



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

EDILEIDE NATÁLIA DA SILVA RODRIGUES

**FISIOLOGIA DA MATURAÇÃO E METABOLISMO DE PAREDE CELULAR DE
FRUTOS DE ACESSOS DE UMBUZEIRO**

AREIA

2023

EDILEIDE NATÁLIA DA SILVA RODRIGUES

**FISIOLOGIA DA MATURAÇÃO E METABOLISMO DE PAREDE CELULAR DE
FRUTOS DE ACESSOS DE UMBUZEIRO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Agricultura Tropical.

Orientadora: Silvanda de Melo Silva

AREIA

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

R696f Rodrigues, Edileide Natália da Silva.
Fisiologia da maturação e metabolismo de parede
celular de frutos de acessos de umbuzeiro / Edileide
Natália da Silva Rodrigues. - Areia:UFPB/CCA, 2023.
56 f. : il.

Orientação: Silvanda de Melo Silva.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Produção de etileno. 3. Taxa
respiratória. 4. Pectina. 5. atividade da
poligalacturonase. I. Silva, Silvanda de Melo. II.
Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.3)

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CAMPUS II – AREIA - PB
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

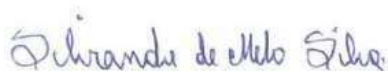
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: FISIOLOGIA DA MATURAÇÃO E METABOLISMO DE PAREDE
CELULAR DE FRUTOS DE ACESSOS DE UMBUZEIRO**

AUTORA: EDILEIDE NATÁLIA DA SILVA RODRIGUES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de Mestra em Agronomia (Agricultura Tropical) pela comissão organizadora.

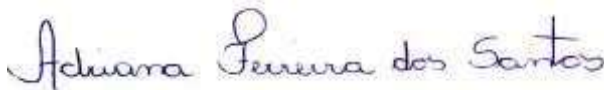
Aprovado em: 22/02/2022.



Profª. Silvana de Melo Silva, PhD (Orientadora)
PPGAgro/CCA/UFPB



Profª. Dra. Rejane Maria Nunes Mendonça
DFCA/CCA/UFPB



Profª. Dra. Adriana Ferreira dos Santos
DSER/CCA/UFPB



Profª. Dra. Railene Hérica Carlos Rocha Araújo
UAGRA/CCTA /UFCG

Com carinho, à minha família

Dedico!

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelos dons da vida, inteligência e sabedoria, e pela certeza de que sou amada, mostrando sempre sua presença nos mínimos detalhes.

Meu agradecimento ao meu pai e a minha mãe por sempre me trazerem incentivo, sendo minha inspiração, os melhores pais que eu poderia ter, em momentos necessários vocês me mostram como a vida é saborosa de ser vivida. Muito obrigada!

Aos meus irmãos Edilma Rodrigues (Dilma) e Ednaldo Rodrigues (Naldinho) por todo apoio prestado, incentivo e orientação.

Aos meus sobrinhos que chegaram a poucos meses no mundo e já trouxeram enorme felicidade para mim.

A vovó Lurdes, que nem sei ao certo como agradecer, mas simplesmente por existir em minha vida e ser tudo que ela é.

Aos meus avôs, Joaquim Freire (in memoriam) e Severino Rodrigues (in memoriam) e a minha avó Genésia Arruda (in memoriam) por terem em algum momento se preocupado comigo e com meu futuro, onde, todo amor e cuidado resulta hoje em todas as minhas conquistas.

Ao meu querido Izaías, por todo incentivo, confiança, carinho e amor, e principalmente por sempre me impulsionar a sonhar.

A Universidade Federal da Paraíba, ao Centro de Ciências Agrárias e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia pela oportunidade a mim concedida de receber o título de Mestra em Agronomia.

A minha querida orientadora Professora Silvanda de Melo Silva, por todo apoio e tempo dedicado a me orientar durante todo tempo de pós-graduação.

Aos membros da banca examinadora pelas valiosas sugestões, a Professora Rejane, Professora Railene e a Professora Adriana.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia, com os quais obtive grande aprendizado.

Aos amigos e familiares, meus tios Eliane e Sirley presentes em minha vida durante toda essa conquista, assim como meu primo Everton e minha prima Hellen, aos meus cunhados Markiela e Jefferson por serem essas pessoas queridas em minha vida, a minha amiga irmã Tatiana que está sempre na torcida por mim, juntamente com a pequena Maria

Alice e Eduardo, contribuindo com todo esse sonho, a Eliza e Alexandre pelos momentos de alegria vividos durante todo esse tempo.

A toda equipe do Laboratório de Biologia e Tecnologia Pós - Colheita por todo acolhimento, apoio e contribuição, sendo todos essenciais para a minha formação: Alex, Priscilla, Marianny, Tatiana, Eduardo, Bárbara, Elny, Assys, Fernando, Saulo, Thiago, Elton, Kagiaany, Fabiano, Albert, Paula e Isabela. Muito Obrigada!

Agradeço grandemente a todos meus familiares e amigos!

FISIOLOGIA DA MATURAÇÃO E METABOLISMO DE PAREDE CELULAR DE FRUTOS DE ACESSOS DE UMBUZEIRO

RESUMO

O umbuzeiro, espécie nativa e endêmica do Semiárido Brasileiro, apresenta fruto com sabor e aroma peculiares e muito apreciados. Acessos com características diferenciadas vêm sendo selecionados com vistas a mercados potenciais, a exemplo de umbus gigantes. Os frutos colhidos apresentam rápido amadurecimento e, assim, rápida perda de qualidade, refletindo em reduzido período de comercialização. Nesse sentido, estudos sobre o metabolismo da parede celular fornecerão bases para melhor compreensão da fisiologia da maturação, permitindo desenvolver ações para retardar o amaciamento na pós-colheita, possibilitando aumentar a conservação, ampliando consumo e uso destes umbus. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a fisiologia da maturação e o metabolismo de parede celular de frutos de acessos de umbuzeiro em dois estádios de maturação. Foi avaliado a produção de etileno, taxa respiratória, firmeza, teores de pectina total e solúvel e atividades de enzimas relacionadas ao amaciamento de frutos. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x2 (quatro acessos, incluindo América Dourada, Lontra e Macaúbas – sendo esses três umbus gigantes, e o umbuzeiro de ocorrência em Cuité-PB), em 2 estádios de maturação (verde maduro e maduro), em 4 repetições. O padrão respiratório dos frutos é típico climatérico, com o pico do etileno antecedendo o da respiração. O índice de cor da casca indicou transição da coloração verde para o amarelo durante a maturação dos acessos Cuité, Lontra e Macaúbas, ao contrário do acesso pigmentado América Dourada. O acesso América Dourada, diferiu entre os estádios de maturação na firmeza, que foi maior em frutos verde maduros, apresentaram também redução do teor de pectina total e aumento da atividade de poligalacturonase na casca. A firmeza de frutos dos acessos América Dourada, Lontra e Macaúbas em estádios de maturação similares foi aproximadamente 2 vezes superior à do regional Cuité. Frutos do acesso Lontra, por apresentar mais alta relação SS/AT são indicados para consumo fresco, por serem mais doces o que é preferível ao paladar do consumidor brasileiro. O avanço na maturação dos umbus Cuité - PB, Lontra e Macaúbas foi caracterizado pelo aumento de sólidos solúveis, índice de cor, diminuição da acidez titulável, aumento da relação SS/AT, aumento da pectina solúvel na polpa do fruto e o consequente amaciamento dos frutos, caracterizado pela redução da firmeza. Na polpa das variedades gigantes Lontra e Macaúbas claramente observou-se diminuição da pectina total em paralelo ao aumento da atividade da enzima poligalacturonase. Em conjunto, o estudo do perfil respiratório acoplado com a atividade de enzimas do metabolismo da parede celular fornece uma compreensão do processo de amaciamento de frutos de *Spondias tuberosa* na pós-colheita.

Palavras-chave: produção de etileno; taxa respiratória; estágio de maturação; firmeza; pectina; atividade da poligalacturonase; atividade da pectinametilesterase.

MATURATION PHYSIOLOGY AND CELL WALL METABOLISM OF FRUIT FROM UMBU TREE ACCESSIONS

ABSTRACT

The umbuzeiro, a native and endemic species of the Brazilian Semiarid, has a fruit with a peculiar and highly appreciated flavor and aroma. Accesses with different characteristics have been selected with a view to potential markets, such as the giant umbus. The harvested fruits show rapid ripening and, therefore, a rapid loss of quality, resulting in a reduced commercialization period. In this sense, studies on cell wall metabolism will provide bases for a better understanding of umbu maturation physiology, allowing the development of actions to delay postharvest softening, making it possible to increase its conservation, expanding consumption, and use. Given the above, the objective of this work was to evaluate the maturation physiology and cell wall metabolism of fruits of umbuzeiro accessions at two maturity stages. Ethylene production, respiratory rate, firmness, total and soluble pectin contents, and enzyme activities related to fruit softening were evaluated. The design used was completely randomized, in a 4x2 factorial scheme (four accessions, including América Dourada, Lontra, and Macaúbas – these three as giant umbus, and the regional umbu tree occurring in Cuité-PB), in 2 maturity stages (ripe green and mature), in 4 replications. The fruits respiratory pattern is typical climacteric, with the ethylene peak preceding that of respiration. The peel color index indicated a transition from green to yellow during maturation for Cuité, Lontra, and Macaúbas accessions, unlike fruit of the pigmented accession América Dourada. América Dourada access, differed between fruit maturity stages in terms of firmness, which was higher in ripe green fruits, also in the peel showed a reduction in total pectin content and an increase in polygalacturonase activity. The fruit firmness of the accessions América Dourada, Lontra, and Macaúbas at similar maturation stages was approximately 2 times higher than that of the regional Cuité. Fruits of the Lontra accession, due to their higher SS/TA ratio, are suitable for fresh consumption, as they are sweeter, which is preferable to the palate of Brazilian consumers. The progress in the maturation of Cuité - PB, Lontra, and Macaúbas umbus was characterized by an increase in soluble solids, color index, decrease in titratable acidity, increase in the SS/TA ratio, increase in soluble pectin in the fruit pulp and the consequent fruit softening, resulting in reduced firmness. In the pulp of Lontra and Macaúbas giant varieties, a decrease in total pectin was clearly observed in parallel with an increase in the polygalacturonase activity. Together, the study of the respiratory profile coupled with the activity of cell wall pectic metabolism enzymes provides an understanding of the postharvest softening process of *Spondias tuberosa* fruits.

Keywords: ethylene production; respiratory rate; maturity stage; firmness; pectin; polygalacturonase activity; pectinamethylesterase.

LISTA DE FIGURAS

Qualidade de frutos de acessos de umbuzeiro em dois estádios de maturação

- Figura 1 - Produção de CO₂ (A) e Produção de etileno (B) dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas).28**
- Figura 2 - Índice de cor da casca dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas)30**
- Figura 3 - Evolução da coloração e aparência de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas)31**
- Figura 4 - Sólidos Solúveis dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas)32**
- Figura 5 - Acidez titulável dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas)34**
- Figura 6 - Relação SS/AT dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas)35**
- Figura 7 - pH dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas)37**

Figura 8 - Firmeza dos frutos de acessos de umbuzeiro (<i>Spondias tuberosa</i>) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas)	38
Figura 9 - Pectina Total da polpa (A) e da casca (B) dos frutos de acessos de umbuzeiro (<i>Spondias tuberosa</i>) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas)	40
Figura 10 - Pectina Solúvel da polpa (A) e da casca (B) dos frutos de acessos de umbuzeiro (<i>Spondias tuberosa</i>) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas)	42
Figura 11 - Pectinametilesterase – PME da polpa (A) e da casca (B) dos frutos de acessos de umbuzeiro (<i>Spondias tuberosa</i>) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas)	44
Figura 12 - Poligalacturonase – PG da polpa (A) e da casca (B) dos frutos de acessos de umbuzeiro (<i>Spondias tuberosa</i>) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas)	46

SUMÁRIO

1	REVISÃO DE LITERATURA	11
1.1	O umbuzeiro	11
1.2	Aspectos botânicos e importância econômica	12
1.3	Modificações da parede celular durante o amadurecimento dos frutos.....	13
2	REFERÊNCIAS	14
3	INTRODUÇÃO	19
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
2.1	Caracterização das áreas de colheita dos frutos	22
2.2	Material vegetal	22
2.3	Delineamento experimental	22
2.4	Avaliações.....	23
2.5	Análise estatística	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
6	CONCLUSÕES.....	48
	REFERÊNCIAS	50

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. O umbuzeiro

O gênero *Spondias* é constituído de espécies bastante adaptadas à região semiárida, sendo essas encontradas em todo o Nordeste do Brasil, entre elas a *Spondias mombim* (cajarana), *Spondias purpúrea* (cirigueleira) a *Spondias tuberosa* (umbuzeiro), também chamada de imbuzeiro (BRITTO, 2010; GOUVÊA et al., 2017).

Dentre essas espécies com potencial de exploração no semiárido brasileiro, o umbuzeiro ou imbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Câm.), como é tradicionalmente conhecido no Brasil, é um fruto que se destaca por sua grande importância socioeconômica para as populações rurais do Nordeste, sendo um fruto nativo da região semiárida, encontrado em grande abundância em áreas de caatingas no Nordeste do Brasil. Entre as diversas frutas pertencentes ao gênero *Spondias*, o umbu é considerado o melhor em qualidade (DA COSTA et al., 2015; BIANCHINI, 2018; ARAÚJO et al., 2020; PEREIRA et al., 2021).

Semelhante às outras espécies no bioma, o umbu tem adaptabilidade à escassez e irregularidade das chuvas que acontecem ao longo dos anos. Essa é característica de toda a região semiárida brasileira, onde há a ocorrência desta espécie. Além do consumo de frutas frescas, vários produtos da fruta do umbu são vendidos, atingindo outras regiões e nichos de mercado, chegando até na Europa (LIMA et al., 2018; BIANCHINI, 2018).

Entretanto, a estação de colheita é restrita a alguns meses e caracteriza-se por ser extrativista. Dessa forma, a alta variabilidade genética da espécie, a perecibilidade do fruto, a falta de conhecimento e técnicas que favorecem a produção, e uma conservação pós-colheita mais racional, dificultam o progresso para que haja uma maior inserção desses frutos no mercado (LIMA et al., 2018; LIMA e CASTRINI, 2019).

Com o objetivo de preservar a variabilidade genética do umbuzeiro, a Embrapa Semiárido possui o Banco de Germoplasma do Umbu (BGU) com 78 acessos oriundos dos estados de Pernambuco, Bahia, Rio Grande do Norte e Minas Gerais (OLIVEIRA et al., 2016).

Dentre esses acessos, encontram-se os acessos América Dourada – BA, Lontra – MG e Macaúbas – BA aqui estudados, caracterizados como umbu gigante, tendo em vista seus frutos pesarem em média 86,7g, 96,7 e 120g, respectivamente (SANTOS et al. 1999), em

detrimento do umbu Cuité, o qual apresenta tamanhos menores, não sendo considerado umbu gigante, sendo, portanto, importante confrontar o umbu Cuité com os demais umbus gigantes.

1.2. Aspectos botânicos e importância econômica

O umbuzeiro é uma árvore que apresenta uma altura variando de 4 a 6 m, além de apresentar uma copa caracterizada como umbeliforme, a qual pode atingir por volta de 10 a 15 m de diâmetro (CARVALHO, 1986).

O umbu, fruto do umbuzeiro, é uma drupa que apresenta de 2-3,5 cm de comprimento e peso geralmente de 10 a 20 g. É um fruto redondo, ovoides ou oblongo e amarelo esverdeado quando maduro, possui uma casca fina e semente grande (GOMES, 1985). Dentre os acessos de umbuzeiro, encontram-se acessos caracterizados como umbu gigante os quais apresentam tamanhos e pesos superiores, como o América Dourada – BA, Lontra – MG e Macaúbas – BA, com massa média do fruto de 85, 96,7 e 120 g, respectivamente, e com diâmetros de 5,2 e 5,67 cm para América Dourada e Lontra (SANTOS et al., 1999).

