamente ($P < 0,05$) inibido pelo revestimento a $0,6 \mu\text{mol } H_2O_2 \cdot \text{mg}^{-1}\text{P}$ no final do armazenamento, enquanto o controle foi de $1,53 \mu\text{mol } H_2O_2 \cdot \text{mg}^{-1}\text{P}$. A atividade APX mais baixa indicou que CAT é o principal responsável pela neutralização de H_2O_2 nestes melões.

Lopes *et al.* (2012) trabalharam com várias cultivares do cajueiro e relataram que o potencial antioxidante do pedúnculo depende do conteúdo de vitaminas, carotenóides, flavonóides e outros fenóis, sendo assim a cultivar BRS 265 teve um maior teor de vitamina C, justificado pelo declínio na atividade de ascorbato oxidase, a enzima responsável por sua degradação, ou para um declínio nos níveis de Cu^{2+} , que é um cofator para a atividade da ascorbato oxidase.

Os flavonóides amarelos são compostos fenólicos cujo conteúdo não foi influenciado pelo revestimento, mas apenas pelo tempo de armazenamento (Figura 19), mostrando um aumento significativo, de $3,67 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}\text{MF}$ no dia 1 para $18,54 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}\text{MF}$ no dia 10, nas amostras controle. Esse resultado indica que o revestimento de quitosana não

afetou esse composto antioxidante que tem muitas propriedades farmacológicas como antiinflamatória, gastro-protetora, antitumoral e antiaterosclerose (Ki *et al.*, 2006). Os flavonóides amarelos são pigmentos frequentemente encontrados nas plantas, abundantes nas angiospermas e em menor proporção nas gimnospermas, que apresentam grande diversidade estrutural (Taiz; Zeiger, 2017).

Figura 19: Flavonóides de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.

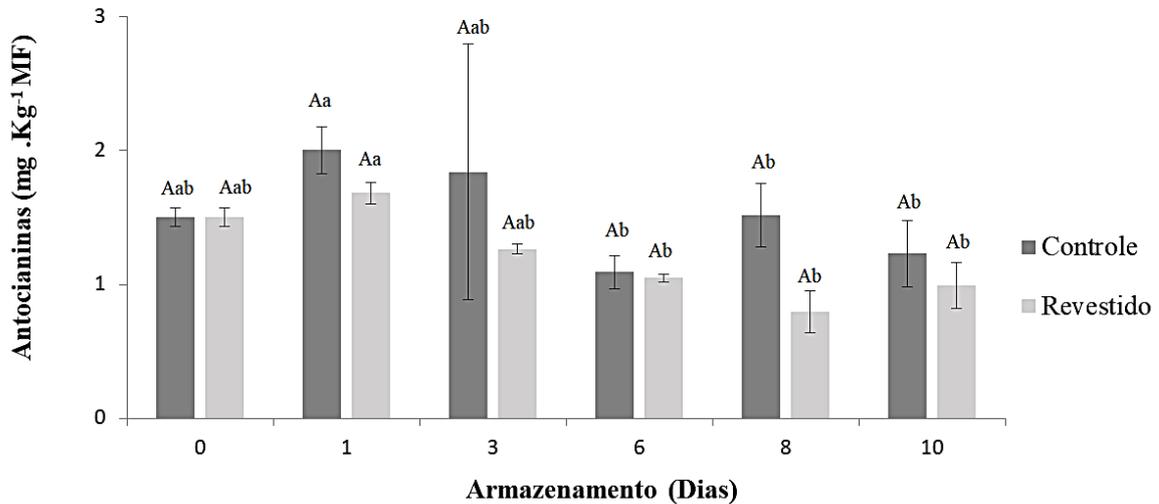


* Letras maiúsculas e minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

O flavonóide amarelo, miricetina, está presente no pedúnculo de cajueiro com 192,00 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e possui capacidade de quelação do ferro em excesso no citoplasma celular, evitando o acúmulo do radical livre hidroxila através da reação de Fenton (Betaglioni *et al.*, 2015). Em um estudo comparativo de cultivares de caju por Lopes *et al.*, (2012), a cultivar BRS 189 apresentou 50,75 $\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}\text{MF}$ de flavonóide amarelo justificando pela perda de clorofila e síntese de outros pigmentos. Porto-Luz *et al.* (2020) quantificaram compostos antioxidantes em cajuína clarificada e identificaram a presença de altos valores de compostos antioxidantes como polifenóis e flavonóides.

Dentre os compostos fenólicos, o conteúdo de antocianinas não foi afetado pelo revestimento, mas foi influenciado pelo tempo de armazenamento (Figura 20), que decaiu de 2,0 mg cianidina 3-glicosídeo. Kg^{-1}MF no dia 1 para 0,99 mg cianidina 3-glicosídeo. Kg^{-1}MF no dia 10.

Figura 20: Antocianinas de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.



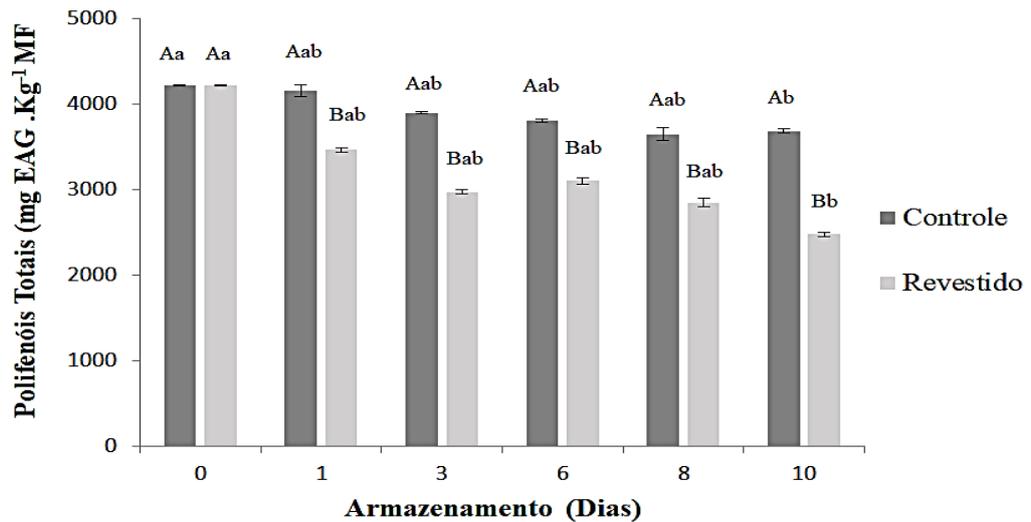
* Letras maiúsculas e minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Valor semelhante ao encontrado em uma comparação realizada com cultivares de caju, dentre as quais a BRS 189 foi considerada a que possui maior conteúdo de antocianinas, com 2,11 mg.Kg⁻¹MF (Lopes *et al.*, 2012). Sena *et al.* (2019b) trataram caju com hidroresfriamento e revestimento de cálcio e observaram que o conteúdo de antocianinas diminuiu significativamente ($P < 0,05\%$) com o tempo de armazenamento.

