

VANDER ROCHA LACERDA

**PÓS-COLHEITA DE PITAIA: CARACTERIZAÇÃO, MÉTODOS DE
CONSERVAÇÃO E EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS ATIVOS**

Botucatu

2023

VANDER ROCHA LACERDA

**PÓS-COLHEITA DE PITAIA: CARACTERIZAÇÃO, MÉTODOS DE
CONSERVAÇÃO E EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS ATIVOS**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Horticultura).

Orientador: Rogério Lopes Vieites

Botucatu

2023

L131p

Lacerda, Vander Rocha

Pós-colheita de pitaia: caracterização, métodos de
conservação e extração de compostos ativos / Vander Rocha
Lacerda. -- Botucatu, 2023

171 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Rogério Lopes Vieites

1. Tecnologia pós-colheita. 2. Pitaya. 3. Fruticultura. 4.
Antioxidantes. 5. Betalaínas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

PÓS-COLHEITA DE PITAIA: CARACTERIZAÇÃO, MÉTODOS DE CONSERVAÇÃO E EXTRAÇÃO
DE COMPOSTOS ATIVOS

AUTOR: VANDER ROCHA LACERDA

ORIENTADOR: ROGÉRIO LOPES VIEITES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia
(Horticultura), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ROGÉRIO LOPES VIEITES (Participação Presencial)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu UNESP

Prof. Dr. JACKSON MIRELLYS AZEVEDO SOUZA (Participação Virtual)
Agronomia / Universidade Federal de Viçosa

Prof.ª Dr.ª LEILA APARECIDA SALLES PIO (Participação Virtual)
Agricultura / Universidade Federal de Lavras

Pesquisador Científico VI MARIA CECÍLIA DE ARRUDA (Participação Presencial)
Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Bauru / Apta Regional - Secretaria de Agricultura e Abastecimento
do Estado de São Paulo

Prof. Dr. VITOR AUGUSTO DOS SANTOS GARCIA (Participação Presencial)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 22 de novembro de 2023.

Aos meus familiares,

Rochas e Lacerdas,

dedico

AGRADECIMENTOS

Ao glorioso Deus.

À minha família, em especial aos meus queridos pais Maria do Carmo e Joaquim, meu irmão Wagner e a minha esposa Francielle pelo apoio incondicional.

Ao Prof. Dr. Rogério Lopes, pela orientação, ensinamentos e paciência.

À técnica de laboratório Márcia, ao professor Fernando Putti e a todos os professores e funcionários da FCA que contribuíram para minha evolução. Aos colegas Andres, Juliana, Rebecca, Ítala e o Ramon por todas as formas de ajuda.

À Associação Iberoamericana de Pós-Graduação (AUIP), pelo apoio financeiro, concedido por meio de bolsa de curto doutorado sanduíche na Universidade de Cádiz (UCA).

Aos professores da UCA, Cristina, Lourdes e Casimiro, e às colegas Noelia e Lidia pelos ensinamentos.

Ao programa “UNESP Presente”, através do “Edital PROPG nº 44/2022, Inclusão social de alunos da pós-graduação da UNESP em estágio no exterior” pelo apoio financeiro, concedido por meio de bolsa de doutorado sanduíche na Universidade do Algarve (UAlg).

Ao professor da UAlg, Amílcar Duarte, pelos ensinamentos e paciência, e aos colegas Pedro, Ana Rita, Beatriz, Catarina, Luísa, Tomaz, e Florinda pelo companheirismo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

“Por isso mesmo façam todo o possível para juntar a bondade à fé que vocês têm. À bondade juntem o conhecimento e ao conhecimento, o domínio próprio. Ao domínio próprio juntem a perseverança e à perseverança, a devoção a Deus. A essa devoção juntem a amizade cristã e à amizade cristã juntem o amor. Pois são essas as qualidades que vocês precisam ter. Se vocês as tiverem e fizerem com que elas aumentem, serão cada vez mais ativos e produzirão muita coisa boa como resultado do conhecimento que vocês têm do nosso Senhor Jesus Cristo.”

DO BRASIL, Sociedade Bíblica. Bíblia Sagrada: nova tradução na linguagem de hoje. **Barueri: SBB**, 2000. 2 Pedro 1,5-8.

RESUMO

O consumo de frutas *in natura* como a pitia e seus subprodutos, tem sido associado a diferentes benefícios à saúde devido a seus compostos bioativos. O perfil bioativo é influenciado pela variedade, clima, maturidade, práticas de cultivo, boas práticas pós-colheita e condições de armazenamento. As tecnologias como a utilização de aditivos alimentares (tais como fungicidas alternativos) e tratamento hidrotérmico podem ser utilizadas para melhorar a conservação e aumentar a vida útil em pós-colheita de frutas, mantendo os compostos bioativos. Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a influência dos sais associados com tratamento hidrotérmico na conservação; adequar o processo de extração supercrítica de compostos bioativos; e caracterizar variedades de pitia. Para a conservação, o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 4, constituindo quatro tratamentos (controle com imersão em água a temperatura ambiente, bicarbonato de sódio diluído a 2%, carbonato de sódio diluído a 2% e sorbato de potássio diluído a 1%). Os sais foram diluídos em água a 50°C, com 2 minutos de imersão dos frutos, seguidos de 5 minutos de imersão em água a 10°C. Foram quatro avaliações, dias 0, 10, 20 e 30. Houve três repetições para cada tratamento e dois frutos por repetição. Os frutos de pitia das variedades 'Imperial', 'Orejona', 'Costa Rica', 'Connie Mayer', 'Physical Graffiti', 'Amarela Golden de Israel' e 'Purple Haze', foram caracterizados por análises físico-químicas, bioquímicas por extração convencional e teores de nutrientes na casca e polpa. Na extração supercrítica, variou-se a pressão em 100, 250 e 400 bar para as cascas das variedades 'Tesoro', 'Costa Rica' e 'Branca Comum' e avaliou-se o conteúdo dos compostos bioativos. O bicarbonato de sódio e o sorbato de potássio proporcionaram melhor manutenção da qualidade dos frutos armazenados. A extração melhorada com mistura ternária de CO₂/etanol/água oferece extratos com bom rendimento e capacidade antioxidante em todas as pressões estudadas, especialmente para as variedades de polpa e de casca vermelha ('Tesoro' e 'Costa Rica').