A polpa é suculenta, macia e de sabor agridoce (ASSIS et al., 2020). Com relação às propriedades físico-químicas, é um fruto que apresenta pH entre 2,90 e 3,30, acidez total titulável entre 0,95 e 1,13% e teor de sólidos solúveis variando de 8,9 a 10,2%. Em relação à composição proximal, o teor de umidade varia de 85,38 a 88,57%, os teores de lipídios, proteínas, fibra bruta, açúcares redutores e carboidratos variam de 0,81 a 0,89%, 0,24 a 0,38%, 0,97 a 1,09%, 3,37 a 6,63% e 3,37 a 6,63%, respectivamente (NARAIN et al., 1992).

A fruta é bastante utilizada na forma de umbuzada, preparada misturando a polpa filtrada com açúcar e leite. A fruta também é usada na agroindústria para a produção de sorvetes, fabricação de doces, licores, vinhos, cervejas, polpas, picolés, entre outros diversos produtos. Nesse contexto, as indústrias de processamento de frutas da região desenvolveram interesse por essas frutas, resultando na exportação da polpa congelada para alguns países europeus (NARAIN, 1992; NEVES e CARVALHO, 2005).

Dessa maneira, esse é um fruto que apresenta grandes perspectivas de inserção nos mercados interno, e externo de frutas exóticas, principalmente, como forma de sucos, sorvetes, picolés e polpa (ARAÚJO et al., 2020). Além de características sensoriais marcantes, são frutos que apresentam compostos bioativos, então o seu consumo pode contribuir substancialmente na dieta humana, como fonte de vitaminas e minerais (SANTOS

et al., 2010; ARAÚJO et al., 2020), visto que, quanto a composição mineral, os umbus apresentaram ferro, cálcio e fósforo, sem variação significativa dentre os estágios de maturação avaliados (NARAIN et al., 1992). Já foram encontrados também valores significativos de potássio nos frutos (ALMEIDA et al., 2009). O umbu também possui em sua composição as vitaminas B1, B2 e B6 de acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (UNICAMP, 2011).

A exploração do umbu é realizada de maneira extrativista, de modo que essa exploração contribui para fonte de renda complementar e de mão-de-obra familiar para as comunidades locais, tendo em vista a demanda crescente por esses frutos tropicais, agregado ao número cada vez maior do envolvimento de pequenas indústrias com o processamento desses frutos para polpa (NEVES e CARVALHO, 2005; VIDIGAL et al., 2011).

1.3. Modificações da parede celular durante o amadurecimento dos frutos

O amadurecimento dos frutos é um processo bioquímico e fisiológico e geneticamente programado. Esse processo é caracterizado por alterações reológicas e de textura, à medida em que a parede celular é desmontada pela ação de enzimas hidrolíticas (LI et al., 2010; DAUTT-CASTRO et al., 2019). O amadurecimento resulta em características sensoriais que são desejáveis no fruto, como o amaciamento e o desenvolvimento de aroma e cor (HONG et al., 2015).

Fisiologicamente, essa perda de firmeza (ou amaciamento da fruta) durante o processo de amadurecimento do fruto, envolve diversas mudanças estruturais e químicas nos polissacarídeos da parede celular (pectina, hemicelulose e celulose) que incluem a solubilização e a despolimerização dos polissacarídeos, bem como mudanças nos seus padrões de arranjo. Dessa forma, a expressão e a atividade de enzimas hidrolíticas da parede celular (poligalacturonases, pectina metilesterase, pectato liases, xilanases, glucosidases, entre outras) estão envolvidas naturalmente neste processo (BRUMMELL et al., 2004; MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014; ZHANG et al., 2019).

A pectina é um importante polissacarídeo da parede celular primária, pois desempenha um papel crítico na integridade estrutural celular e na adesão celular (LIANG et al., 2015; LIU et al., 2021). Esta é um carboidrato formado por polímeros de ácido poligalacturônico, que, juntamente com os polissacarídeos presentes na hemicelulose e celulose, são responsáveis pela rigidez da parede celular, formando uma barreira física (VRIES et al. 2001).

As enzimas poligalacturonase e pectina metil esterase são consideradas as que causam a desmontagem da pectina em frutas frescas na pós-colheita (LIN et al., 2018; LIN et al., 2019).

A pectinametilesterase pode remover o grupo de hidroxietil ou metoxil do ácido pectínico e catalisar o ácido pectínico para gerar ácido péctico e pectina de baixo teor de metoxil (BALDWIN et al., 2014; LIN et al., 2019; LIN et al., 2020).

A Poligalacturonase hidrolisa ligações α 1-4 em ácido poligalacturônico (ácido péctico) para produzir ácido galacturônico (JAYANI et al., 2005; GARG et al., 2016). As duas enzimas (PME e PG) catalisam sinergicamente a degradação da pectina, que por sua vez pode levar à destruição da lamela média (SHI et al., 2019).

Durante a maturação, ocorrendo essas alterações nas frações dos compostos pécticos da parede celular, ocorre também a perda de açúcares neutros e aumento na solubilidade das pectinas, por meio de reações de despolimerização. Com isso, há aumento na proporção de pectinas solúveis, o que contribui diretamente para o amaciamento (AIDAR et al., 2021).

As alterações da parede celular que levam ao amolecimento dos frutos e às alterações de textura são complexas, envolvem as atividades coordenadas e interdependentes de uma variedade de proteínas modificadoras da parede celular e ainda não são totalmente compreendidas (BRUMMELL e HARPSTER, 2001 , TAKIZAWA et al., 2014), gerando então a importância de saber sobre a degradação dos frutos de umbuzeiros.

Embora os frutos de umbuzeiro apresentem uma boa aceitação no mercado, visto que, suas características sensoriais são consideradas atrativas, estudos que envolvem a sua caracterização fisiológica ainda são escassos, sendo necessário que se tenha essa caracterização para obtenção de conhecimento prévio com a finalidade de prolongar a vida útil do umbu.

Nesse contexto, é necessário que sejam desenvolvidas pesquisas gerando conhecimento sobre a fisiologia da maturação de diferentes acessos de umbuzeiro, alterações nas frações de pectina e atividades de enzimas da parede celular que resultam no amaciamento dos frutos. Esses estudos irão contribuir com a seleção e conhecimento de genótipos mais promissores, assim como pode fornecer uma base teórica para compreender o processo de amaciamento de frutos de *Spondias tuberosa* na pós-colheita.

2. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. J. S.; SANTOS, J. A. B.; NARAIN, N. Avaliação da influência de diferentes condições de liofilização nas características físico químicas e sensoriais do umbu em pó. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, 2020.

ASSIS, R. C.; SOARES, R. L. G.; SIQUEIRA, A. C. P.; ROSSO, V. V.; SOUSA, P. H. M.; MENDES, A. E. P.; COSTA, E. A.; CARNEIRO, A. P. G.; MAIA, C. S. C. Determination of water-soluble vitamins and carotenoids in Brazilian tropical fruits by high performance liquid chromatography. **Heliyon**, v.6, p.1-10, 2020.

BALDWIN, E. A.; HAGENMAIER, R.; BAI, J. (Ed.). **Edible coatings and films to improve food quality**. CRC Press, 2011. 415 p.

BIANCHINI F. **Umbu (Spondias tuberosa) produto da sociobiodiversidade nos territórios fundo de pasto**. 128 f. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) Universidade Federal do Vale do São Francisco. Juazeiro - BH, 2018.

BRITTO, F. F. **Progênes híbridas de maracujazeiros do cruzamento *Passiflora cincinnata* Mast. x *Passiflora quadrangularis* Linn.** 152p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA. 2013.

BRUMMELL, D. A.; DAL CIN, V.; CRISOSTO, C. H.; LABAVITCH, J. M. Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit. **Journal of experimental botany**, v. 55, n. 405, p. 2029-2039, 2004.

CARVALHO, V. C. **Structure et dynamique de la vegetation en milieu tropical semi-aride. La Caatinga de Quixabá (Pernambouc, Brésil) du terrain a l'analyse des données MSS/Landsat**. São José dos Campos. 332p. (INPE-4049-RPE/524). Tese (Doutorado) - Université de Toulouse-Le Mirail. INPE, 1986.

DA COSTA, F. R.; RÊGO, E. R.; RÊGO, M. M.; NEDER, D. G.; SILVA, S. M.; SCHUNEMANN, A. P. P. Análise biométrica de frutos de umbuzeiro do semiárido brasileiro. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 3, p. 682-690. 2015.

DANTAS JÚNIOR, O.R. Qualidade e atividade antioxidante total de frutos de genótipos de umbuzeiro oriundos do Semi-árido nordestino. 2008. 90f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2008.

DAUTT-CASTRO, M.; LÓPEZ-VIRGEN, A. G.; OCHOA-LEYVA, A.; CONTRERAS-VERGARA, C. A.; SORTILLÓN-SORTILLÓN, A. P.; MARTÍNEZ-TÉLLEZ, M. A.;

- ISLAS-OSUNA, M. A. Genome-wide identification of mango (*Mangifera indica* L.) Polygalacturonases: expression analysis of family members and Total enzyme activity during fruit ripening. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 969, 2019.
- GARG, G.; SINGH, A.; KAUR, A.; SINGH, R.; KAUR, J.; MAHAJAN, R. Microbial pectinases: an ecofriendly tool of nature for industries. **Biotech**, v. 6, n. 1, p. 1–13, 2016.
- GOMES, R. P. O umbuzeiro. **Fruticultura brasileira**, v. 11, p. 426-428, 1964.
- JAYANI, R. S.; SAXENA, S.; GUPTA, R. Microbial pectinolytic enzymes: A review. **Process Biochemistry**, v. 40, n. 9, p. 2931- 2944, 2005.
- LI, X.; XU, C.; KORBAN, S. S.; CHEN, K. Regulatory mechanisms of textural changes in ripening fruits. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 29, n. 4, p. 222-243, 2010.
- LIANG, Y.; YU, Y.; SHEN, X.; DONG, H.; LYU, M.; XU, L.; CAO, J. Dissecting the complex molecular evolution and expression of polygalacturonase gene family in *Brassica rapa* ssp. *chinensis*. **Plant molecular biology**, v. 89, n. 6, p. 629-646, 2015.
- LIMA, M. A. C.; SILVA, S. M.; OLIVEIRA, V. R. Umbu—*Spondias tuberosa*. **Exotic fruits - Academic Press**, p. 427-433, 2018.
- LIN, Y.; LIN, H.; WANG, H.; LIN, M.; CHEN, Y.; FAN, Z.; LIN, Y. Effects of hydrogen peroxide treatment on pulp breakdown, softening, and cell wall polysaccharide metabolism in fresh longan fruit. **Carbohydrate polymers**, v. 242, p. 116427, 2020.
- LIN, Y.; LIN, Y.; LIN, H.; LIN, M.; LI, H.; YUAN, F.; XIAO, J. Effects of paper containing 1-MCP postharvest treatment on the disassembly of cell wall polysaccharides and softening in Younai plum fruit during storage. **Food chemistry**, v. 264, p. 1-8, 2018.
- LIN, Y.; LIN, Y.; LIN, Y.; LIN, M.; CHEN, Y.; WANG, H.; LIN, H. A novel chitosan alleviates pulp breakdown of harvested longan fruit by suppressing disassembly of cell wall polysaccharides. **Carbohydrate polymers**, v. 217, p. 126-134, 2019.
- LIU, J.; ZHAO, Y.; XU, H.; ZHAO, X.; TAN, Y.; LI, P.; LIU, D. Fruit softening correlates with enzymatic activities and compositional changes in fruit cell wall during growing in *Lycium barbarum* L. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, n. 6, p. 3044-3054, 2021.
- MALDONADO-ASTUDILLO, Y. I.; ALIA-TEJACAL, I.; NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ, J.; PELAYO-ZALDÍVAR, C.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.;

- VALLE-GUADARRAMA, S. Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. **Scientia Horticulturae**, v. 174, p. 193-206, 2014.
- NARAIN, N.; BORA, P. S.; HOLSCHUH, H. J.; VASCONCELOS, M. A. D. S. Variation in physical and chemical composition during maturation of umbu (*Spondias tuberosa*) fruits. **Food Chemistry**, v. 44, n. 4, p. 255-259, 1992.
- NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G. de. **Tecnologia da produção do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.)**. Lavras: UFLA. 101 p. 2005.
- OLIVEIRA, V. R.; SANTOS, C. A. F.; NASCIMENTO, C. E. S.; DRUMOND, M. A. Recursos genéticos. In: DRUMOND, M. A.; AIDAR, S. T.; NASCIMENTO, C. E. S.; OLIVEIRA, V. R. (Eds.). **Umbuzeiro: avanços e perspectivas**. Petrolina: EmbrapaSemiárido, 2016.
- PEREIRA, F. R. A.; PEREIRA, W. E.; PESSOA, A. M. D. S.; VASCONCELOS, E. S. A. G. D. Biometry in Umbu fruits from the semi-arid region of Paraíba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, n. 6, 2021.
- RIZZINI, C. T.; MORS, W. B. **Botânica econômica brasileira**. São Paulo: EDUSP, 1976. 207p.
- SANTOS, C. A. F.; NASCIMENTO, C. E. de S.; ARAÚJO, F. P. de Competição de clones do umbuzeiro: cinco anos após. In: ENCONTRO DE GENÉTICA DO NORDESTE, 16., 2002, São Luís. **Resumos...** São Luís: SBG-MA, 2002. p. 131.
- SANTOS, M. B.; CARDOSO, R. L.; FONSECA, A. A. O.; CONCEIÇÃO, M. N. Caracterização e qualidade de frutos de umbu-cajá (*Spondias tuberosa* X *S. mombin*) provenientes do Recôncavo Sul da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1089-1097, 2010.
- SHI, Z.; YANG, H.; JIAO, J.; WANG, F.; LU, Y.; DENG, J. Effects of graft copolymer of chitosan and salicylic acid on reducing rot of postharvest fruit and retarding cell wall degradation in grapefruit during storage. **Food chemistry**, v. 283, p. 92-100, 2019.
- VIDIGAL, M. C. T. R.; MINIM, V. P. R.; CARVALHO, N. B.; MILAGRES, M. P.; GONÇALVES, A. C. A. Effect of a health claim on consumer acceptance of exotic Brazilian fruit juices: Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), Camu-camu (*Myrciaria dubia*), Cajá (*Spondias lutea* L.) and Umbu (*Spondias tuberosa*). **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1978-1999, 2011.

VRIES, R. P.; VISSER, J. A. A. P. Aspergillus enzymes involved in degradation of plant cell wall polysaccharides. **Microbiology and molecular biology reviews**, v. 65, n. 4, p. 497-522, 2001.

ZHANG, S.; MA, M.; ZHANG, H.; ZHANG, S.; QIAN, M.; ZHANG, Z.; WANG, L. Genome-wide analysis of polygalacturonase gene family from pear genome and identification of the member involved in pear softening. **BMC plant biology**, v. 19, n. 1, p. 1-12, 2019.

3. INTRODUÇÃO

O umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Câm.), também conhecido popularmente como “imbuzeiro” ou “umbu” pertence à família Anacardiaceae e ao gênero *Spondias*, que compreende 18 espécies comuns na biodiversidade brasileira. É uma espécie nativa e endêmica do Semiárido do Brasil, onde se caracteriza como uma importante frutífera (MARTINS e MELO, 2017; OLIVEIRA et al., 2018).

Seus frutos são chamados de “umbu” ou “imbu” e são muito apreciados por se apresentarem com sabor agridoce (GOUVÊA et al., 2017; ALCÂNTARA et al., 2021), sendo esses comercializados principalmente por pequenos produtores em feiras, ruas e calçadas (CORDEIRO et al., 2020). Além do consumo fresco, a fruta também é utilizada na indústria de processamento para a produção de sucos, polpas, doces, geleias, sorvetes, entre outros (LIMA et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018; SILVA et al., 2018; CONCEIÇÃO et al., 2020; CORDEIRO et al., 2020), demonstrando o papel essencial que essa planta tem para contribuir economicamente com a região, a partir da industrialização caseira de produtos derivados do fruto (CAVALCANTI et al., 2005; ARAÚJO et al., 2020).