A redução no conteúdo de antocianinas totais durante o armazenamento também foi relatada para outras cultivares de caju (Morais *et al.*, 2002; Aquino *et al.*, 2011). As antocianinas são pigmentos instáveis e como a maioria dos pigmentos naturais, podem ser facilmente degradados durante o armazenamento do produto (Aquino *et al.*, 2011).

Na análise de polifenóis totais, houve diferença significativa entre os tratamentos e o tempo de armazenamento (Figura 21), com decréscimo em ambos os tratamentos. No dia da colheita (dia 0), ambos os tratamentos apresentaram 4319,3 mg EAG.Kg⁻¹MF, o menor valor foi identificado no pedúnculo revestido com 2477,0 mg EAG.Kg⁻¹MF no décimo dia de armazenamento, valor significativamente menor se comparado ao controle que apresentou 3683,1 mg EAG.Kg⁻¹MF.

Figura 21: Polifenóis totais de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.



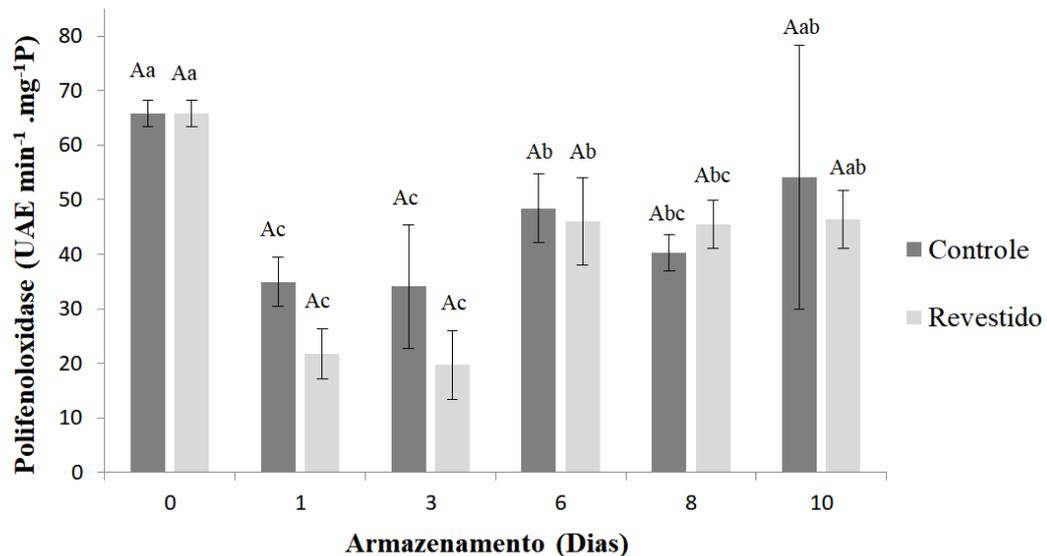
* Letras maiúsculas e minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Os compostos fenólicos presentes no pedúnculo do cajueiro correspondem a 9,10 $\mu\text{g.g}^{-1}$ extrato aquoso, sendo um valor mais baixo que encontrado em cajá-umbu, caju, cupuaçu, graviola e morango (Barros *et al.*, 2020). Lopes *et al.* (2012) também identificaram diminuição de conteúdo de polifenóis em caju BRS 189 durante o armazenamento, com 54,8 mg EAG.Kg⁻¹ MF. Em uma análise com caju CCP 76 e END 183 sob atmosfera modificada, Moura *et al.* (2010) identificaram também diminuições de conteúdos fenólicos durante o armazenamento nestas duas cultivares. Queiroz *et al.* (2011) avaliaram caju vendidos em feira livre onde o valor de polifenóis hidrolisáveis foi de 12,79 e 18,53 mg EAG.Kg⁻¹ MF, valores menores devido a temperatura ambiente de armazenamento.

A concentração de polifenóis é de considerável interesse para as indústrias de alimentos e saúde por causa de suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas e possíveis papéis na prevenção e tratamento de doenças e condições cada vez mais comuns, como obesidade, anticarcinogênica, diabetes tipo 2, hipertensão e síndrome metabólica (Shahidi; Ambigaipalan, 2015; Islam *et al.*, 2016; FONTELES *et al.*, 2016; Tresserra-Rimbau *et al.*, 2016).

A degradação dos polifenóis pode ser resultado de atividade enzimática e a análise de atividade da polifenoloxidase mostrou que não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 22), apenas sido percebido no tempo de armazenamento. Houve uma diminuição do tempo 0 até o terceiro dia de armazenamento, de 65,82 para 19,72 UAE min⁻¹.mg⁻¹P, e então uma constância.

Figura 22: Atividade da polifenoloxidase de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.