O umbuzeiro apresenta uma grande variabilidade genética (LIMA e CASTRINI, 2019). Com o objetivo de preservar essa variabilidade genética do umbuzeiro, a Embrapa Semiárido possui o Banco de Germoplasma do Umbu (BGU) com 78 acessos oriundos dos estados de Pernambuco, Bahia, Rio Grande do Norte e Minas Gerais (OLIVEIRA et al., 2016). Dentre esses acessos, encontram-se acessos caracterizados como umbu gigante como o América Dourada – BA, Lontra – MG e Macaúbas - BA, sendo assim denominados por apresentarem massa média de seus frutos é 86,7g, 96,7 e 120 g, respectivamente (SANTOS et al. 1999), em detrimento aos frutos menores com média de massa de 10 a 20 g (DA COSTA, 2015; ALVES et al., 2020) como o umbu Cuité presente nesse trabalho, sendo esse um acesso local da cidade de Cuité a ser explorado e comparado em termo dos acessos gigantes.

O Brasil produziu em 2020 9.467 toneladas, resultado do extrativismo em oito estados brasileiros, sendo a maior parte dessa produção (7.491 t) concentrada na região Nordeste, principalmente no estado da Bahia com produção de 5.413 t (IBGE, 2020).

Isso destaca um papel socioeconômico essencial do umbu para a região, tendo em vista que representa uma fonte alternativa de emprego e renda e de alimentação para pequenos produtores rurais, principalmente em períodos de estiagem na região Nordeste (ARAÚJO et al., 2020).

Entretanto, a colheita dos frutos em estágio de maturação intermediário tem como resultado um amadurecimento rápido, com rápida perda de qualidade, resultando na diminuição do período de comercialização (MENEZES et al., 2017). Nesse contexto, a distribuição dos frutos para estados que não são produtores ainda é mais restrita, ocorrendo, principalmente, na forma de produtos processados (LIMA e CASTRICINI, 2019), sendo então necessário o desenvolvimento de estudos que aumentem o conhecimento científico sobre o umbu, para gerar iniciativas de direcionar esses frutos para diferentes nichos de mercado, notadamente umbus com maior massa, que podem ser direcionados ao mercado de frutos frescos.

Na produção de frutas frescas, a firmeza é um atributo de qualidade bastante importante para a aceitação do consumidor, além de estar relacionada com o amaciamento da fruta durante o amadurecimento (CHEN et al., 2021).

O amaciamento dos frutos que ocorre durante o amadurecimento tem sido associado à degradação dos diferentes componentes da parede celular (BRUMMELL e HARPSTER, 2001; ZHAO et al., 2018; WANG et al., 2020). As enzimas relacionadas às modificações da parede celular que potencialmente desempenham um papel no amaciamento da fruta incluem a poligalacturonase e pectina metil esterase (QIAN et al., 2016; ZHAO et al., 2018; LIN et al., 2019; WANG et al., 2020).

As enzimas poligalacturonase e pectina metil esterase, contribuem então, para a degradação dos polissacarídeos da parede celular, levando ao amolecimento dos frutos, ou seja, a redução da firmeza dos frutos (ZHAO et al., 2018; WANG et al., 2020). Essas enzimas são consideradas capazes em degradar a pectina em frutas frescas na pós-colheita (LIN et al., 2018; LIN et al., 2019).

Em frutos do umbuzeiro com características diferenciadas, como os acessos gigantes estudos do metabolismo da parede celular não estão ainda disponíveis na literatura. Assim, o conhecimento sobre a ação de enzimas da parede celular relacionadas ao metabolismo de seus polissacarídeos são necessários, principalmente no que se refere aos acessos supracitados, com potencial para o mercado de frutos frescos, forneceria uma base teórica para buscar minimizar as perdas decorrentes do amolecimento de frutos do umbuzeiro na pós-colheita e ajudaria também na utilização de técnicas e estratégias de manejo e de conservação pós-colheita, favorecendo a oferta e a preservação da qualidade de frutos do umbuzeiro.

Nesse sentido, é necessário que sejam desenvolvidas pesquisas com diferentes acessos de umbuzeiro, gerando conhecimento sobre seus diferenciais de qualidades. Esses estudos irão contribuir com a seleção e conhecimento de genótipos mais promissores em manter a qualidade dos frutos por um maior período de tempo.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi determinar a influência do estágio de maturação de diferentes acessos de umbuzeiro na fisiologia da maturação, alterações nas frações de pectina e atividades de enzimas da parede celular que resultam no amaciamento dos frutos.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caracterização das áreas de colheita dos frutos

O município de Cuité fica localizado na Mesorregião do Agreste e Microrregião do Curimataú Ocidental Paraibano, a uma altitude é de 667 metros acima do nível do mar, predominando o clima quente e seco precipitação pluviométrica anual é de 916,30 mm. Devido sua altitude elevada, a temperatura oscila entre 17° C e 28° C (PARAÍBA, 2006).

Os municípios de Anagé e Vitória da Conquista ficam localizados na Mesorregião do Centro Sul e Microrregião de Vitória da Conquista, Anagé tem uma altitude de 353 m, enquanto Vitória da Conquista se encontra a 923 m acima do nível do mar, fazendo com que o clima de Anagé seja do tipo Tropical com estação seca (Aw - Köppen-Geiger), enquanto o de Vitória é Mesotérmico com chuvas de verão e verões moderadamente quente (Cwb -Köppen-Geiger). As temperaturas médias anuais são de 22,2 °C para Anagé e 20,2 °C para Vitória, já as precipitações médias anuais são de 707,8 mm e 733,9 mm, respectivamente (SEI, 1999; SEI 2013).

4.2. Material vegetal

Os frutos de umbuzeiro foram colhidos nas primeiras horas da manhã de plantas de área rural do município de Vitória da Conquista - BA, exceto os frutos do umbuzeiro Cuité, que foram colhidos no município de Cuité – PB. Desta forma, todos foram colhidos sem danos aparentes em dois estádios de maturação, sendo o verde maduro e o maduro. Os umbus foram transportados em caixas de poliestireno expandido para o Laboratório de Biologia e Tecnologia Pós-Colheita do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Areia-PB, onde foram lavados em água corrente para a retirada das impurezas remanescentes da colheita, selecionados por uniformidade de maturação e sanitizados com solução de cloro livre a 50 ppm por 1min a $12\pm 2^{\circ}\text{C}$, secos sob condição ambiente $22\pm 5^{\circ}\text{C}$ e armazenados a temperatura ambiente, com um tempo entre a colheita e as análises de 12 horas.

4.3. Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x2 (quatro acessos, incluindo o umbuzeiro Cuité, e os umbus gigantes: América Dourada, Lontra e Macaúbas, em 2 estádios de maturação, sendo o verde maduro e o maduro), em 4 repetições com 10 frutos por unidade experimental.

4.4. Avaliações

A avaliação da produção de etileno e CO₂ dos frutos de umbuzeiro foi realizada na condição ambiente (25 ± 2°C) em quatro repetições (±550 g/repetição). Os frutos foram colocados em potes herméticos de 1450 ml sob sistema de fluxo contínuo de oxigênio. As leituras foram iniciadas 24 horas após a colheita, sendo essa a primeira leitura e realizadas durante 7 dias. Foi injetado 0,1 ml dos gases do fluxo em analisador de CO₂ (Sable Systems PA-10a) (DANTAS et al., 2016) e 1 ml em um cromatógrafo gasoso (Carle series 100 AGC; Hach Company, Loveland, CO) equipado com detector de ionização por chama (FID) para determinação do etileno (CONTRERAS e BEAUDRY, 2013). A produção de etileno foi expressa em µL etileno kg⁻¹ e de CO₂ em mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

Para as demais avaliações, o umbuzeiro Cuité, e os umbus gigantes: América Dourada, Lontra e Macaúbas foram avaliados em 2 estádios de maturação, sendo o verde maduro e o maduro), em 4 repetições com 10 frutos por unidade experimental, sendo realizada a primeira dessas avaliações, 12 horas após a colheita.

Coloração da casca do fruto: para cálculo do índice de cor, foi avaliada através de leitura direta com o colorímetro Minolta CM-508d, o qual expressa a cor no sistema CIE Lab, sendo avaliados os parâmetros L*, a* e b*. Foram efetuadas duas leituras por fruto, com o colorímetro, alternando a posição de leitura, sendo uma leitura realizada no ápice e outra na base da casca do fruto.

O índice de cor (IC) que indica o grau de variação do verde para o amarelo foi calculado conforme Motta et al., (2015) pela equação pela equação:

$$IC = \frac{200a}{L\sqrt{(a)^2 + (b)^2}}$$

As avaliações físico-químicas realizadas apartir do processamento da polpa em processador doméstico foram, sólidos solúveis, acidez titulável e pH.

Sólidos Solúveis (SS - %): foi determinado por leitura direta com refratômetro tipo Abbe digital, ATAGO N1 (Instituto Adolfo Lutz-IAL, 2005);

Acidez Titulável (AT – g de ácido cítrico.100 g⁻¹ de polpa): foi determinado por titulometria com solução de NaOH 0,1M com indicador fenolftaleína até obtenção de

coloração róseo claro permanente, utilizando 2 g da amostra em 50 mL de água destilada (Instituto Adolfo Lutz-IAL, 2005);

Relação SS/AT: foi obtida através da divisão dos índices de SS por AT;

pH: obtido utilizando potenciômetro digital, conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz – IAL (2005);

Firmeza dos frutos íntegros (N): determinada utilizando sonda (probe) cilíndrica de 2 mm de diâmetro em um analisador de textura Stable Micro System, Modelo - TA-XT2-Plus, sendo realizada duas perfurações em diferentes regiões, sendo realizadas em lados opostos no meio do fruto inteiro.

Para as avaliações de pectina solúvel, pectina total, pectinametilesterase (PME) e poligalacturonase (PG) de casca e de polpa separadamente, os frutos foram separados em polpa e casca, em seguida essas frações foram processados em processador doméstico e as amostras foram liofilizadas.

Para pectina total, a extração foi realizada pelo método descrito por McCready e McComb (1952). Foram utilizados 0,25g de polpa e 0,25g de casca liofilizadas separadas, adicionando 12,5 mL de etanol 95% e homogeneizado (Turrax), deixando em repouso por 30 minutos em geladeira, logo após foram centrifugados. Em seguida, foram lavadas duas vezes o resíduo com $\pm$ 5 mL de etanol 75% cada vez. Transferiu-se o resíduo para um béquer com água (+/- 40 mL), acertando o pH para 11,50 com NaOH 1,0 N e logo após foram deixados em repouso em geladeira por 30 minutos, ajustando o pH para 5,0 - 5,5 com ácido acético glacial diluído (15 mL / 50 mL). Foi adicionado à amostra 0,1g de pectinase, agitando-se em agitador (Global Trade Technology) por uma hora. Filtrou-se à vácuo e diluiu-se o sobrenadante para 50 mL com água destilada em um balão volumétrico. Tomou-se uma alíquota do filtrado de 0,1 mL para reação com solução de ácido sulfúrico/tetraborato de sódio. Os tubos de ensaio contendo a amostra foram colocados em banho de gelo e após receberem o reativo, foram agitados e colocados em banho-maria a 100 °C por cinco minutos e imediatamente devolvidos ao banho de gelo. Em seguida, adicionou-se 0,06 mL de m-hidroxidifenil para desenvolvimento de cor. Manteve-se em repouso por 10 minutos e após esse tempo realizou-se a leitura em espectrofotômetro, em comprimento de onda de 520 nm e o resultado expresso em percentagem.

Para pectina solúvel a extração foi realizada pelo método do m-hidroxidifenil segundo procedimento descrito por McCready e McComb (1952). Foram utilizados 0,25g de polpa e

0,25g de casca liofilizadas separadas, adicionando 12,5 mL de etanol 95% e homogeneizado (Turrax), deixando em repouso por 30 minutos em geladeira e, logo após, foram centrifugados. Em seguida, foram lavadas duas vezes o resíduo com ± 5 mL de etanol 75% cada vez. Transferiu-se o resíduo para um béquer com água (± 40 mL), agitando-se em agitador (Global Trade Technology) por uma hora. Filtrou-se à vácuo e diluiu-se o sobrenadante para 50 mL com água destilada em um balão volumétrico. Tomou-se uma alíquota do filtrado de 0,4 mL para reação com solução de ácido sulfúrico/tetraborato de sódio. Os tubos de ensaio contendo a amostra foram colocados em banho de gelo e, após receberem o reativo, foram agitados e colocados em banho-maria a 100 °C por cinco minutos e imediatamente devolvidos ao banho de gelo. Em seguida, adicionou-se 0,06 mL de m-hidroxidifenil para desenvolvimento de cor. Manteve-se em repouso por 10 minutos e após esse tempo, realizou-se a leitura em espectrofotômetro com comprimento de onda de 520 nm, sendo o resultado expresso em percentagem.

Na avaliação da atividade da pectinametilesterase (PME) de polpa e casca, a extração e atividade foram de acordo com Jen e Robinson (1984). 0,25g de polpa e 0,25g de casca liofilizadas e separadas foram homogeneizadas com 25 mL de NaCl 0,2 mol L⁻¹ gelado em IKA T25 digital ULTRA-TURRAX. Para a atividade enzimática, a mistura reacional continha 5 mL de extrato bruto enzimático e 30 mL de solução de pectina (1% v/p pectina cítrica em 0,1 mol L⁻¹ NaCl), e a taxa de desmetilação da pectina foi monitorada por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹ por 10 min, a pH 7,0. Uma unidade de atividade da PME (UA) foi definida como a quantidade de enzima capaz de desmetilar a pectina correspondente ao consumo em um minuto de um nanomole de NaOH por quilograma em base de proteína, e os resultados foram expressos como UA kg⁻¹.

Na extração de poligalacturonase (PG), para a obtenção do extrato enzimático, foram moídos 0,25g de polpa e 0,25g de casca liofilizada e separadas de umbu em 10 ml de NaCl 0,9 % (p/v). A mistura foi centrifugada (centrífuga Hettich Zentrifugen) a 6000 rpm por 30 min a 4°C e o resíduo descartado. O sobrenadante obtido continha as enzimas. A atividade da poligalacturonase foi determinada usando o método de Gross (1982). Misturamos o substrato (1% de ácido poligalacturônico lavado com 80% de etanol) e 100 mM de tampão acetato (pH 5,6) contendo 0,1 M NaCl e 50 µL de extrato enzimático para um total de 200 µL. Em seguida, a mistura foi incubada a 37°C por 2 h sob agitação contínua. A reação foi interrompida pela adição de 1 ml de borato de sódio (pH 9). Em seguida, 200 µL de 0,1% de 2-cianoacetamida foram adicionados antes de toda a mistura ser colocada em banho-maria fervente por 10 min.

Finalmente, a mistura foi deixada resfriar à temperatura ambiente e a absorbância foi lida a 276 nm usando um branco (mistura sem subtração) e ácido D-galacturônico para padrão. Sendo o resultado expresso em porcentagem.

4.5. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à ANOVA pelo teste F e submetidos ao teste de Tukey para os diferentes acessos e estádios de maturação, utilizando o software Sisvar, versão 5.6 (FERREIRA, 2007).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de etileno nos frutos de acessos de umbuzeiro colhidos verdes apresentaram comportamento típico de fruto climatérico (Figura 1A). Os umbus de todos os acessos apresentaram pico do etileno 36 horas após a primeira leitura. Umbus do acesso Macaúbas apresentaram menor pico de etileno ($7,22 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) do que os demais acessos, enquanto os acessos América Dourada e Cuité, apresentaram os maiores picos, com valores em torno de $14,94$ e $13,50 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, respectivamente; o acesso Lontra apresentou um pico de etileno em torno de $10,39 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ (Figura 1A).

A produção de CO_2 nos frutos de acessos de umbuzeiro colhidos verdes apresentaram comportamento típico de fruto climatérico (Figura 1B). Umbus do acesso Macaúbas apresentaram pico respiratório em torno de $21,09 \text{ mL CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, sendo o menor pico apresentado entre acessos, seguido dos umbus do acesso Cuité, que apresentaram pico respiratório da ordem de $25,34 \text{ mL CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, enquanto que os acessos Lontra e América Dourada, apresentaram pico respiratório em torno de $28,62$ e $30,49 \text{ mL CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente, onde, todos esses picos ocorreram aproximadamente após 48 horas (≈ 2 dias) após a primeira leitura, (Figura 1A).

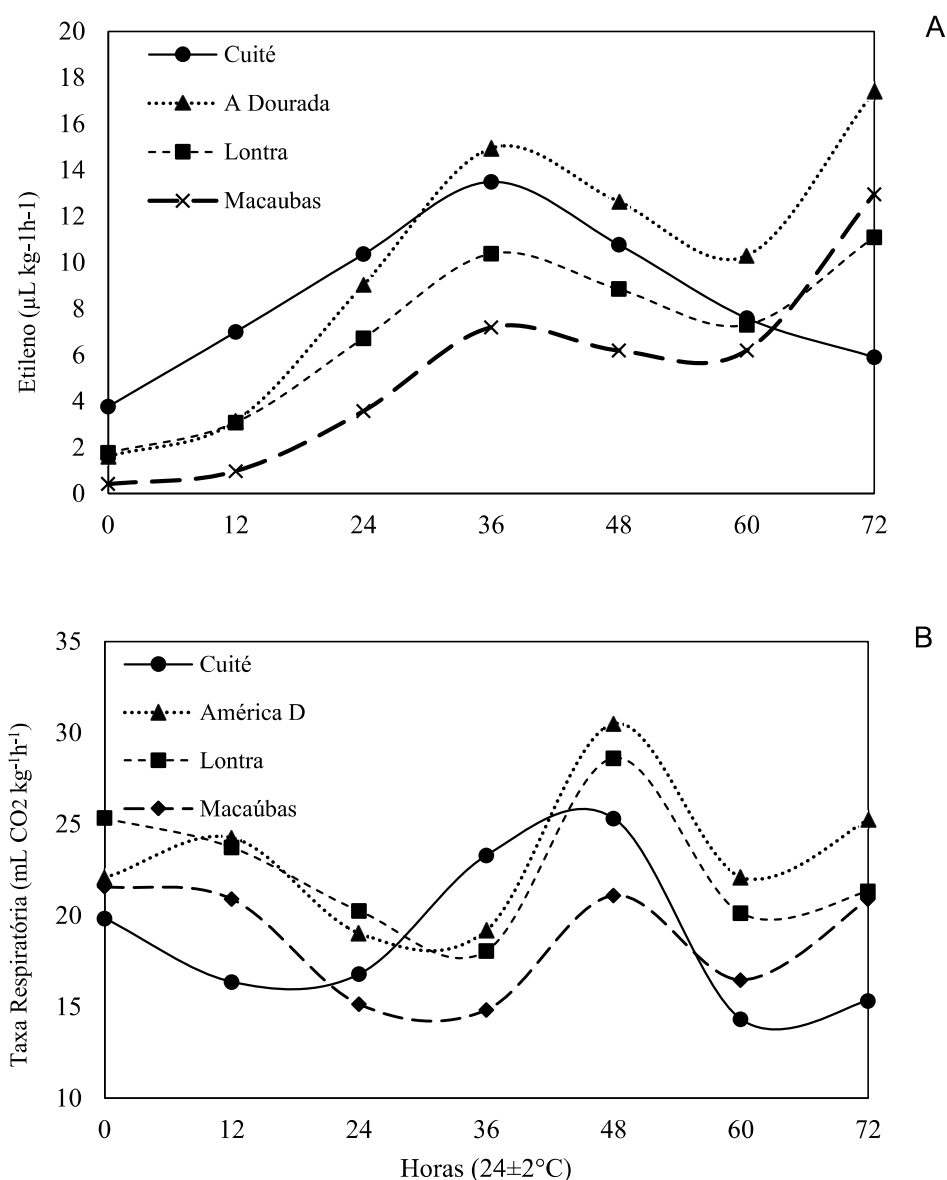


Figura 1. Produção de etileno (A) e Taxa respiratória (B) dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas).

O etileno desempenha um papel importante no processo de amadurecimento e senescência de frutos climatéricos (WANG et al., 2019), pois é um hormônio chave para iniciação e controle do amadurecimento dos frutos climatéricos, sendo responsável por induzir aumento elevado da taxa respiratória (COLOMBIÉ et al., 2017).

O etileno é responsável por uma variedade de efeitos que são benéficos ou prejudiciais. Os efeitos prejudiciais podem ser a perda de clorofila, o amolecimento em excesso, o

escurecimento dos tecidos vegetais e a senescência, tornando curta a vida útil dos frutos; os efeitos benéficos são o desenvolvimento de cor e de sabor dos frutos (KELLER et al., 2013; PATHAK et al., 2017).

No umbu, o aumento da produção de etileno durante o amadurecimento que determina as taxas em que ocorrem as mudanças químicas como degradação da clorofila, degradação enzimática da parede celular, alterações no teor de açúcares e nos teores de compostos fenólicos (GIOVANNONI et al., 2017; LIMA et al., 2018).

MALDONATO et al. (2014), estudando a fisiologia de frutos de cirigueleira não observou nenhum aumento significativo na produção de etileno, mas os frutos apresentaram concentrações variando de 153,5 a 188,6 $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ em frutos verdes, de 218,1 a 343,4 $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ em frutos meio maduros e de 349 a 422,3 $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ em frutos maduros, havendo então uma variação na taxa de etileno, sendo valores mais altos do que os observados nos frutos de umbuzeiro.

A taxa de respiração dos frutos é um bom indicador da vida útil. Quanto mais alta a taxa de respiração, mais alta é a evolução das células em direção à senescência e, conseqüentemente, a deterioração do produto, ou seja, a vida útil dos frutos está diretamente relacionada com a taxa de respiração (WAGHMARE et al., 2013; SOUZA et al., 2017). Dessa forma, quanto maior é a taxa respiratória, menor é a vida útil do fruto, em decorrência do mais rápido esgotamento de substratos armazenados, devido aos processos oxidativos relacionados com a maior atividade das enzimas da cadeia respiratória (SIDDIQ, 2018).

Kohatsu et al. (2011) desenvolvendo estudo com frutos de cajá-manga, observaram a produção máxima de CO_2 que foi de 40 $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para frutos no sexto dia armazenado a 25 °C, sendo um valor não tão distante do pico apresentados pelos umbus no segundo dia de armazenamento. A tendência da taxa de produção de CO_2 , em frutos de cajá-mangueira evidenciou padrão de atividade respiratória similar a dos frutos climatéricos (KOHATSU et al., 2011), semelhante ao comportamento dos frutos de umbuzeiro que apresentaram um pico climatérico nesse trabalho.

Para índice de cor dos frutos (Figura 2), não foi detectada diferença significativa para interação acesso e estágio de maturação. No entanto, houve efeito isolado para os fatores acesso e estágio de maturação.

O índice de cor da casca (ICC) indica claramente uma transição da coloração verde para o amarelo durante a maturação de todos os acessos de umbuzeiro, exceto para o acesso

América Dourada, que não apresentou diferença estatística entre os estádios de maturação (Figura 2); portanto, para os acessos Cuité, Lontra e Macaúbas ocorre uma mudança da pigmentação do estágio verde maduro para o estágio maduro (Figura 2), de modo que a degradação da clorofila paralelo com a biossíntese de carotenoides dá lugar à coloração amarela (RODRIGUES et al., 2018).

Entre os acessos de umbuzeiro, o acesso América Dourada foi o que apresentou maior ICC no estágio verde maduro, apresentando média de 19,89, seguido pelo acesso Lontra que apresentou uma média de 11,64, o acesso Cuité, com média de 9,85, e por último, o acesso Macaúbas que apresentou a menor média (6,98). Ocorreu diferença estatística entre todos os acessos (Figura 2). No estágio maduro todos os acessos também apresentaram diferença estatística entre si, tendo o acesso América Dourada apresentado maior IC com média de 22,36, seguido pelo acesso Cuité que apresentou média de 17,28, e o acesso Lontra, com média de 15,45, por último, o acesso Macaúbas que apresentou também a menor média (12,52).

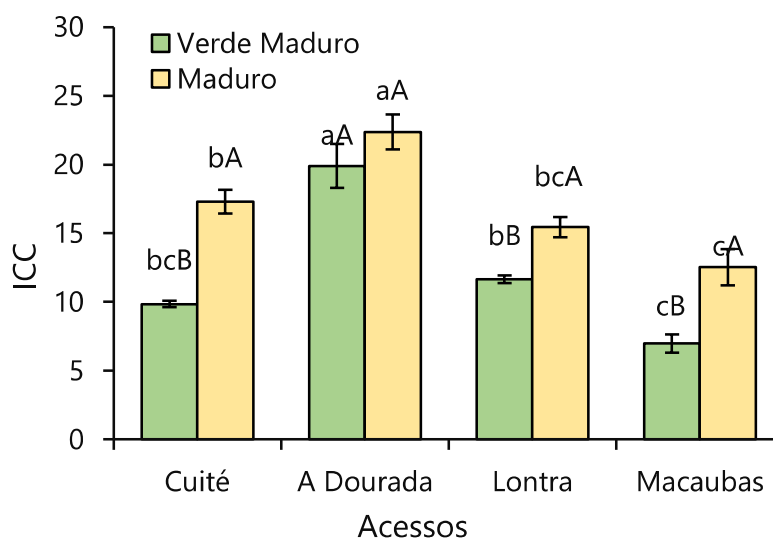


Figura 2. Índice de cor da casca dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas).

*Valores médios seguidos pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre os acessos no mesmo estágio de maturação e pelas mesmas letras maiúsculas não diferem entre os estádios de maturação verde maduro e maduro no mesmo acesso, de acordo com o critério de Tukey, a 5% de probabilidade.

Em frutos, a cor é o resultado de pigmentos como a clorofila, os carotenóides e pigmentos fenólicos (antocianinas, proantocianidinas e flavonoides) presentes no vacúolo, os quais são degradados durante o amadurecimento. Fatores físicos como a presença de ceras cuticulares, formas, tricomas e a orientação das células na epiderme e na subepiderme influenciam a expressão da cor do pigmento (LANCASTER et al., 1997). Essas mudanças estão associadas ao amadurecimento dos frutos, sendo que frutos climatéricos, como o umbu, geralmente perdem a cor verde durante o amadurecimento (SANTOS et al., 2021).

A diferença na cor da casca nesses frutos pode ter sido causada devido ao pico na produção do etileno, tendo em vista que essa transformação está intimamente ligada com a biossíntese do etileno, o que resulta no aumento da atividade das enzimas clorofilase (responsáveis pela degradação da clorofila), e induz a síntese de novas enzimas responsáveis pela biossíntese dos carotenoides (OLIVEIRA et al., 2018c).

Rodrigues et al. (2018), trabalhando com diferentes estádios de maturação de frutos de cajazeiras observou aumento do índice de cor, visto o desenvolvimento da coloração durante o amadurecimento dos frutos, o que ocorre também nos frutos de umbu.

Os umbus apresentaram clara evolução da coloração verde para a coloração amarela (Figura 3). O acesso América Dourada apresenta também uma coloração avermelhada, semelhante aos frutos de cirigueleira (Figura 3).

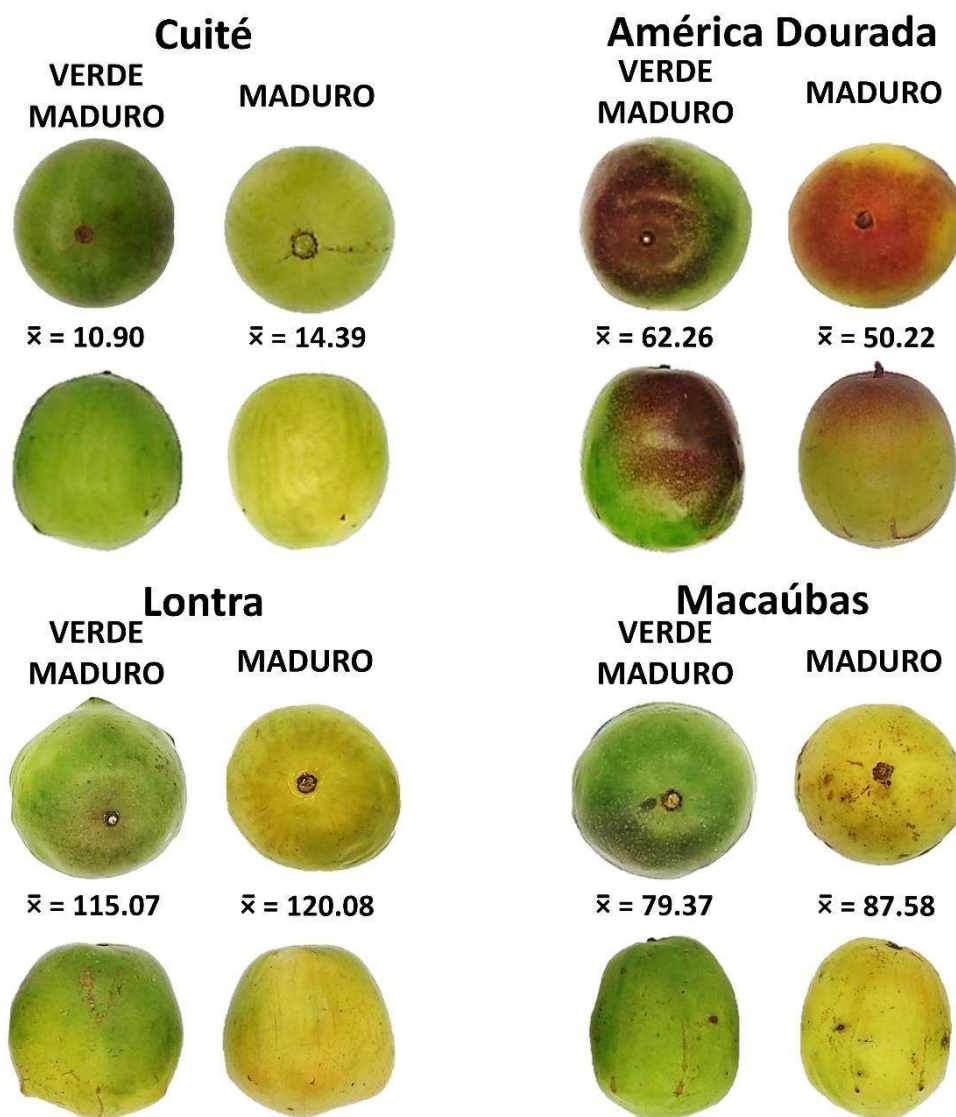


Figura 3. Evolução da coloração, aparência e massa média em gramas de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas).

A coloração é um importante atributo de qualidade de frutos frescos, pois é uma característica que define a identidade do fruto e atrai o consumidor no primeiro momento (MOURA et al., 2004).

A cor da casca de frutos de ciriguela está intimamente ligada ao metabolismo da clorofila, dos carotenoides e de polifenóis, os quais conferem propriedades antioxidantes a esse fruto (MALDONADO ASTUDILLO et al., 2017). E de acordo com Martins et al. (2003) a coloração avermelhada da casca da ciriguela é um dos principais indicativos da máxima

qualidade para consumo. No presente trabalho, o acesso América Dourada também apresenta partes com essa coloração avermelhada quando se encontra no ponto de consumo, por está madura, sendo então importante para a qualidade dos frutos desse acesso.

O acesso América Dourada se destacou quanto ao teor de SS, sendo o maior, com valor de 13,25% no estágio verde maduro (Figura 4). Os acessos Cuité, Lontra e Macaúbas, apresentaram menores teores de SS com médias variando de 10,7, 11,05 a 11,35 %, no estágio verde maduro. No estágio maduro não houve diferença estatística entre os acessos, onde os acessos Cuité, Lontra, Macaúbas e América Dourada apresentaram médias de 11,65, 12,55, 12,3 e 12,6%, respectivamente. Os acessos Cuité, Lontra e Macaúbas apresentaram aumento dos sólidos solúveis do estágio de maturação verde maduro para o estágio maduro, já o acesso América Dourada não apresentou diferença estatística no teor de sólidos solúveis entre os estádios

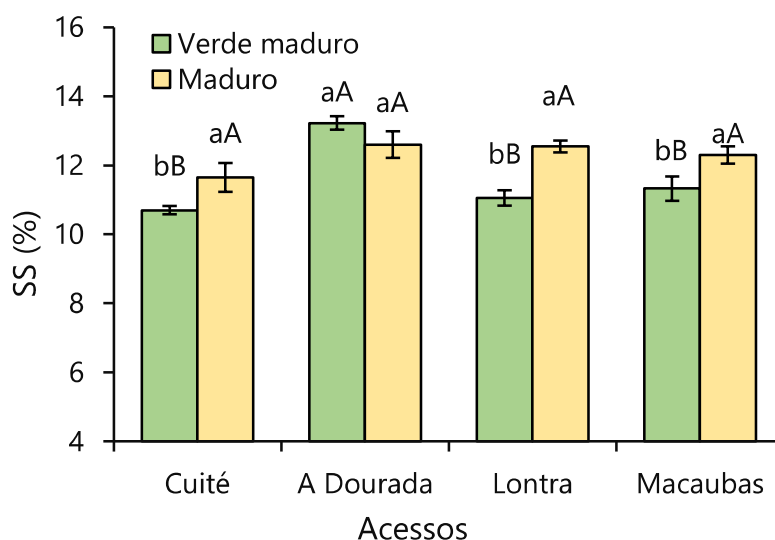


Figura 4. Sólidos Solúveis dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas).