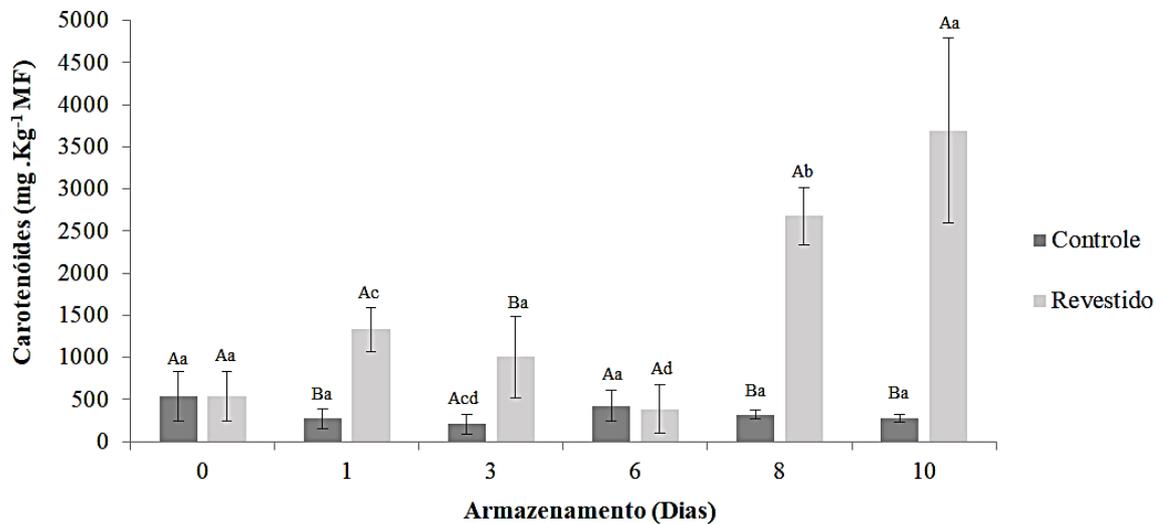
* Letras maiúsculas e minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Al-Quarashi e Awad (2015) avaliaram o efeito dos revestimento pós-colheita de quitosana a 1, 1,5 e 2% na qualidade em uvas de mesa 'El-Bayadi' após 30 dias de armazenamento e a atividade da polifenoloxidase (PPO) foi mais alta nos tratamentos com quitosana do que o controle.

A redução significativa de compostos fenólicos encontrados na (Figura 23) pode ser explicada pelos resultados aqui observados com a atividade da PPO. Com a perda da integridade da membrana e sua descompartimentalização, as enzimas PPO reagem com compostos fenólicos, causando oxidação e polimerização desses componentes (Cheng *et al.*, 2015; Fonteles *et al.*, 2016; Freire *et al.*, 2013) Como consequência, existem mudanças indesejáveis no aparecimento e aceleração de reações oxidativas no vegetal. Sena *et al.* (2019a) em seu trabalho com cajus hidrorresfriados, identificaram também uma redução da PPO, estando relacionada a redução de teores de compostos fenólicos, visto que esta os oxida.

O conteúdo de carotenóides foi influenciado pelo revestimento e pelo tempo de armazenamento (Figura 23), em que os cajus revestidos aumentaram de 387,89 mg.Kg⁻¹MF para 3692,79 mg.Kg⁻¹MF no dia 10, enquanto o controle se manteve constante com 278,93 mg .Kg⁻¹MF no dia 10.

Figura 23: Carotenóides de pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2 %.



* Letras maiúsculas e minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas entre os tratamentos e entre os períodos de armazenamento, respectivamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Os carotenóides apresentam um papel relevante no metabolismo, além de corante, pois, atuam como antioxidantes suprimindo o oxigênio singlete e se ligando aos radicais peroxila livres (ROO[•]) (Chitarra; Chitarra, 2005, Freire *et al.*, 2013). Alguns carotenoides são ainda precursores da vitamina A além de consideradas anticancerígenas como o licopeno (Maia *et al.*, 2019). Além disso, os carotenoides são pigmentos que variam em cor do amarelo ao vermelho e por isso, são visados na indústria alimentícia e cosmética devido a sua alta capacidade corante, podendo ser a alternativa do corante sintético amarelo (Fernández-García *et al.*, 2012). Sena *et al.* (2019b) afirmaram que há um aumento relativo no conteúdo de carotenóides totais durante os primeiros cinco dias de armazenamento dos cajus sob revestimento de cálcio e hidrosfriamento. No trabalho de Lopes *et al.* (2012), os carotenóides aumentaram durante o amadurecimento de todas cultivares de caju, sendo a cultivar BRS 189 com conteúdo total de antocianinas de 21,16 mg .100 g⁻¹.

A cor amarelada do pedúnculo é influenciada pelos carotenóides presentes no caju, principalmente o β-caroteno (Silva *et al.*, 2013; Castro *et al.*, 2015) e um tipo específico como o ácido anacárdico (Fernández-García *et al.*, 2012) que possui atividades antibacterianas, antioxidante, inibição de várias enzimas pró-oxidantes envolvidas na produção das espécies reativas de oxigênio e, adicionalmente, quelam íons metálicos

divalentes, como Fe^{2+} ou Cu^{2+} (Green *et al.*, 2007). Castro *et al.*, (2015) afirmaram que variações nas cores dos frutos podem ser devido a época da colheita e a fase de maturação.

Mudanças de cor podem indicar perda de pigmento natural durante o amadurecimento ou afetados pela ação da luz, temperatura, oxigênio, íons metálicos e enzimas, assim como a presença de microrganismos (Stintzing *et al.*, 2002). Assim, a mudança de coloração observada entre os pedúnculos revestidos e controle aos 10 dias de armazenamento (Figura 24), mostra que o revestimento promoveu a cor amarela dos pedúnculos BRS 189 e isso pode estar associado ao aumento de carotenoides observados nesses pedúnculos (Figura 23). Como a cor do fruto é um importante indicador de maturação sendo utilizada pelos consumidores como parâmetros de frescor e qualidade (Sena *et al.*, 2019), as mudanças observadas nos pedúnculos revestidos afetaram de forma negativa a qualidade visual, apesar do aumento de carotenoides contribuir para as propriedades nutricionais do pedúnculo BRS 189.

Figura 24: Pedúnculos de cajueiro BRS189 revestidos ou não com quitosana 2% e armazenados a 5 °C e UR 90±2, no dia da colheita e no 10º dia de armazenamento.



Fonte: própria autora

5 CONCLUSÃO

O revestimento de pedúnculos de cajueiro BRS 89 com solução de quitosana a 2% armazenados a 5 °C por 10 dias influenciou significativamente importantes variáveis associadas à sua qualidade. A perda de massa aumentou com o tempo de armazenamento, porém aos 8 dias, os pedúnculos revestidos apresentavam uma menor perda de massa. O revestimento resultou em pedúnculos quase 50% mais firmes, provavelmente decorrente da inibição observada da atividade hidrolítica da parede celular catalisada pela PME. Os pedúnculos revestidos também apresentaram maior inibição da atividade da enzima antioxidante catalase, possivelmente devido ao efeito de barreira das trocas gasosas inerente ao revestimento que pode ter influenciado a respiração e a produção de EROs. O revestimento de quitosana influenciou de forma negativa a cor dos pedúnculos avermelhados de BRS 189, induzindo uma coloração amarelada que pode ser associada ao aumento de mais de 300% observado nos carotenoides. O aumento nos carotenoides representa uma melhoria na propriedade nutricional dos pedúnculos revestidos, todavia, como a qualidade visual está fortemente associada a aceitação pelos consumidores, o revestimento de quitosana a 2% aplicado nos pedúnculos BRS189, nas condições supracitadas, não foi vantajoso como tecnologia de conservação pós-colheita por ter mudado a cor da película, apesar de ter aumentado a firmeza.

REFERÊNCIAS

ADIGA, J. D.; MURALIDHARA B. M.; PREETHI, P.; SAVADI, S.; Phenological growth stages of the cashew tree (*Anacardium occidentale* L.) according to the extended BBCH scale **Annals of Applied Biology**, [s.l.], v. 175, ed. 2, p. 246-252, jul. 2019.

AL-QURASHI, A. D.; AWAD, M. A. Postharvest chitosan treatment affects quality, antioxidant capacity, antioxidant compounds and enzymes activities of 'El-Bayadi' table grapes after storage. **Scientia Horticulturae**; [s.l.], v. 197, p. 392-398, dez. 2015.

ALEXANDRE, F. O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.): de símbolo da cultura nordestina a árvore testemunha da mundialização da economia e dos modos de vida. **Instituto Arqueológico, Histórico e Geográfico Pernambucano**, Recife, n. 462, p. 13-42, mar. 2013.

ALMEIDA, M. L. B.; FREITAS, W. E. S.; SARMENTO, J. D. A.; MORAIS, P. L. D.; SILVA, G. G. Qualidade pós-colheita de pedúnculos de cajueiro submetido a dois métodos de colheita e mantidos sob refrigeração. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.6, n.3, p. 168–173, set. 2011.

ALMEIDA, F. DE L. H.; CORDEIRO, S. A.; PEREIRA, R. S.; COUTO, L. C.; DE SOUZA, L.; KLAUS, W. Viabilidade econômica da produção de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Nativa**, Vales do Jequitinhonha e Mucuri, v.5, n.1, p. 9-15, fev. 2017.

ARAÚJO, J. P. P. de; MATTOS, A. L. A.; ROSSETTI, A. G.; MONTENEGRO, A. A. T.; LIMA, A. A. C.; LIMA, A. C.; MESQUITA, A. L. M.; AQUINO, A. R. L. de; CAVALCANTI-JUNIOR, A. T.; MOURA, C. F. H.; PIMENTEL, C. R. M.; GARRUTI, D. dos S.; MELO, D. S.; CORREIA, D.; SILVA, E. de O.; BLEICHER, E.; MIRANDA, F. R. de; ABREU, F. A. P. de; FREIRE, F. das C. O.; NETO, F. das C. V.; PAIVA, F. F. de A.; VIANA, F. M. P.; OLIVEIRA, F. N. S.; SOUZA, F. X. de; FILGUEIRAS, H. A. C.; MORAES, I. V. M. de; LIMA, J. R.; PEREIRA-FILHO, J. E.; CRISÓSTOMO, J. R.; PAIVA, J. R. de; CABRAL, J. E. de O.; CARDOSO, J. E.; MOSCA, J. L.; MENEZES, J. B.; BARROS, L. de M.; CRISÓSTOMO, L. A.; LEITE, L. A. de S.; SERRANO, L. A. L.; BARROS, M. E. S.; CORRÊA, M. P. F.; BASTOS, M. do S. R.; MARTINS, M. V. V.; SOUZA-FILHO M. de S. M. de; LOPES, M. M. de A.; DIAS-PINI, N. da S.; FROTA, P. C. E.; PESSOA, P. F. A. de P.; MELO, Q. M. S.; SOBRINHO, R. B.; NETO, R. M. da S.; NASSU, R. T.; ALVES, R. E.; MACHADO, T. F.; PAIVA, W. O. **Caju: o produtor pergunta, a embrapa responde** (Coleção 500 perguntas, 500 respostas), Editora Revista e Ampliada, ed. 2, 250 p., Brasília, 2015, ISBN 978-85-7035-435-8.

AROUCHA, E. M. M.; GOIS, V. A.; LEITE, R. H. L.; SANTOS, M. C. A.; SOUZA, M. S. Acidez em frutas e hortaliças. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s.l.], v. 5, n. 2, p. 1-4; 2010.

AQUINO, A. C. M.; MÓES, R. S.; CASTRO, A. A. Estabilidade de ácido ascórbico, carotenóides e antocianinas de frutos de acerola congelados por métodos criogênicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s.l.], v. 14, p. 154-163; 2011.

AOAC-Association of official analytical chemistry. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**; 17 ed., 1115 p. Washington, 2002.