*Valores médios seguidos pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre os acessos no mesmo estágio de maturação e pelas mesmas letras maiúsculas não diferem entre os estádios de maturação verde maduro e maduro no mesmo acesso, de acordo com o critério de Tukey, a 5% de probabilidade.

O processo de maturação inclui a conversão do amido em açúcares, aumentando assim o teor dos sólidos solúveis totais nos frutos (ISRAELI; LAHAV, 2017). O teor de sólidos solúveis dos frutos é constituído não só de açúcares solúveis, como também em menores proporções de ácidos orgânicos, vitaminas, aminoácidos, pectinas e proteínas solúveis (FERNANDES et al., 2017).

Segundo Vilas Boas et al. (2004), os sólidos solúveis são usados como indicadores de maturidade e para determinar a qualidade do fruto, desempenhando um papel importante em seu sabor. Frutos com elevado teor de sólidos solúveis são os preferidos para o consumo in natura e para a indústria, tendo em vista que proporciona um maior rendimento no processamento, devido a maior quantidade e qualidade de néctar produzido pela polpa (SANTOS et al. 2010).

Dantas et al. (2016) analisando umbuguelas observaram que o teor de sólidos solúveis dos frutos da umbugueleira aumentaram com o avanço da maturação, assim como Ferreira et al. (2018), observou que os SS nos frutos de umbuzeiros variaram de 11,55% no fruto inchado para 14,08% no fruto maduro, sendo observações semelhantes aos acessos Cuité, Lontra e Macaúbas dos umbus aqui apresentados, onde, esse aumento ocorre, provavelmente devido à conversão de carboidratos, aumento dos açúcares redutores e diminuição do teor de amido nos frutos (FREITAS et al., 2017).

Menezes et al. (2017) relataram variações encontradas para sólidos solúveis (SS) em frutos de umbuzeiro de 9,54 a 13,74%, sem apresentar diferença estatística entre os estádios de maturação, o que aconteceu também com o acesso América Dourada. Ainda de acordo com o referido autor, embora o presente trabalho não tenha apresentado diferença estatística entre os estádios de maturação, os valores de sólidos solúveis foram relativamente altos, sempre acima de 10 %, conforme podemos observar na Figura 4.

Para a acidez titulável dos frutos (Figura 5), não foi detectada diferença significativa para interação acesso e estágio de maturação. No entanto, houve efeito isolado para os fatores acesso e estágio de maturação.

Conforme observamos na Figura 5, no estágio verde maduro os acessos Cuité e Macaúbas apresentaram as maiores acidez titulável, apresentando médias de $1,39 \text{ g.100g}^{-1}$, sendo superiores ao acesso América Dourada, que apresentou média de $1,20 \text{ g.100g}^{-1}$, seguido pelo acesso Lontra ($1,07 \text{ g.100g}^{-1}$) que foi o acesso que apresentou menor acidez tanto no estágio verde maduro, como também no estágio maduro ($0,72 \text{ g.100g}^{-1}$). Também no estágio maduro, os acessos América Dourada ($1,10 \text{ g.100g}^{-1}$) e Cuité ($1,04 \text{ g.100g}^{-1}$) apresentaram os maiores teores de acidez titulável, já o acesso Macaúbas ($0,96 \text{ g.100g}^{-1}$) ficou em segundo lugar, sendo maior apenas do que o acesso Lontra em teor de acidez no estágio maduro. Os acessos Cuité, Lontra e Macaúbas apresentaram diminuição da acidez do estágio de maturação verde maduro para o estágio maduro, já o acesso América Dourada não

apresentou diferença estatística em acidez titulável entre os estádios de maturação verde maduro e maduro.

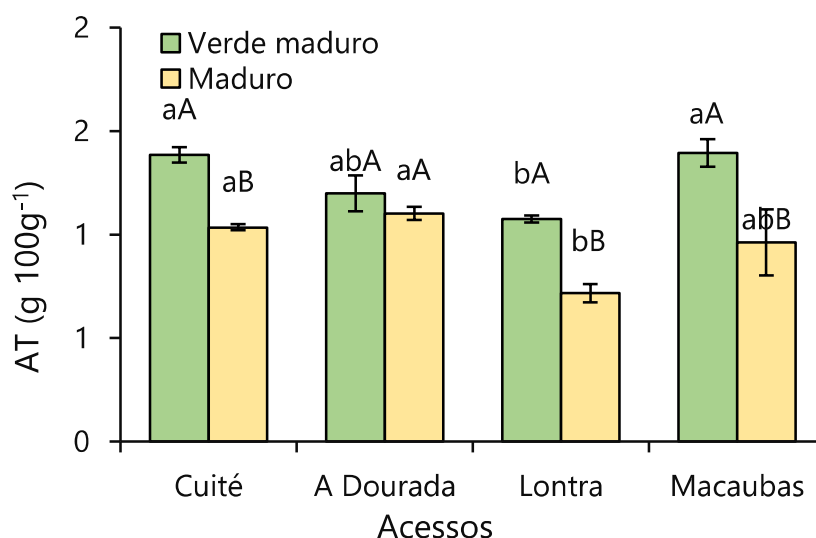


Figura 5. Acidez titulável dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas).

*Valores médios seguidos pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre os acessos no mesmo estágio de maturação e pelas mesmas letras maiúsculas não diferem entre os estádios de maturação verde maduro e maduro no mesmo acesso, de acordo com o critério de Tukey, a 5% de probabilidade.

A diminuição dos ácidos orgânicos pode ser atribuída ao processo respiratório, sendo substrato para formação de energia durante a respiração, principalmente nas primeiras fases do desenvolvimento do fruto (CIRIMINNA et al., 2017; TAIZ et al., 2017).

Campos et al. (2018) trabalhando com a caracterização de umbu durante a maturação observou que o teor de acidez diminuiu com o avanço da maturação dos frutos, semelhante ao observado no presente trabalho. Em frutos predominantemente amarelos, o teor encontrado foi de 1,4 % e a menor acidez 0,88 % foi encontrada nos frutos totalmente amarelos, já senescentes de acordo com os autores, se aproximando do resultado aqui obtidos.

Ferreira et al. (2018) observaram que a AT variou de 0,76% no fruto inchado para 1,11% no umbu maduro, sendo dados de acidez semelhantes ao encontrado neste trabalho. Nesse contexto, o consumo dos ácidos em decorrência do processo respiratório do fruto, leva a diminuição da acidez (FREITAS et al., 2017).

A relação SS/AT aumentou com o avanço da maturação nos acessos Cuité, Lontra e Macaúbas (Figura 6). No estágio verde maduro, os acessos não apresentaram diferença

estatística entre si, apresentando relação SS/AT média de 9,36. No estágio maduro o Acesso Lontra apresentou a maior relação SS/AT, com média de 17,75, seguido pelos demais acessos (Cuité, América Dourada e Macaúbas) que não apresentaram diferença estatística entre si, obtendo média de 12,15.

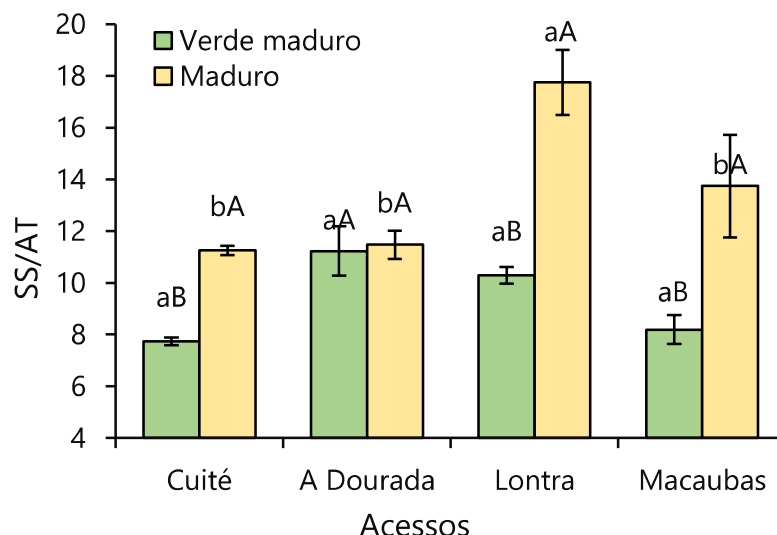


Figura 6. Relação SS/AT dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas).

*Valores médios seguidos pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre os acessos no mesmo estágio de maturação e pelas mesmas letras maiúsculas não diferem entre os estádios de maturação verde maduro e maduro no mesmo acesso, de acordo com o critério de Tukey, a 5% de probabilidade.

A relação SS/AT é um dos indicativos para avaliação do sabor mais utilizados, sendo mais representativa do que a medição isolada de acidez e açúcares (SANTOS e CASTRO, 2011). O umbu possui um sabor agridoce na polpa produzido pela combinação da acidez, dos açúcares, e dos compostos fenólicos, sendo o algo atrativo para o paladar. Devido esse sabor, os valores da relação SS/AT não são tão elevados se comparados com outros frutos climatéricos como a manga e o mamão (SOUSA et al., 2018; LIMA et al., 2018).

Nesse contexto, essa relação tem influência direta no mercado consumidor. O consumidor brasileiro tem preferência por valores mais altos dessa relação, o que se caracterizam por alto teor de sólidos solúveis e pela baixa acidez (SANCHES et al., 2017; SANTOS et al., 2019). Quanto maior o valor dessa relação (FIGURA 01), maior a sensação de doçura ao paladar humano (CHITARRA e CHITARRA, 2005; COSTA et al., 2021; MARTINELLI et al., 2021).

Nesse sentido, os frutos preferidos ao consumidor brasileiro comparando todos o acessos, são os frutos do acesso Lontra no estágio maduro, sendo o fruto mais doce (FIGURA 01), menos ácido (FIGURA 01) e com maior relação SS/AT (FIGURA 01) observado.

Este atributo também determina o sabor do suco dos frutos, sendo também para o suco, um atributo mais representativo do que a determinação isolada de sólidos solúveis ou acidez titulável, visto que o índice de maturação expressa a natureza agridoce do suco (ATAÍDE et al., 2018).

No geral, a tendência da relação SS/AT é aumentar com o avanço do amadurecimento nos frutos, em função do aumento no teor de SS e da diminuição na AT, (SIQUEIRA, 2012; LIMA e CASTRICINI, 2019), o que ocorre provavelmente devido à conversão de carboidratos, aumento dos açúcares redutores e diminuição do teor de amido nos frutos (FREITAS et al., 2017).

Menezes et al. (2017) relataram em frutos de umbuzeiro variações encontradas de 4,72 a 5,40 para a relação SS/AT, sem apresentar diferença estatística entre os estádios de maturação, o que aconteceu também com o acesso América Dourada na relação SS/AT, devendo ser em decorrência da não diferença do teor de SS e de AT entre os estádios de maturação.

Os valores de pH se apresentaram maiores nos acessos América Dourada e Lontra no estágio verde maduro, com valores de 3,16 e 3,13, respectivamente, diferindo estatisticamente dos acessos Cuité (2,91) e Macaúbas (2,91), que não diferiram estatisticamente entre si (Figura 7), enquanto que no estágio maduro, o acesso Cuité apresentou maior pH (3,54) do que os demais acessos (América Dourada, Lontra e Macaúbas) que não diferiram entre si, apresentando valores de 3,13, 3,23 e 3,22, respectivamente. Os acessos Cuité e Macaúbas apresentam diferença estatística entre os estádios de maturação, enquanto os acessos América Dourada e Lontra não apresentaram diferença estatística com o avanço do amadurecimento.

Silva et al. (2019) trabalhando com frutos de umbuzeiro embalados com filme de PVC observaram que o pH apresentou aumento com o decorrer do armazenamento, o que mostra que o avanço do amadurecimento do fruto apresenta correlação positiva com o aumento do pH, assim como os acessos Cuité e Macaúbas aqui observados (Figura 7). Esse resultado ocorre devido a diminuição dos ácidos orgânicos durante o amadurecimento, em decorrência da sua oxidação no ciclo do ácido tricarboxílico, devido a respiração (ZORZAL, 2017).

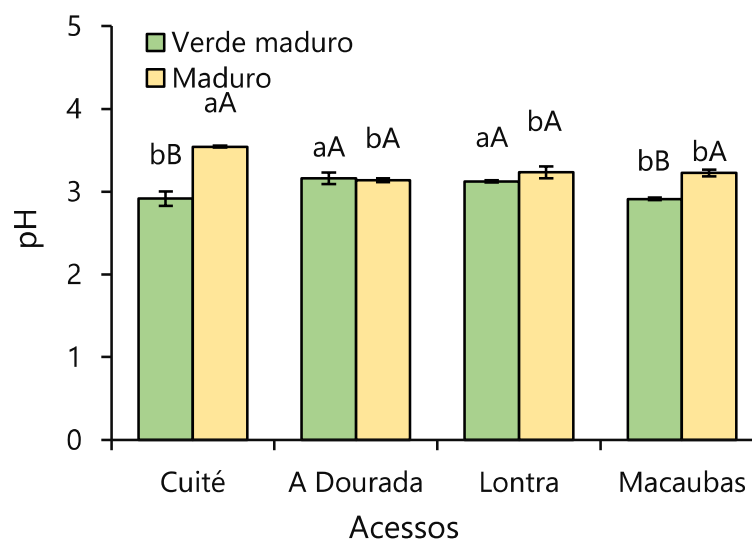


Figura 7. pH dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas).

*Valores médios seguidos pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre os acessos no mesmo estágio de maturação e pelas mesmas letras maiúsculas não diferem entre os estádios de maturação verde maduro e maduro no mesmo acesso, de acordo com o critério de Tukey, a 5% de probabilidade.

Dutra et al. (2017), em estudos realizados com genótipos de espécie do gênero *Spondias tuberosa* encontraram variações no pH de 2,34 a 2,40, assim como SILVA, (2015) estudando a maturação de frutos de genótipos de umbuzeiro, encontrou pH variando entre 2,18 a 3,08. Sendo valores não tão distantes aos encontrados no presente trabalho.

Para firmeza dos frutos (Figura 8), não foi detectada diferença significativa para interação acesso e estágio de maturação. No entanto, houve efeito isolado para os fatores acesso e estágio de maturação.

Os frutos dos acessos América Dourada, Lontra e Macaúbas no estágio verde maduro apresentaram a maior resistência de polpa, com firmeza média de 30,17 N, enquanto o acesso Cuité apresentou média de 15,51 N. O estágio de maturação Maduro de todos os acessos apresentou menor firmeza do que o estágio verde maduro. No estágio maduro, os acessos América Dourada, Lontra e Macaúbas apresentaram as maiores firmezas, com média de 16,17 N, o acesso Cuité se apresentou com menor firmeza média (6,04 N). Dessa forma, os acessos América Dourada, Lontra e Macaúbas apresentaram firmezas aproximadamente 100% acima da firmeza média do acesso Cuité, nos dois estádios de maturação.