BARROS, A.B.; MOURA, A.F.; SILVA, D.A.; OLIVEIRA, T.M.; BARRETO, F.S.; RIBEIRO, W.L.C.; ALVES, A.P.N.N.; ARAÚJO, A.J.; MORAES FILHO, M.O.; ILESG, B.; MEDEIROS, J.V.R.; MARINHO-FILHO, J.D.B. Evaluation of antitumor potential of cashew gum extracted from *Anacardium occidentale* Linn. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 154, n. 1, p. 319-328, jul. 2020.

BETAGLION, G. A.; SILVA, F. M. A. da; EBERLIN, M. N.; KOOLEN, H. H. F. Determination of the phenolic composition from Brazilian tropical fruits by UHPLC–MS/MS. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 180, p. 280-287, 2015.

BEERS-JÚNIOR, R. F.; SIZER, I. W. A. Spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. **Journal of Biological Chemistry**, [s.l.], v. 195, p.133-140, 1952.

BETCHEM, G.; JOHNSON, N.; WANG, Y. The application of chitosan in the control of post-harvest diseases: a review. **Journal of Plant Diseases and Protection**, [s.l.], v. 126, p. 495-507, 2019.

BHAT, M.K. Cellulase and related enzymes in biotechnology. **Biotechnology Advances**, New York, v. 18, p. 355-383, 2000.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, [s.l.], v. 722, p. 248-254, 1976.

BRAINER, M. S. de C. P.; VIDAL, M. de F.; Cajucultura Nordestina em recuperação; Caderno Setorial ETENE. **Banco do Nordeste-BNB**, [s.l.n.], ano 5, n. 114, maio 2020.

BRITO, E. S. de; ARAÚJO, M. C. P. de; LIN, L.Z.; HARNLY, J. Determination of the flavonoid components of cashew apple (*Anacardium occidentale*) by LC-DAD-ESI/MS. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 105, p. 1112-1118, 2007.

BRITTO, D. de; ASSIS, O. B. G. de Potencial antifúngico a *Penicillium expansum* de filmes de polissacarídeos à base de quitosana e trimetil quitosana. **Embrapa Semiárido**, Petrolina, jul. 2020. ISSN 1808-9968.

CARVALHO, R. L.; CABRAL, M. F.; GERMANO, T. A.; CARVALHO, W. M. de; BRASIL, I. M.; GALLÃO, M. I.; MOURA, C. F. H.; LOPES, M. M. A.; MIRANDA, M. R. A. de; Chitosan coating with trans-cinnamaldehyde improves structural integrity and antioxidant metabolism of fresh-cut melon. **Postharvest Biology and Technology**; [s.l.], v. 113; p. 29-39, mar. 2016.

CASTRO, T. M. N.; ZAMBONI, P. V.; DOVADONI, S.; CUNHA, A. N. O.; RODRIGUES, L. J.; Parâmetros de qualidade de polpas de frutas congeladas. **Instituto Adolfo Lutz**, [s.l.n.], v. 74, n. 4, p. 426-436, 2015.

CORDEIRO, J. da C.; BRAGA, S. de S. A importância econômica e cultural do cajueiro (*Anacardium occidentale*): símbolo de identidade nordestina Gastronomia e vinhos: contributos para o desenvolvimento sustentável do turismo: estudos de caso. In: Gastronomia

e vinhos. Caxias do Sul, RS, **Editora da Universidade de Caxias do Sul-Educs**, 2020. ISBN 978-65-5807-020-7.

CORTEZ, L. A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo, ed. Blucher, 1º ed, 992 págs. 2010. ISBN: 9788521205319.

CHENG, Y.; LIU, L.; ZHAO, G.; SHEN, C.; YAN, H.; GUAN, J.; YANG, K. The effects of modified atmosphere packaging on core browning and the expression patterns of PPO and PAL genes in ‘Yali’ pears during cold storage. **Food Science and Technology**, [s.l.], v. 60, n. 2, p. 1243-1248, 2015.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B.; **Pós-Colheita de frutas e hortaliças-fisiologia e manuseio**. ed. Ufla; [s.l.], 783 págs., 2005. ISBN: 85-87692-27-5.

DAS, E.; ARORA, A. Post-harvest processing technology for cashew apple – A review **Journal of Food Engineering**, [s.l.], v. 194, p. 87-98. 2017.

FELIPE, L. O.; RABELLO, L. A.; JÚNIOR, Ê. N. O.; SANTOS, I. J. B. Quitosana: da química básica à bioengenharia. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 39, n. 4, 2017.

FARINAS, C. S.; A parede celular vegetal e as enzimas envolvidas na sua degradação. **Embrapa Instrumentação**, São Carlos, doc. 54, 13 págs, 2011. ISSN: 1518-7179.

FERNÁNDEZ-GARCÍA E.; CARVAJAL-LÉRIDA I.; JARÉN-GALÁN M. ; GARRIDO-FERNÁNDEZ J. ; PÉREZ-GÁLVEZ A. ; HORNERO-MÉNDEZ. Carotenoids bioavailability from foods: From plant pigments to efficient biological activities. **Food Research International**, [s.l.], v. 46, n. 2, p. 438-450, 2012.

FIGUEIREDO, R. W. de; LAJOLO, F. M.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; MAIA, G. A.; SOUSA, H. M. de; Qualidade de pedúnculos de caju submetidos à aplicação pós-colheita de cálcio e armazenados sob refrigeração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, [s.l.], v. 42, n. 4, p. 475-482, 2007.

FONTELES T. V.; RODRIGUES S.; LEITE A. K. F.; SILVA A. R. A. ; CARNEIRO A.P. G. ; MIGUEL E. de C.; CAVADA B. S.; FERNANDES F. A. N. Ultrasound processing to enhance drying of cashew apple bagasse puree: Influence on antioxidant properties and in vitro bioaccessibility of bioactive compounds. **Ultrasonics Sonochemistry**; [s.l.], v. 31, p. 237-249, 2016.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (ed.). Anthocyanins as food colors. **Academic Press Books**, New York, p.181-207, 1982.

FREITAS, A. S. de; DANTAS, B. dos S.; ARAÚJO, Í. M. da S.; GARRUTI, D. dos S.; Suitability of peduncles of new cashew tree clones for comercial purposes. **Revista Ciência Agrônômica**, [s.l.], v. 51, n. 3, 2020.

FREIRE, J. M., ABREU, C. M. P., ROCHA, D. A., CORRÊA, A. D., & MARQUES, N. R. Quantificação de compostos fenólicos e ácido ascórbico em frutos e polpas congeladas de acerola, caju, goiaba e morango. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 43, n. 12, p. 2291-2295, 2013..

FUNCEME-Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos; [s.l.n.], 2020; disponível em:< www.hidro.ce.gov.br/hidro-ce-zend/app/pagina/show/186> Acesso em 24 set 2020.

GREEN, I. R.; TOCOLIA, F. E.; LEE, S. H.; NIHEIB, K-I.; KUBOB, I. Molecular design of anti-MRSA agents based on the anacardic acid scaffold. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, [s.l.], v. 15, n. 18, set. 2007.

HAMERSKI, L.; REZENDE, M. J. C.; SILVA, B. V. Usando as Cores da Natureza para Atender aos Desejos do Consumidor: Substâncias Naturais como Corantes na Indústria Alimentícia. **Química Virtual**, [s.l.], v. 5, n. 3, 2013.

HIGBY, W. K. A simplified method for determination of some the carotenoid distribution in natural and carotene-fortified orange juice. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 27, p. 42-49, 1962.

IAL- Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. [s.n.], 6 ed. São Paulo, 1020 págs., 2008.

ICB-Instituto Caju Brasil. **O agronegócio caju em números**. [s.l.], boletim n. 4, fer. 2020; disponível em:< https://cajubrasil.org/wp-content/uploads/2020/02/Boletim-ICB_4.pdf>

INANAN T. Chitosan Co-polymeric nanostructures for catalase immobilization. **Reactive and Functional Polymers**, [s.l.], v. 135, p. 94-102, fev. 2019.

IRFAN, P. K.; VANJAKSHI, V.; PRAKASH, M. N. K.; RAVI, R.; KUDACHIKAR, V. B. Calcium chloride extends the keeping quality of fig fruit (*Ficus carica L.*) during storage and shelf-life. **Postharvest Biology and Technology**, [s.l.], v. 82, p. 70-75, 2013.

ISLAM, M. D. S.; PATRAS, A.; POKHAREL, B.; WU, Y.; VERGNE, M. J.; SHADE, L.; XIAO, H.; SASGES, M. UV-C Irradiation as an alternative disinfection technique: Study of its effect on polyphenols and antioxidant activity of apple juice; Innovative. **Food Science & Emerging Technologies**, [s.l.], v. 34, p. 344-351, 2016.

JEN, J. J.; ROBINSON, M. L. Pectolytic enzymes in Sweet bell peppers (*Capsicum annuum L.*). **Journal of Food Science**, Chicago, v. 49, n. 4, p. 1045-1087, 1984.

Ki, H. P.; Yong-Dae, P.; Jong-Min, H.; Kyung-Ran, I.; Byong, W. L.; Il, Y. J.; Tae-Sook, J.; Woo, S. L.; Anti-atherosclerotic and anti-inflammatory activities of catecholic xanthenes and flavonoids isolated from *Cudrania tricuspidata*. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, [s.l.], v. 16, ed. 21, n. 1, p. 5580-5583, nov. 2006.

KIRTIL, E.; OZTOP, M. H.; SIRIJARIYAWAT, A.; NGAMCHUACHIT, P.; BARRETT, D. M.; MCCARTHY, M. J.; The submitted manuscript 'Effect of pectin methyl esterase (PME) and CaCl₂ infusion on the cell integrity of freshly processed and frozen mangos: an NMR relaxometry study' proposes the use of NMR relaxometry as a method to explore the effect of enzymes. **Food Research International**, [s.l.], v. 66, p. 409-416, dez. 2014.

KHANDETOD, Y. P.; MOHOD, A. G.; SHRIRAME, H. Y. Produção de bioetanol a partir de suco de caju fermentado por concentrador solar. **In:** Anais da primeira conferência internacional sobre avanços recentes na pesquisa de Bioenergia. [s.n.], São Paulo, jul. 2016.

LICHTENTHALER, H. K.; WELLBURN, A. R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in deferent solvents. **Biochemical Society Transactions**, [s.l.], v. 11, n. 5, p. 591-592, 1983.

LIMA, H. C. Modificações de carboidratos estruturais e de enzimas pécticas em jabuticaba. **Universidade Federal de Lavras**, Lavras, 61 págs., Tese (doutorado), 2002.

LOPES, M. M. de A.; MIRANDA, M. R. A. de; MOURA, C. F. H.; ENÉAS-FILHO, J. Bioactive compounds and total antioxidant capacity of cashew apples (*Anacardium occidentale* L.) during the ripening of early dwarf cashew clones. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 36, p. 325-332, 2012.

LUCIANO, R. C.; ARAÚJO, L. de F.; AGUIAR, E. M.; PINHEIRO, L. E.; NASCIMENTO, D. S.; Revisão sobre potencialidade do pedúnculo do caju na alimentação animal. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 5, n. 3, p. 53-59, 2011.

MAIA, P. D. D. S.; BAIÃO, D. dos S.; SILVA, V. P. F. da; CALADO, V. M. de A.; QUEIROZ, C.; PEDROSA, C.; MESQUITA, V. L. V.; PIERUCCI, A. P. T. R. Highly Stable Microparticles of Cashew Apple (*Anacardium occidentale* L.) Juice with Maltodextrin and Chemically Modified Starch; **Food and Bioprocess Technology**, [s.l.], v. 12, p. 2107-2119, 2019.

MARTINS, V. V. M.; LIMA, J. S.; VIANA, F. M. P.; CARDOSO, J. E.; ARAÚJO, F. S. de A.; OOTANI, M. A.; Influência das épocas de floração e dos períodos de proteção fenológica à infecção do oídio no clone de cajueiro-anão BRS 189. **Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 6, p. 574-581, 2017.