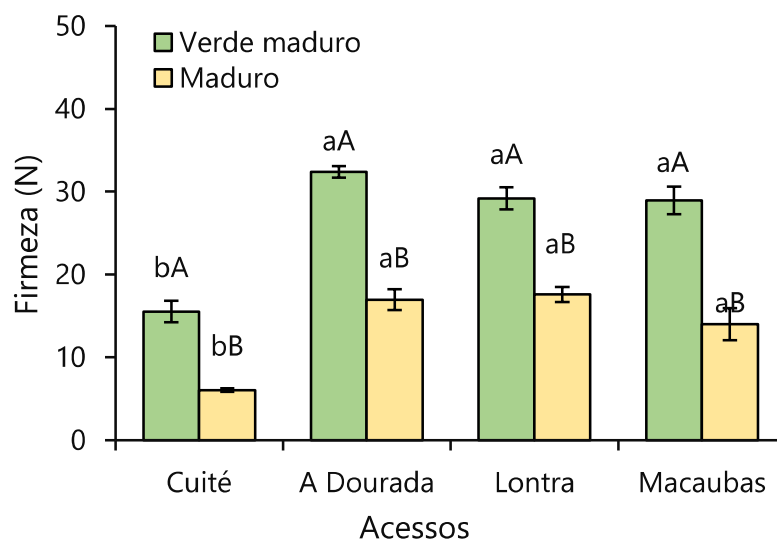


Figura 8. Firmeza dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas).

*Valores médios seguidos pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre os acessos no mesmo estágio de maturação e pelas mesmas letras maiúsculas não diferem entre os estádios de maturação verde maduro e maduro no mesmo acesso, de acordo com o critério de Tukey, a 5% de probabilidade.

A firmeza é o parâmetro fisiológico mais direto relacionado ao amaciamento do fruto, sendo também um importante indicador da qualidade do fruto (VALENTA *et al.*, 2015).

A perda de firmeza ocorre devido ao aumento do metabolismo dos carboidratos que resulta no aumento da atividade de enzimas da parede celular, as quais degradam a pectina, causando então o afrouxamento entre as células, sendo esse processo regulado pelo etileno (MALDONADO-ASTUDILLO *et al.*, 2014; TAIZ *et al.*, 2017).

Nesse contexto, a firmeza do fruto depende principalmente da tensão das células que compõem o fruto e da integridade da parede celular. E as modificações na estrutura da parede celular desempenham um papel de grande importância no processo de amaciamento da fruta (GWANPUA *et al.*, 2014; MOHAMMAD e DING, 2019).

Silva. (2015) estudando diferentes genótipos de umbuzeiro apresentou médias de firmeza de 41,79, 36,59 e 19,74N nos estádios verde, verde maduro e maduro, respectivamente, sendo esses os maiores valores encontrados dentre os genótipos estudados pelo autor, onde, com o avanço da maturação, a firmeza diminuiu, semelhante aos resultados apresentados para os acessos em estudo.

Não houve efeito isolado para estágio de maturação na análise de pectina total da polpa dos frutos (Figura 9A). Entretanto, houve diferença significativa para interação acesso e estágio de maturação e para efeito isolado para acesso.

Para os níveis de pectina total na polpa dos umbus (Figura 9A), o acesso Lontra apresentou maior conteúdo no estágio verde maduro, com valor médio de 0,94%. Os demais acessos (Cuité, América Dourada e Macaúbas) apresentaram menor teor de pectina total, com valor médio de 0,54%. No estágio maduro os acessos Cuité, América Dourada e Lontra não diferiram entre si estatisticamente, e apresentaram média de 0,63%, sendo superiores ao acesso Macaúbas (0,35%).

Os umbus Lontra e Macaúbas apresentaram aumento dos níveis de pectina total na polpa do fruto do estágio de maturação verde maduro para o estágio maduro, enquanto os acessos Cuité e América Dourada não apresentaram diferença estatística no nível de pectina total na polpa dos frutos entre os estádios de maturação.

Na casca dos umbus (Figura 9B), os níveis de pectina total se apresentaram maiores no estágio verde maduro para o acesso Lontra, apresentando média de 1,15%, diferindo estatisticamente dos acessos Cuité e América Dourada que apresentaram médias de 0,53 e de 0,58%, respectivamente e não apresentaram diferença estatística entre si, e o menor teor de pectina total foi apresentado pelo acesso Macaúbas, com média de 0,36%, diferindo estatisticamente de todos os outros acessos. No estágio maduro os acessos América Dourada (0,76%) e Lontra (0,64%) se apresentaram maiores estatisticamente quando comparados aos acessos Cuité (0,44%) e Macaúbas (0,26%) que não diferiram entre si estatisticamente. Os acessos América Dourada e Lontra apresentaram diferença estatística entre os estádios de maturação verde maduro e maduro, sendo maior no estágio maduro para o América Dourada, e no estágio verde maduro para o acesso Lontra. Os acessos Cuité e Macaúbas não apresentaram diferença estatística entre os estádios de maturação verde maduro e maduro.

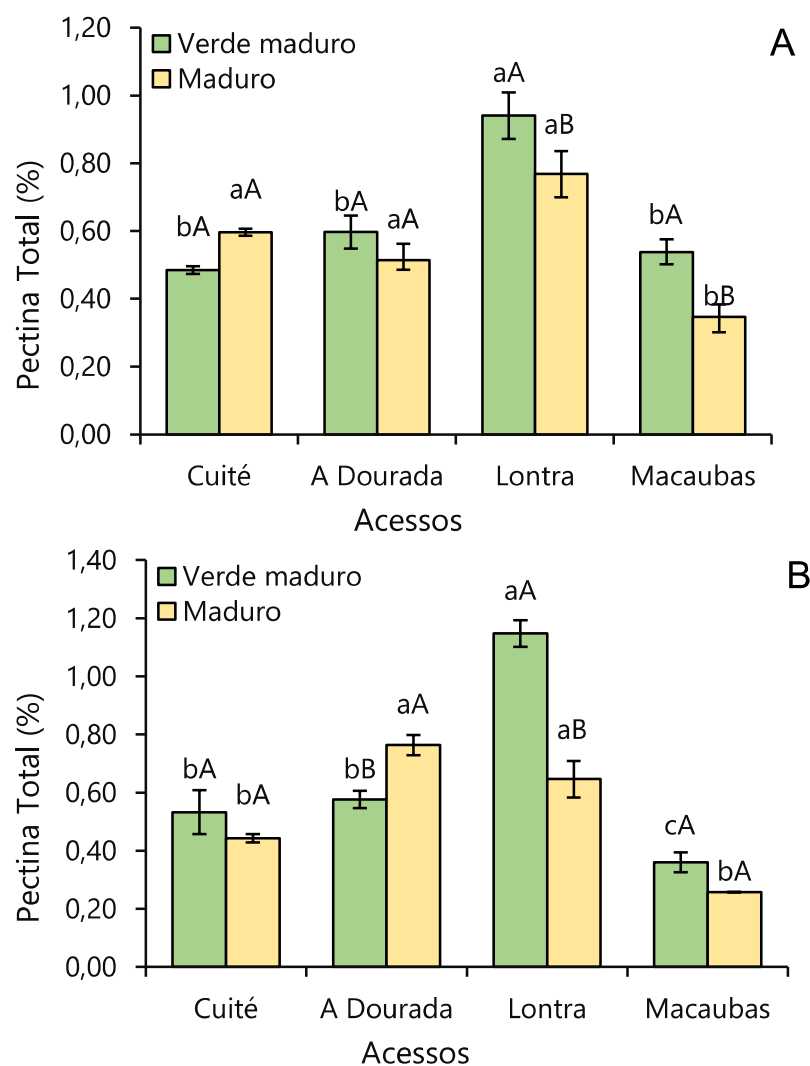


Figura 9. Pectina Total da polpa (A) e da casca (B) dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas).

*Valores médios seguidos pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre os acessos no mesmo estágio de maturação e pelas mesmas letras maiúsculas não diferem entre os estádios de maturação verde maduro e maduro no mesmo acesso, de acordo com o critério de Tukey, a 5% de probabilidade.

A pectina, assim como a celulose e a lignina, é um componente estrutural da parede celular, com o amadurecimento há pouca variação da mesma, no entanto as suas frações sofrem maiores alterações, como é o caso da pectina solúvel (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014).

Dantas Junior et al. (2008) trabalhando com frutos de genótipos de umbuzeiro no estádio “de vez” encontrou percentual médio para teor de pectina total de 0,65%, estando próximo com a média dos resultados aqui encontrados.

Silva et al. (2018) avaliando a pectina total em frutos de *Spondias mombin* L. observaram uma diminuição das pectinas totais ao longo do desenvolvimento após a antese, cujo valores decresceram de 1,1 para 0,8% na pectina total.

Para pectina solúvel da polpa (Figura 10A) e da casca (Figura 10B) dos frutos, não foi detectada diferença significativa para interação acesso e estágio de maturação. No entanto, houve efeito isolado para os fatores acesso e estágio de maturação.

Para os níveis de pectina solúvel na polpa dos umbus (Figura 10A), o acesso América Dourada se apresentou maior, com valor médio de 0,10% no estágio verde maduro. Os acessos Cuité e Lontra apresentaram médias de 0,063 e 0,076%, sendo esses intermediários quando comparado aos demais acessos, enquanto o acesso Macaúbas apresentou menor nível de pectina solúvel na polpa dos frutos, com média de 0,046%, no estágio verde maduro. No estágio maduro os acessos América Dourada (0,11%) e Lontra (0,099%) apresentaram média superior ao acesso Cuité (0,079%) que apresentou média superior ao acesso Macaúbas (0,06%). Os umbus Cuité, Lontra e Macaúbas apresentaram aumento dos níveis de pectina solúvel na polpa do fruto do estágio de maturação verde maduro para o estágio maduro, já o acesso América Dourada não apresentou diferença estatística no nível de pectina solúvel na polpa dos frutos entre os estádios.

Na casca dos umbus (Figura 10B), os níveis de pectina solúvel se apresentaram maiores no estágio verde maduro para os acessos de América Dourada e Lontra, com médias de 0,088 e 0,084%, respectivamente, diferindo estatisticamente dos acessos Cuité e Macaúbas que apresentaram médias de 0,060 e de 0,053%, respectivamente. Da mesma forma, no estágio maduro os acessos América Dourada (0,10%) e Lontra (0,095%) se apresentaram maiores estatisticamente quando comparados aos acessos Cuité (0,06%) e Macaúbas (0,062%) que não diferiram entre si estatisticamente. Todos os acessos não apresentaram diferença estatística entre os estádios de maturação verde maduro e maduro.

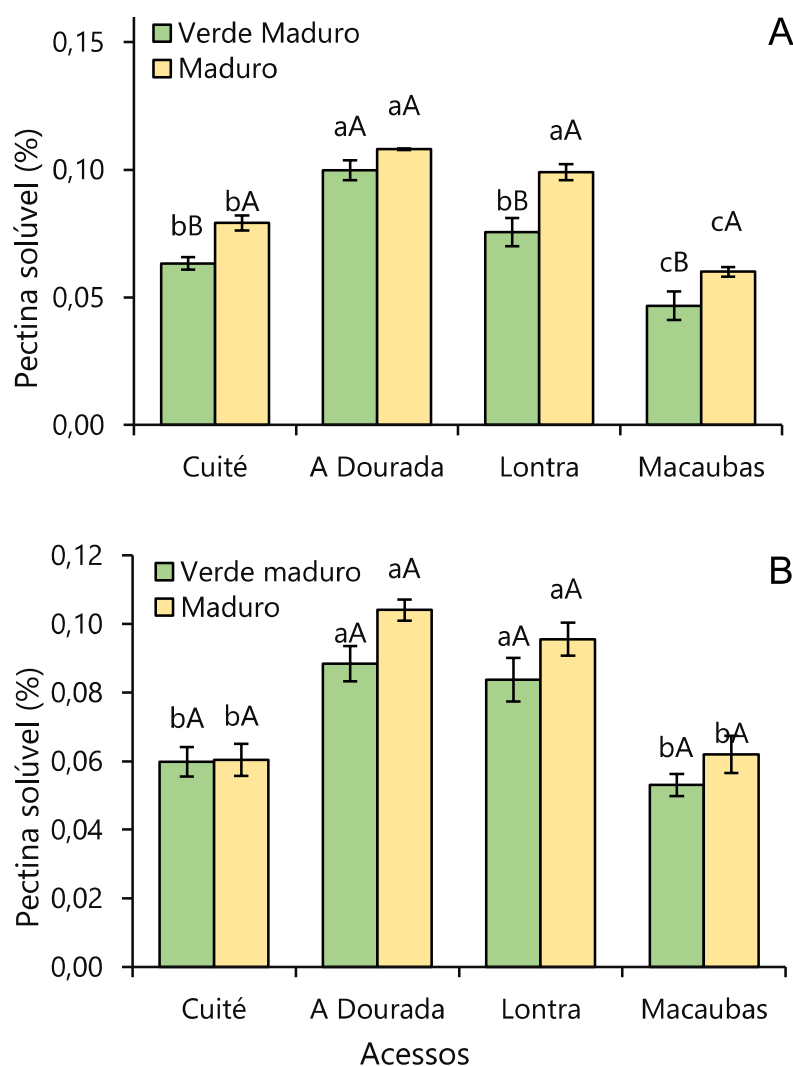


Figura 10. Pectina Solúvel da polpa (A) e da casca (B) dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas).

*Valores médios seguidos pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre os acessos no mesmo estágio de maturação e pelas mesmas letras maiúsculas não diferem entre os estádios de maturação verde maduro e maduro no mesmo acesso, de acordo com o critério de Tukey, a 5% de probabilidade.

Durante o amadurecimento dos frutos, a perda de firmeza observada pode ser atribuída à degradação da protopectina na lamela média e na parede celular primária, o que resulta geralmente no aumento da pectina solúvel e perda de açúcares neutros não celulósicos (JACOMINO et al., 2002).

Com o avanço da maturação de frutos, ocorrem alterações nas frações dos compostos pécnicos da parede celular, como a perda de açúcares neutros e o aumento na solubilidade das

pectinas, através das reações de despolimerização. Com isso, há aumento na proporção de pectinas solúveis, contribuindo diretamente para o amaciamento dos frutos (AIDAR et al., 2021).

Dantas Junior et al. (2008) trabalhando com frutos de genótipos de umbuzeiro no estágio “de vez” encontrou percentual médio para teor de pectina solúvel de 0,06 %, de forma próxima ao que ocorre nos resultados encontrados no presente trabalho.

Silva et al. (2018) avaliando a pectina solúvel em frutos de *Spondias mombin* L. observaram um aumento das pectinas solúveis ao longo do desenvolvimento após a antese, cujo valores variaram de 0,08 para 0,3% para pectina solúvel, o que também ocorreu no presente trabalho nas polpas das variedades Cuité, Lontra e Macaúbas.

Não houve efeito isolado para estágio de maturação na atividade da pectinametilesterase da polpa dos umbus (Figura 11A). Entretanto, houve diferença significativa para interação acesso e estágio de maturação e para efeito isolado entre acessos.

Para a atividade da pectinametilesterase da casca dos frutos (Figura 11B) não foi detectada diferença significativa para interação acesso e estágio de maturação. No entanto, houve efeito isolado para os fatores acesso e estágio de maturação.

A Figura 11 mostra os perfis de atividade da PME na polpa (A) e na casca (B) dos quatro acessos (Cuité, América Dourada, Lontra e Macaúbas). Na polpa dos frutos (Figura 11A), no estágio verde maduro, a atividade da PME foi mais alta nos acessos Cuité e Lontra, com valores de 1675 e 1500 U Kg⁻¹, respectivamente, diferindo estatisticamente dos acessos América Dourada e Macaúbas que não diferiram entre si, com valores de 1075 e 1150 U Kg⁻¹, respectivamente. No estágio maduro, o acesso Cuité apresentou a mais alta atividade de PME (1937,5 U Kg⁻¹), diferindo estatisticamente dos acessos América Dourada (1187,5 U Kg⁻¹), Lontra (1237,5 U Kg⁻¹) e Macaúbas (1050 U Kg⁻¹) que não apresentaram diferença estatística entre si. Do estágio verde maduro para o estágio maduro ocorreu incremento na atividade da PME no acesso Cuité, e uma redução no Acesso Lontra, os acessos América Dourada e Macaúbas não apresentaram diferença entre si para os dois estádios de maturação.

Na casca dos frutos (Figura 11B), o acesso Lontra apresentou a mais alta atividade de PME nos estádios de maturação verde maduro e maduro, com valores de 1075 e 987,5 U Kg⁻¹, respectivamente, apresentando então, diferença estatística dos demais acessos que não diferiram entre si, os quais apresentaram média de 591,7 U Kg⁻¹ no estágio verde maduro e

445,8 U Kg⁻¹ no estágio maduro para a atividade de PME. Não houve diferença significativa entre os estádios de maturação em nenhum acesso.