MARTINS, A. B. G.; SILVA, A. de C. C. da; CHIAMOLERA, F. M.; Propagação da cultura do caju. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s.l.], v. 41, n. 4, 2019.

MAZZETO, S. E.; LOMONACO, D.; Óleo da castanha de caju: oportunidades e desafios no contexto do desenvolvimento e sustentabilidade industrial; **Química Nova**, [s.l.], v. 32; n. 3; 2009.

MOURA, C. F. H.; ALVES, R. E.; INNECCO, R.; FILGUEIRAS, H. A. C.; MOSCASUZY, J. L.; PINTO, A. A. Physical characteristics of cashew apples for fresh fruit Market. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s.l.], v. 23, n. 3, 2001.

MOURA, C. F. H.; FIGUEIREDO, R. W. de; ALVES, R. E.; SILVA, E. de O.; ARAÚJO, P. G. L. de; MACIEL, V. T. Aumento da vida útil pós-colheita de pedúnculos de cajueiro anão precoce pela redução da temperatura de armazenamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 140-145, fev. 2010.

MORAIS, A. S., MAIA, G. A., FIGUEIREDO, R. W., ALVES R. E., FILGUEIRAS, H. A. C., MOURA, C. F. H. Armazenamento refrigerado sob atmosfera modificada de pedúnculos

de cajueiro-anão-precoce dos clones CCP-76, end-157, end-183 e end-189. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s.l.], v. 24, p. 647-650, 2002.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidases in spinach chloroplast. **Plant Cell Physiology**, [s.l.], v. 22, p. 867-880, 1981.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 7 ed, Porto Alegre, Artmed, 1278 págs., ISBN 978-85-8271-533-8, 2019.

NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biology and Chemistry**, [s.l.], v. 153, p. 375-380, 1944.

NG, W. L.; YEONG, W. Y.; NAING, M. W. Polyelectrolyte gelatin-chitosan hydrogel optimized for 3D bioprinting in skin tissue engineering. **International Journal of Bioprinting**, [s.l.], v. 2, n 1, p. 1-10, jan. 2016.

NYARI, N. L. D.; NOEL, M. A. L.; MAILLARD, O. C. C.; AUBERT, Q. L.-J.; HARDY, V. A. J.; GHIOTTI, A.; BOHM, G. T.; BOHM, S. I. H.; Efeito do revestimento a base de quitosana no alho in natura. **Agrotropica**, [s.l.], v. 32, n. 2, p. 147-156, 2020.

OBANDA, M.; OWUOR, P.O. Flavonol composition and caffeine content of green leaf as quality potential indicators of Kenyan black teas. **Journal of the Science of food and Agriculture**, [s.l.], v. 74, p. 209-215, 1997.

OLIVEIRA, N. N.; MOTHE, C. G.; MOTHE, M. G.; OLIVEIRA, L. G. de; Cashew nut and cashew apple: a scientific and technological monitoring worldwide review; **Journal of Food Science and Technology**. [s.l.], v. 57, p. 12-21. 2020.

PANIAGUA, A.C., EAST, A.R., HEYES, J.A., 2014. Interaction of temperature control deficiencies and atmosphere conditions during blueberry storage on quality outcomes. **Postharvest Biology and Technology**. [s.l.], v. 95, p. 50-59, 2014.

PEREIRA, I. M. C.; NETO, J. D. M.; FIGUEIREDO, R. W.; CARVALHO, J. D. G.; FIGUEIREDO, E. A. T. de; MENEZES, N. V. S. de; GABAN, S. V. F.; Physicochemical characterization, antioxidant activity, and sensory analysis of beers brewed with cashew peduncle (*Anacardium occidentale*) and orange peel (*Citrus sinensis*); **Journal of Food Science and Technology**, [s.l.], v. 40, n. 3, p. 749-755, 2020.

POKHREL, S.; YADAV, P. N.; ADHIKARI, R. Applications of Chitin and Chitosan in Industry and Medical Science: A Review. **Nepal Journal of Science and Technology**. [s.l.], v. 16, n. 1, p. 99-104, 2015.

PORTO-LUZ, R. G. L.; MOURA, A. J. B. de; SILVA, B. da; FETT, R.; ARAUJO, M. A. D. Identificação e quantificação de compostos antioxidantes em Esclarecido Caju a Apple Juice 'cajuína'. **Nutrição Atual e Ciência Alimentar**, [s.l.], v. 16, n. 4, p. 585-591, 2020.

PRESSEY, R.; AVANTS, J. K. Separation and characterization of endopolygalactorunase and exopolygalactorunase from peaches. **Plant Physiology**, [s.l.], v. 52, p. 252-256, 1973.

QUEIROZ, C.; LOPES, M. L. M.; FIALHO, E.; MESQUITA, V. L. V.; Changes in bioactive compounds and antioxidant capacity of fresh-cut cashew apple. **Food Research International**, [s.l.], v. 44, p. 1459-1462, 2011.

RABELO, M. C.; BRITO, E. S. de; MOURA, C. F. H.; OLIVEIRA, L. de S.; MIRANDA, M. R. A. de; Thermostability of antioxidant and spoilage enzymes of soursop and cashew apple juice. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s.l.], v. 38, n. 2, 2016.

RAMOS, G. Q.; COTTA, E. A.; FILHO, H. D. da F.; Análise morfológica das folhas de *Anacardium occidentale* L.; **Biota Amazônia, Open Jornal System**, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 16-19, 2016.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**, 5º ed. Coord. Trad. KRAUS, J. E.; Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 738 págs., 1996.

SANTOS, H. G. dos.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO-FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos; Revisto e Ampliada**, Embrapa, Brasília, 5ª ed., 356 págs., 2018. ISBN 978-85-7035-800-4.

SANTOS, H. G. dos.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; FILHO, J. C. de; SERRANO, L. A. L.; OLIVEIRA, V. H. Aspectos botânicos, fenologia e manejo da cultura do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P. Agronegócio Caju: Práticas e Inovações, **Embrapa Agroindústria Tropical**, Brasília, p. 77-165. 2013.

SANTOS-FILHO, W. L. G. dos. Características físicas e químicas de caju (*Anacardium Occidentale*). **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 10, n. 5, p. 23-28, 2016.

SÁNCHEZ, J.; BUTTER, B.; RIVAS B. L. Biopolymers applied to remove metal ions through ultrafiltration. A review. **Journal of the Chilean Chemical Society**, [s.l.], v. 65, n. 3, 2020.

SAINZ, R. L.; VENDRUSCOLO, J. L. da S.; Properties of polygalacturonase and Pectinmethylesterase from brazilian clingstone Peaches [*prunus persica* (L.) Batsch]. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Paraná, v. 9, n. 1, p. 1724-1743, 2015.

SENA, E. de O. A.; SILVA, P. S. O. da; ARAUJO, H. G. S. de; BATISTA, M. C. de A.; MATOS, P. N.; SARGENT, S. A.; JUNIOR, L. F. G. de O.; CARNELOSSI, M. A. G.; Postharvest quality of cashew apple after hydrocooling and cold room. **Postharvest Biology and Technology**; [s.l.], v. 155, p. 65-71, 2019a.

SENA E. de O. A.; SILVA P. S.O. da ; BATISTA M. C.de A.; SARGENT S.A.; JUNIOR L. F.G. de O.; PAGANI A.A. C.; CARNELOSSI M. A.G.; Calcium application via hydrocooling and edible coating for the conservation and quality of cashew apples. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 256, p. 1-8, 2019b.

SERRANO, L. A. L.; PESSOA, P. F. A. de P. Sistema de produção do caju. **Embrapa Agroindústria Tropical**, [s.l.], v. 1; 2016. ISSN 1678-8702.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P.; Fenólicos e polifenólicos em alimentos, bebidas e especiarias: atividade antioxidante e efeitos na saúde - uma revisão, **Journal of Functional Foods**, [s.l.], v. 18, p. 820-1397, 2015.

SILVA, E. D. F. O., ARAÚJO, G. S., BRAZ, A. S., PAZ, J. G. H. Caracterização físico-química e física das polpas congeladas de caju (*Anacardium occidentale L*) comercializadas no município de Campina Grande-PB. **Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, [s.l.], v. 22, p. 35-39, 2013.

SILVEIRA, M. R. S. de; OSTER A. H.; MOURA C. F. H.; SILVA E. de O.; SILVA L. M. A. E; SOUSA A. E. D. Protocolos para avaliação das características físicas e físico-químicas, dos compostos bioativos e atividade antioxidante do pedúnculo do caju. **Embrapa Agroindústria Tropical**, [s.l.], doc. 182, 2018. ISSN 2179-8184.

SOBREIRA, T. G. P.; SILVA, L. A. da; MENEZES, F. D. de; FRANÇA, E. J.; AQUINO, K. A. da SILVA; Aspectos estruturais de esferas de Quitosana/PVA reticuladas com glutaraldeído submetidas a diferentes tratamentos térmicos; **Química Nova**, [s.l.], v. 43, n. 9, 2020.

SOJO, M. M.; NUÑEZ-DELICADO, E.; GARCÍA-CARMONA, F. Partial Purification of a banana polyphenol oxidase using triton x-114 and PEG 8000 for removal of polyphenols. **Journal Agrícola Food Chemistry**, [s.l.], v. 46, p. 4924-4930, 1998.

SOUZA, K. O.; VIANA, R. M.; OLIVEIRA, L. de S.; MOURA, C. F. H.; MIRANDA, M. R. A.; Preharvest treatment of growth regulators influences postharvest quality and storage life of cashew apples. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 209, p. 53-60, 2018.

STINTZING, F. C.; STINTZING, A. S.; CARLE, R.; FREI, B.; WROLSTAD, R. E. Color and antioxidant properties of cyanidin-based anthocyanin pigments. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s.l.], v. 50, n. 21, p. 6172-6181, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed., Porto Alegre, Artmed, 858 págs, 2017. ISBN 978-85-8271-366-2.

TRESSERRA-RIMBAU, A.; GUASCH-FERRE, M.; SALAS-SALVADO, J.; TOLEDO, E.; CORELLA, D.; CASTAÑER, O.; GUO, X.; GOMEZ-GRACIA, E.; LAPETRA, J.; AROS, F.; FIOL, M.; ROS, E.; SERRA-MAJEM, L.; PINTO, X.; FITO, M.; BABIO, N.; MARTÍNEZ-GONZALEZ, M. A.; SORLI, J. V.; LOPEZ-SABATER, M. C.; ESTRUCH, R.; LAMUELA-RAVENTOS, R. M.; Intake of total polyphenols and some classes of polyphenols is inversely associated with diabetes in elderly people at high cardiovascular disease risk. **The Journal of Nutrition**, [s.l.], v. 146, n. 4, p. 767-777. 2016.

WANG, Y.; XIE, X.; LONG L. E. The effect of postharvest calcium application in hydro-cooling water on tissue calcium content, biochemical changes, and quality attributes of sweet cherry fruit. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 160, p. 22-30, 2014.

YAMAMOTO, E. L. M.; FERREIRA, R. M. de A.; FERNANDES, P. L. de O.; ALBUQUERQUE, L. B.; ALVES, E. O. Função do cálcio na degradação da parede celular vegetal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 6, n. 2, p. 49-55, 2011.

YANG, Z.; ZHENG, Y.; CAO, S. Effect of high oxygen atmosphere storage on quality, antioxidant enzymes, and DPPH-radical scavenging activity of Chinese bayberry fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s.l.], v. 57, p. 176-181, 2009.

Xia, Y.; Chen, T.; Qin, G.; Li, B.; Tian, S. Synergistic action of antioxidative systems contributes to the alleviation of senescence in kiwifruit. **Postharvest Biology and Technology**, [s.l.], v.111, p.15-24, 2016.