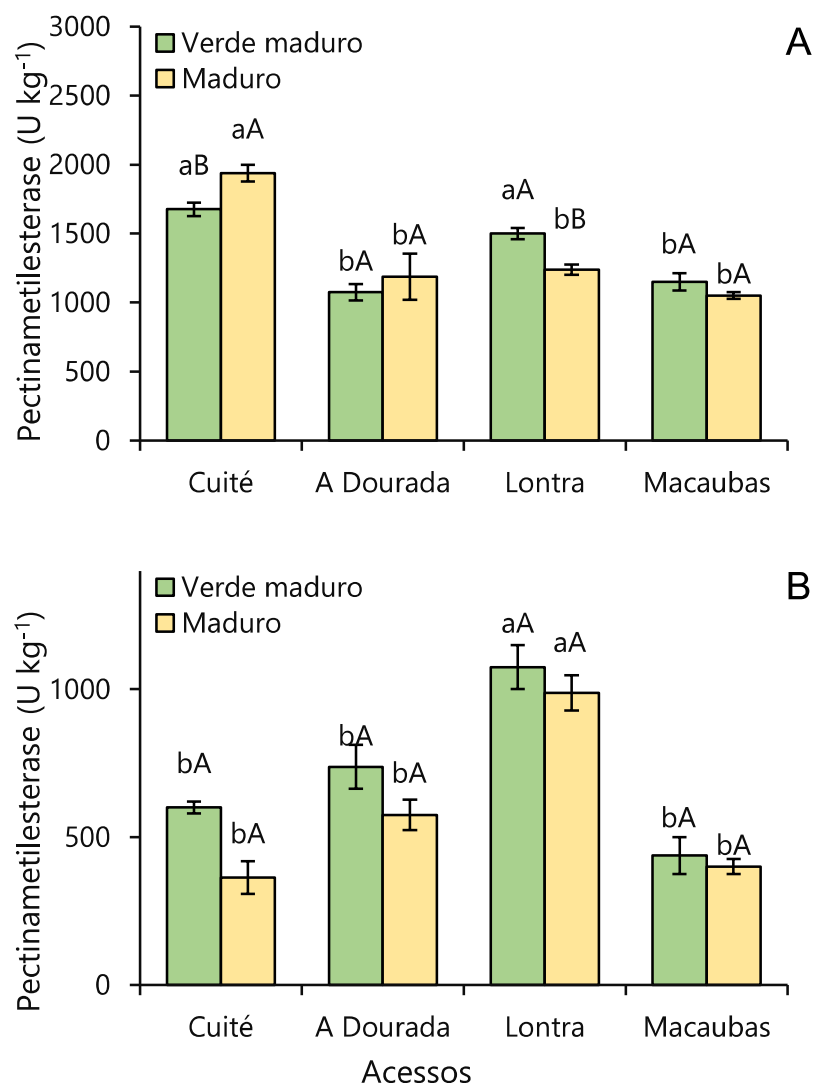


Figura 11. Pectinametilsterase – PME da polpa (A) e da casca (B) dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas).

*Valores médios seguidos pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre os acessos no mesmo estágio de maturação e pelas mesmas letras maiúsculas não diferem entre os estádios de maturação verde maduro e maduro no mesmo acesso, de acordo com o critério de Tukey, a 5% de probabilidade.

É comum observar maior atividade de PME em frutos ainda verdes, ou seja, a atividade está diminuindo, enquanto a atividade de Poligalacturonase - PG aumenta com o amadurecimento dos frutos (ANTUNES et al., 2006). Tal comportamento não foi observado neste estudo, para a atividade da PME, que se manteve constante em casca e polpa de umbu,

aumentando apenas no acesso Cuité na polpa e diminuindo no acesso Lontra com o avanço do amadurecimento, também na polpa. Segundo Resende et al. (2004), esse tipo de comportamento pode ser atribuído à possível presença de pectina com baixo grau de metoxilação, o que justificaria a baixa atividade da enzima PME.

A PME atua promovendo a desmetilação dos poliuronídeos e deve preceder a atividade da PG, visando facilitá-la, visto que a PG apresenta maior afinidade pelo substrato linear, desmetilado, que ocorre após a atuação da PME (BICALHO et al., 2000; ANTHON et al., 2002).

Com o avanço do amadurecimento, ocorre a liberação de cálcio e a solubilização de protopectina das paredes celulares, sendo provavelmente devido a ação enzimática das enzimas PME e PG, que atuam na promoção da degradação das substâncias pécticas da parede celular, o que resulta, no amaciamento dos frutos, reduzindo sua firmeza (ANTUNES et al., 2006).

Para a atividade da poligalacturonase da polpa dos frutos (Figura 12A) não foi detectada diferença significativa para interação acesso e estágio de maturação. No entanto, houve efeito isolado para os fatores acesso e estágio de maturação.

Na atividade da poligalacturonase na polpa dos umbus (Figura 12A), os acessos não apresentaram diferença estatística em nenhum estágio de maturação, sendo a média dos acessos de 0,045% no estágio verde maduro e 0,059% no estágio maduro. Os acessos Lontra e Macaúbas apresentaram acréscimo significativo da atividade no estágio maduro, quando comparado com o estágio verde maduro.

Na casca dos frutos (Figura 12B), os acessos também não apresentaram diferença estatística entre eles em nenhum estágio de maturação, apresentando uma média no estágio verde maduro de 0,054% e no estágio maduro de 0,089%. O acesso Cuité não apresentou diferença estatística da atividade entre os estádios de maturação, enquanto que os demais acessos (América Dourada, Lontra e Macaúbas) apresentaram a mais alta atividade de PG nos estádios de maturação maduro.

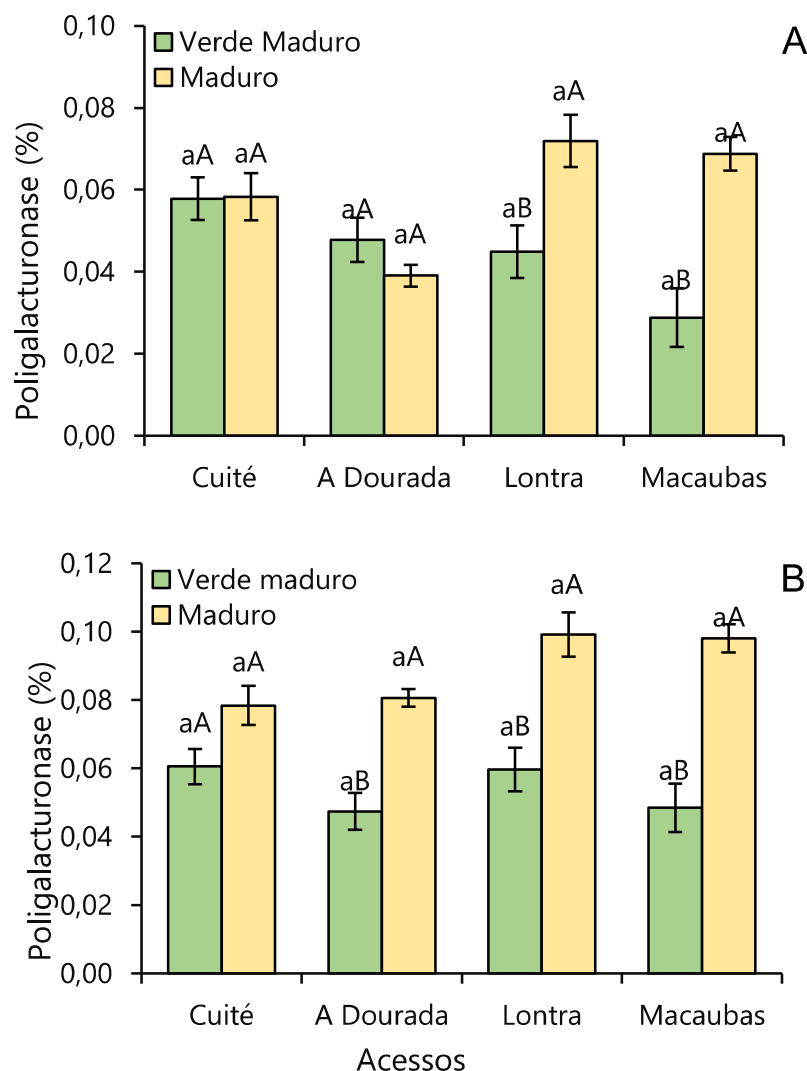


Figura 12. Poligalacturonase – PG da polpa (A) e da casca (B) dos frutos de acessos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) em dois estádios de maturação (verde maduro e maduro) oriundos de Cuité, estado da Paraíba (Cuité) e de Vitória da Conquista, estado da Bahia (América Dourada, Lontra e Macaúbas).

*Valores médios seguidos pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre os acessos no mesmo estágio de maturação e pelas mesmas letras maiúsculas não diferem entre os estádios de maturação verde maduro e maduro no mesmo acesso, de acordo com o critério de Tukey, a 5% de probabilidade.

A degradação da pectina é geralmente acompanhada por um aumento na atividade das hidrolases da parede celular, como a PG (OLIVEIRA et al., 2006). A PG catalisa a hidrólise de ligações β -1,4 entre resíduos de ácido galacturônico dentro da cadeia de pectina (EVANGELISTA et al., 2000). Isso resulta na diminuição da firmeza dos frutos, acompanhada pela solubilização dos poliurônios (BICALHO et al., 2000).

Alterações da parede celular que levam ao amolecimento dos frutos e às alterações de textura são complexas, envolvem as atividades coordenadas e interdependentes de uma variedade de proteínas modificadoras da parede celular e ainda não são totalmente compreendidas (BRUMMELL e HARPSTER, 2001; TAKIZAWA et al. , 2014).

O metabolismo das pectinas é um dos principais eventos que regulam a firmeza e a vida útil dos frutos, sendo as enzimas que degradam a pectina, como a poligalacturonase, portanto, chaves nesse processo de amadurecimento (MERCADO et al., 2019), diversos estudos que suprimiram a expressão dos genes responsável pela formação da PG ressaltam essa afirmação (QUESADA et al., 2009; POSÉ et al., 2013; POSÉ et al., 2015).

6. CONCLUSÕES

O padrão respiratório dos frutos do umbuzeiro é do tipo climatérico, os umbus de todos os acessos apresentaram pico do etileno 36 horas após a primeira leitura. A produção de CO₂ nos frutos de todos os acessos apresentaram picos em aproximadamente após 48 horas ($\approx$ 2 dias) após a primeira leitura.

Para o acesso Cuité, o índice de cor da casca indicou claramente uma transição da coloração verde para o amarelo durante a maturação, houve aumento dos sólidos solúveis do estágio de maturação verde maduro para o estágio maduro, apresentou diminuição da acidez, apresentou aumento no pH dos frutos, no estágio de maturação Maduro, o acesso apresentou menor firmeza do que o estágio verde maduro, entretanto, os demais acessos apresentaram firmezas aproximadamente 100% acima da firmeza média do acesso Cuité. O acesso apresentou aumento dos níveis de pectina solúvel na polpa do fruto do estágio de maturação verde maduro para o estágio maduro e ocorreu incremento na atividade da PME no acesso.

Para o acesso Lontra o índice de cor da casca indicou uma transição da coloração verde para o amarelo durante a maturação, houve aumento dos sólidos solúveis do estágio de maturação verde maduro para o estágio maduro, apresentou diminuição da acidez, apresentou redução dos níveis de pectina total na polpa do fruto, na casca dos umbus os níveis de pectina foram menores no estágio maduro, o acesso apresentou aumento dos níveis de pectina solúvel na polpa do fruto durante a maturação, durante a maturação ocorreu redução na atividade da PME no acesso, apresentou acréscimo significativo da atividade da PG na polpa dos frutos e apresentou a mais alta atividade de PG na casca dos frutos no estágio de maturação maduro.

No acesso Macaúbas o índice de cor da casca indicou claramente uma transição da coloração verde para o amarelo durante a maturação, houve aumento dos sólidos solúveis, apresentou diminuição da acidez, apresentou aumento no pH dos frutos, apresentou redução dos níveis de pectina total na polpa do fruto, apresentou acréscimo significativo da atividade da PG na polpa dos frutos e apresentou a mais alta atividade de PG na casca dos frutos no estágio de maturação maduro.

O acesso América Dourada não apresentou diferença no índice de cor durante a maturação, foi observado no acesso aumento da firmeza, diminuição do conteúdo de pectina total na casca, aumento da atividade da poligalacturonase na casca, enquanto não apresentou diferença estatística no teor de sólidos solúveis entre os estádios de maturação, nem

apresentou diferença estatística em acidez titulável entre os estádios de maturação verde maduro e maduro, na casca dos umbus, os níveis de pectina foram maiores no estágio maduro e apresentou a mais alta atividade de PG na casca dos frutos no estágio de maturação maduro.

O progresso na maturação dos umbus Lontra e Macaúbas é caracterizado por alterações como aumento de sólidos solúveis, índice de cor, diminuição da acidez titulável, aumento da relação SS/AT, bem como diminuição da pectina total na polpa, aumento da pectina solúvel na polpa do fruto durante a maturação, aumento da atividade da enzima poligalacturonase, e o consequente amolecimento dos frutos, notada pela diminuição da firmeza;

O estudo de enzimas relacionadas ao metabolismo de polissacarídeos da parede celular forneceu bases para a compreensão do processo de amaciamento de frutos de *Spondias tuberosa* na pós-colheita.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, L. K. S.; MACHADO, L. F. C.; CERAVOLO, I. P.; SANTOS, R. M.; DIAS-SOUZA, M. V. Phytochemical aspects, cytotoxicity and antimicrobial activity of the methanolic extract of tropical fruit pulps on clinical isolates of *Escherichia coli*. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 11, n. 1, p. 8210 – 8217, 2021.
- ALVES, T.P.; SILVA, R.A.C.; SANTOS, S.; SILVA, J.C.S. Qualidade pós-colheita de frutos do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) armazenados sob atmosfera modificada. *Diversitas Journal*, Arapiraca, v.5, n.3, p.1523-1535, 2020.
- ANTHON, G. E.; SEKINE, Y.; WATANABE, N.; BARRETT, D. M. Thermal inactivation of pectin methylesterase. polygalacturonase. and peroxidase in tomato juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 6153-6159, 2002.
- ANTUNES, L. E. C.; GONÇALVES, E. D.; TREVISAN, R. Alterações da atividade da poligalacturonase e pectinametilesterase em amorapreta (*Rubus* spp.) durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, n. 1, p. 63-66, 2006.
- ANTUNES, L. E. C.; GONÇALVES, E. D.; TREVISAN, R. Alterações de compostos fenólicos e pectina em pós-colheita de frutos de amora-preta. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 12, n. 1, 2006.
- ARAÚJO, E. J. S.; SANTOS, J. A. B.; NARAIN, N. Avaliação da influência de diferentes condições de liofilização nas características físico químicas e sensoriais do umbu em pó. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, 2020.
- ATAÍDE, E. M.; SILVA, M. S.; BASTOS, D. C.; SOUZA, J. M. A. Qualidade pós-colheita de romã comercializada no semiárido pernambucano. **Agrarian Academy**, v. 4, n. 9, p. 429-436, 2018.
- BICALHO, U. O.; CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. F.; COELHO, A. H. R. Modificações texturais em mamões submetidos à aplicação pós-colheita de cálcio e embalagens PVC. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, n. 1, p. 136-146, 2000.
- BRUMMELL, D. A.; HARPSTER, M. H. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. **Plant molecular biology**, 47(1), pp.311-339. 2001
- CAVALCANTI, N. B.; RESENDE, G. M.; ANJOS, J. B.; BRITO, L. T. de L. Como os pequenos agricultores do semi-árido do Nordeste podem aproveitar integralmente o fruto do imbuzeiro. In: Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 43.; INTERNATIONAL PENSA CONFERENCE ON AGRI-FOOD CHAIN/NETWORKS ECONOMICS AND MANAGEMENT, 5., 2005, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto: FEARP; USP; PENSA; FUNDECE; SOBER, 2005., 2005.
- CHEN, Y.; ZHANG, S.; LIN, H.; LU, W.; WANG, H.; CHEN, Y.; FAN, Z. The role of cell wall polysaccharides disassembly in *Lasiodiplodia theobromae*-induced disease occurrence and softening of fresh longan fruit. **Food Chemistry**, v. 351, p. 129294, 2021.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. UFLA, 2005. 785p.

CIRIMINNA, R.; MENEGUZZO, F.; DELISI, R.; PAGLIARO, M. Citric acid: emerging applications of key biotechnology industrial product. **Chemistry Central Journal**, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2017.

COLOMBIÉ, S.; BEAUVOIT, B.; NAZARET, C.; CAMILLE BÉNARD, C.; VERCAMBRE, G.; GALL, S. L.; BIAIS, B.; CABASSON, C.; MAUCOURT, M.; BERNILLON, S.; MOING, A.; DIEUAIDE-NOUBHANI, M.; MAZAT, J-P.; GIBON, Y. Respiration climacteric in tomato fruits elucidated by constraint-based modelling. **New Phytologist**, v. 213, p. 1726–1739, 2017.

CONTRERAS, C; BEAUDRY, R. Lipxygenase-associated apple volatiles and their relationship with aroma perception during ripening. **Postharvest biology and technology**, v. 82, p. 28-38, 2013.

CORDEIRO, B. M. P. C.; CARVALHO JUNIOR, A. R.; SANTOS, J. R. A.; ARAUJO A. D.; SILVA, A. G.; CORREIA, M. T. S.; SILVA, M. V.; NAPOLEÃO T. H.; SILVA, L. C. N.; SANTOS, N. D. L.; PAIVA, P. M. G. Anticryptococcal activity of hexane extract from *Spondias tuberosa* Arruda and associated cellular events. **Journal de Mycologie Medicale**, v.30, p. 1-5, 2020.

COSTA, R. S.; ATAÍDE, E. M.; BASTOS, D. C. Caracterização física e química de frutos de umbugueira (*Spondias sp.*) no semiárido pernambucano. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 17, p. e236101724838-e236101724838, 2021.

DA COSTA, F R. Análise biométrica de frutos de umbuzeiro do semiárido brasileiro. *Bioscience Journal*, v. 31, n. 3, 2015. <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n3a2015-22844>.

DANTAS JÚNIOR, O.R. **Qualidade e atividade antioxidante total de frutos de genótipos de umbuzeiro oriundos do Semi-árido nordestino**. 2008. 90f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, 2008.

DANTAS, A. L.; SILVA, S. D. M.; DANTAS, R. L.; SOUSA, A. S. B. D.; SCHUNEMANN, A. P. P. Development, physiology of maturation, and indication of harvest point of umbuguela tree fruits (*Spondias sp.*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 1, p. 33-42, 2016.

FERNANDES, L. M. S.; VIEITES, R. L.; LIMA, G. P. P.; BRAGA, C. L.; AMARAL, J. L. Caracterização do fruto de pitaia orgânica. **Biodiversidade**, v. 16, n. 1, p. 167-179, 2017.

FERREIRA, D. F. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 5.3**. 2007.

FERREIRA, M. A. R.; SILVA, V. P.; PASSOS, T. O.; DE OLIVEIRA, V. R.; DE FREITAS, S. T. Variação na cor da epiderme de frutos de umbu e sua correlação com variáveis físico-químicas. In: Embrapa Semiárido - Artigo em anais de congresso (ALICE). In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 13., 2018, Petrolina. **Anais... Petrolina: Embrapa Semiárido**, 2018., 2018.

FREITAS, R. V. S. SOUZA, P. A.; COELHO, E. S.; SOUZA, F. X.; BESERRA, H. N. R. B. Storage of Mombin Fruits Coated With Cassava Starch and PVC Film. *Revista Caatinga*, v. 30, p. 244-249, 2017.

GOUVÊA, R. F.; RIBEIRO, L. O.; SOUZA, E. F.; PENHA, E. M.; MATTA, V. M.; FREITAS, S. P. Effect of enzymatic treatment on the rheological behavior and vitamin C content of *Spondias tuberosa* (umbu) pulp. **Journal of food science and technology**, v. 54, n. 7, p. 2176-2180, 2017.

GROSS K. C. A rapid and sensitive spectrophotometric method for assaying polygalacturonase using 2- cyanoacetamide. **HortScience**. 17:933–934, 1982.

GWANPUA, S. G.; VAN BUGGENHOUT, S.; VERLINDEN, B. E.; CHRISTIAENS, S.; SHPIGELMAN, A.; VICENT, V.; KERMANI, Z. J.; NICOLAI, B. M.; HENDRICKX, M.; GEERAERD, A. Pectin modifications and the role of pectin-degrading enzymes during postharvest softening of Jonagold apples. **Food Chemistry**, 158, pp.283-291, 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da extração vegetal e silvicultura 2020. Acesso em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289#resultado>> Acessado em 15/11/2021

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 2ª Edição. São Paulo, v.1, 371p, 2005.

ISRAELI, Y.; LAHAV, E. Banana. **Encyclopedia of Applied Plant Science**, v. 3, p. 363-381, 2017.

JACOMINO, A. P.; KLUGE, R. A.; BRACKMANN, A.; CASTRO, P. R. C. Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropeno. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 2, p. 303-308, 2002.

JEN, J. J.; ROBINSON, M. L. Pectolytic enzymes in sweet bell peppers (*Capsicum annuum* L.). **J. Food Science**. 49 (4), 1085–1087, 1984.

KELLER, N.; DUCAMP, M. N.; ROBERT, D.; KELLER, V. Ethylene removal and fresh product storage: A challenge at the frontiers of chemistry. Toward an approach by photocatalytic oxidation. **Chemical Reviews**, v. 113, n. 7, p. 5029–5070, 2013.

KOHATSU, D. S.; ZUCARELI, V.; BRAMBILLA, W. P.; EVANGELISTA, R. M. Qualidade de frutos de cajá-manga armazenados sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, volume especial, E. p. 344-349, 2011.

LIMA, M. A. C.; CASTRICINI, A. Qualidade e pós-colheita do umbu. **Informe Agropecuário**, v. 40, n. 307, p. 80-90, 2019.

LIMA, M. A. C.; SILVA, S. M.; OLIVEIRA, V. R. L. Umbu—*Spondias tuberosa*. **Exotic fruits - Academic Press**, p. 427-433, 2018.

LIN, Y.; LIN, Y.; LIN, H.; LIN, M.; LI, H.; YUAN, F.; XIAO, J. Effects of paper containing 1-MCP postharvest treatment on the disassembly of cell wall polysaccharides and softening in Younai plum fruit during storage. **Food Chemistry**, v. 264, p. 1-8, 2018.

LIN, Y.; LIN, Y.; LIN, Y.; LIN, M.; CHEN, Y.; WANG, H.; LIN, H. A novel chitosan alleviates pulp breakdown of harvested longan fruit by suppressing disassembly of cell wall polysaccharides. **Carbohydrate Polymers**, v. 217, p. 126-134, 2019.

MALDONADO-ASTUDILLO, Y. I.; ALIA-TEJACAL, I.; NÚÑEZ-COLÍN, C. A.; JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ, J.; PELAYO-ZALDÍVAR, C.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.; VALLE-GUADARRAMA, S. Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. **Scientia Horticulturae**, v. 174, p. 193-206, 2014.

MARTINELLI, M.; CASTRICINI, A.; MAIA, V. M.; MARANHÃO, C. M. A. Fisiologia pós-colheita de pitaia em diferentes estádios de maturação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 1033-1048, 2021.

McMCRAEADY, R. M.; McCOMB, E. A. Extraction and determination of total pectic material in fruits. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 24, n. 12, p.1586-1588, 1952.

MENEZES, P. H. S.; DE SOUZA, A. A.; DA SILVA, E. S.; DE MEDEIROS, R. D.; BARBOSA, N. C.; SORIA, D. G. Influence of the maturation stage on the physical-chemical quality of fruits of umbu (*Spondias tuberosa*). **Scientia Agropecuaria**, v. 8, n. 1, p. 73-78, 2017.

MERCADO, J. A.; MATAS, A. J.; POSÉ, S. Fruit and vegetable texture: Role of their cell walls. **Encyclopedia of Food Chemistry**, 2019.

MOHAMMAD, M.; DING, P. Alterações da estrutura físico-textural e celular da fruta Carissa congesta durante o crescimento e desenvolvimento. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 380-389, 2019.

MOURA, F. T.; SILVA, S. M.; MARTINS, L. P.; MENDONÇA, R. M. N.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C. Evolução do crescimento e da maturação de frutos de cajazeira (*Spondias mombin* L.). **Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture Isth**, Miami, v.47, n.1, p.231-233, 2004.

OLIVEIRA, M. N. S.; GUSMÃO, E.; LOPES, P. S. N.; SIMÕES, M. O. M.; RIBEIRO, L. M.; DIAS, B. A. S. Estádio de maturação dos frutos e fatores relacionados aos aspectos nutritivos e de textura da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 3, p. 380-386, 2006.

OLIVEIRA, V. R. L.; SANTOS, F. K. G.; LEITE, R. H. L.; AROUCHA, E. M. M.; SILVA, K. N. O. Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. **Food Chemistry**, v. 259, n. 21, p. 55–64, 2018.

OLIVEIRA, V. R.; SANTOS, C. A. F.; NASCIMENTO, C. E. S.; DRUMOND, M. A. Recursos genéticos. In: DRUMOND, M. A.; AIDAR, S. T.; NASCIMENTO, C. E. S.; OLIVEIRA, V. R. (Eds.). **Umbuzeiro: avanços e perspectivas**. Petrolina: EmbrapaSemiárido, 2016.

PATHAK, N.; CALEB, O. J.; GEYER, M.; HERPPICH, W. B.; RAUH, C.; MAHAJAN, P. V. Photocatalytic and Photochemical Oxidation of Ethylene: Potential for Storage of Fresh Produce - a Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 10, n. 6, p. 982–1001, 2017.

POSE, S.; KIRBY, A. R.; PANIAGUA, C.; WALDRON, K. W.; MORRIS, V. J.; QUESADA, M. A.; MERCADO, J. A. The nanostructural characterization of strawberry pectins in pectate lyase or polygalacturonase silenced fruits elucidates their role in softening. **Carbohydrate Polymers**, v. 132, p. 134-145, 2015.

POSÉ, S.; PANIAGUA, C.; CIFUENTES, M.; BLANCO-PORTALES, R.; QUESADA, M. A.; MERCADO, J. A. Insights into the effects of polygalacturonase FaPG1 gene silencing on pectin matrix disassembly, enhanced tissue integrity, and firmness in ripe strawberry fruits. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 12, p. 3803-3815, 2013.

QIAN, M.; ZHANG, Y.; YAN, X.; HAN, M.; LI, J.; LI, F.; ZHAO, C. Identification and expression analysis of polygalacturonase family members during peach fruit softening. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 11, p. 1933, 2016.

QUESADA, M. A.; BLANCO-PORTALES, R.; POSÉ, S.; GARCÍA-GAGO, J. A.; JIMÉNEZ-BERMÚDEZ, S.; MUÑOZ-SERRANO, A.; MUNOZ-BLANCO, J. Antisense down-regulation of the FaPG1 gene reveals an unexpected central role for polygalacturonase in strawberry fruit softening. **Plant Physiology**, v.150, p. 1022–1032, 2009.

RODRIGUES, N. S. R.; SILVA, S. M.; BULHÕES, T. L.; MELO, R. S.; SOUSA, A. S. B.; LIMA, R. P.; MENDONÇA, R. M. N. Mudanças na qualidade durante a maturação de frutos de cajazeiras. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia-PB, v. 39, n. 3, p. 254-263, 2018

SANTOS, H. S.; MIZOBUTSI, G. P.; PINHEIRO, J. M. D. S.; SANTOS NETO, J. A.; CASTRICINI, A.; ASPIAZÚ, I.; AGUIAR, F. S. Physical and Chemical Characterization of Fruits of Different Umbu (*Spondias tuberosa*). **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 16, 2019.

SANTOS, M. B.; CARDOSO, R. L.; FONSECA, A. A. O.; CONCEIÇÃO, M. N. Caracterização e qualidade de frutos de umbu-cajá (*Spondias tuberosa* X *S. mombin*) provenientes do Recôncavo Sul da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1089-1097, 2010.

SANTOS, C. A. F.; NASCIMENTO, C. E. de S.; ARAÚJO, F. P. de Competição de clones do umbuzeiro: cinco anos após. In: ENCONTRO DE GENÉTICA DO NORDESTE, 16., 2002, São Luís. **Resumos...** São Luís: SBG-MA, 2002. p. 131.

SIDDIQ, M.W. **Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality**. 1st Ed. London, UK: Academic Press. 2018. 498p.

SILVA, A. F. **Qualidade, compostos bioativos e atividade antioxidante durante a maturação de frutos de genótipos do umbuzeiro**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Areia – PB, 2015.

- SILVA, T. L. L.; SILVA, E. P. D.; ASQUIERI, E. R.; VIEIRA, E. C. S.; SILVA, J. S.; SILVA, F. A. D.; DAMIANI, C. Physicochemical characterization and behavior of biocompounds of caja-manga fruit (*Spondias mombin* L.). **Food Science and Technology**, v. 38, n. 3, p. 399-406, 2018.
- SILVA, V. P.; PAZ, M. A.; SOUSA, K. D. S. M.; ABREU, A. K. F. Qualidade pós-colheita de frutos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr.) embalados com filme de pvc. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 4, n. 1, p. 7714, 2019.
- SIRQUEIRA, A. P. O. **Uso de Coberturas Comestíveis na Conservação Pós-Colheita de Goiaba e Maracujá-Azedo**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Fribeiro - UENF. Campo dos Goytacazes – RJ, 2012.
- SOUSA A. B. B.; NASCIMENTO, A. P. S.; ARAÚJO, A. K. P.; ALMEIDA, R. D.; CAVALCANTI A. S. R. R. M.; DUARTE M. E. M. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE POLPA MISTA DE CERIGUELA COM *Spirulina platensis* SECAS POR LIOFILIZAÇÃO. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.20, n.3, p.281-288, 2018.
- SOUZA, A.R.; OLIVEIRA, J.C.; SOUSA-GALLAGHER, M.J. Determination of the respiration rate parameters of cherry tomatoes and their joint confidence regions using closed systems. **Journal of Food Engineering**, v. 206, p. 13-22, 2017.
- TAIZ, L., E. ZEIGER, I.M. MOLLER E A. MURPHY. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017. 888 p.
- VALENTA, K.; BROWN, K. A.; RAFALIARISON, R. R.; STYLER, S. A.; JACKSON, D.; LEHMAN, S. M.; CHAPMAN, C. A.; MELIN, A. D. Sensory integration during foraging: the importance of fruit hardness, colour, and odour to brown lemurs. **Behavioral ecology and sociobiology**, 69(11), pp.1855-1865, 2015.
- VILAS BOAS, B. M., NUNES, E. E., FIORINI, F. V. A., LIMA, L. C. O., VILAS BOAS, E. V. B., & COELHO, A. H. R. Avaliação da qualidade de mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 3, p. 540-543, 2004.
- WAGHMARE, R. B.; MAHAJAN, P. V.; ANNAPURE, U. S. Modelling the effect of time and temperature on respiration rate of selected fresh-cut produce. **Postharvest Biology and Technology**, v. 80, p. 25–30, 2013.
- WANG, H.; CHEN, Y.; LIN, H.; LIN, M.; CHEN, Y.; LIN, Y. 1-Methylcyclopropene containing-papers suppress the disassembly of cell wall polysaccharides in Anxi persimmon fruit during storage. **International journal of biological macromolecules**, v. 151, p. 723-729, 2020.
- WANG, X.; ZENG, W.; DING, Y.; WANG, Y.; NIU, L.; YAO, J. L.; WANG, Z. Peach ethylene response factor PpeERF2 represses the expression of ABA biosynthesis and cell wall degradation genes during fruit ripening. **Plant Science**, v. 283, p. 116-126, 2019.

ZHAO, Y.; DENG, L.; ZHOU, Y.; YAO, S.; ZENG, K. Chitosan and *Pichia membranaefaciens* control anthracnose by maintaining cell structural integrity of citrus fruit. **Biological Control**, v. 124, p. 92-99, 2018.

ZORZAL, T. A. **Influência da temperatura e período de armazenamento na composição química e físico-química de frutos de abacaxi da cv, Pérola**. 2017. 58 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, 2017.