Palavras-chave: *Selenicereus* spp.; fruta dragão; armazenamento refrigerado; cultivares; atividade antioxidante.

ABSTRACT

The consumption of fresh fruit such as dragon fruit and its by-products has been associated with different health benefits due to its bioactive compounds. The bioactive profile is influenced by variety, climate, maturity, cultivation practices, good post-harvest practices and storage conditions. Technologies such as the use of food additives and hydrothermal treatment can be used to improve the conservation and increase the post-harvest shelf life of fruits, maintaining the bioactive compounds. In this context, the objective of this work was to evaluate the influence of additives associated with hydrothermal treatment on conservation; adjust the process of supercritical extraction of bioactive compounds and characterize dragon fruit varieties. For conservation, the experimental design used was completely randomized in a 4 x 4 factorial scheme, constituting four treatments (control, with no procedure, 2% diluted sodium bicarbonate, 2% diluted sodium carbonate and potassium sorbate diluted to 1%). The additives were diluted in water at 50°C, with 2 minutes of immersion of the fruits, followed by 5 minutes of immersion in water at 10°C. And there were four days of evaluation: day 0, 10, 20 and day 30, with three repetitions in each treatment and two fruits per repetition. The pitaya fruits of the Imperial, Vermelha de Nicaragua "Orejona", Vermelha Costa Rica "Roxa do Pará", Connie Mayer, Physical Graffiti, Amarela Golden and Purple Haze varieties were characterized by physical-chemical, biochemical, and nutrient content analyses peel and pulp. In the supercritical extraction, the pressure was varied by 100, 250 and 400 bar for the barks of the Tesoro, Costa Rica and Undatus "Branca Comum" varieties and the yield, antioxidant activity and color (brightness, chroma and °hue) were evaluated. Improved extraction with ternary mixture of CO₂/ethanol/water offers extracts with good yield and antioxidant capacity at all studied pressures, especially for pulp and red skin varieties (Tesoro and Costa Rica). From there, the next researchers can dispense with the performance of several previous tests that generate expenses with materials and reagents, consequently generating savings, in addition to the time of the researchers.

Keywords: *Selenicereus* spp.; pitaya; dragon fruit; cold storage; cultivars; antioxidant activity.

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL.....	19
	CAPÍTULO 1 CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DA PITAIA	
	UTILIZANDO TRATAMENTO HIDROTÉRMICO ASSOCIADO COM	
	SAIS.....	23
1.1	INTRODUÇÃO	24
1.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
1.2.1	Colheita dos frutos.....	25
1.2.2	Ensaio experimental.....	26
1.2.3	Delineamento experimental	26
1.2.4	Embalagem	27
1.2.5	Análises destrutivas e não destrutivas.....	27
1.2.5.1	Perda de massa.....	28
1.2.5.2	Determinação da Razão entre Polpa e Casca	28
1.2.5.3	Espessura da casca.....	28
1.2.5.4	Cor da Casca e da Polpa.....	28
1.2.5.5	Taxa respiratória.....	29
1.2.5.6	Firmeza.....	29
1.2.6	Análises químicas	30
1.2.6.1	Potencial Hidrogeniônico (pH)	30
1.2.6.2	Sólidos Solúveis (SS)	30
1.2.6.3	Acidez titulável (AT)	30
1.2.6.4	Índice de maturação (Ratio SS/AT).....	30
1.2.6.5	Determinação dos açúcares redutores (AR)	30
1.2.7	Avaliação da incidência de doenças	30
1.2.8	Avaliação da severidade da doença	31
1.2.9	Aparência das brácteas	31
1.2.10	Análises microbiológicas.....	31
1.2.11	Compostos bioativos e atividade antioxidante.....	32
1.2.11.1	Preparo do extrato acetônico do fruto	32
1.2.11.2	Compostos Fenólicos Totais.....	32
1.2.11.3	Flavonoides totais	33
1.2.11.4	Betalaínas.....	33
1.2.11.5	Atividade Antioxidante pelo método DPPH	34
1.2.11.6	Atividade de eliminação de radicais ABTS.....	34
1.2.11.7	Atividade Antioxidante pelo método FRAP	34
1.2.12	Análise estatística.....	34
1.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
1.3.1	Análises físicas e físico-químicas	36
1.3.2	Doenças, aparência e análises microbiológicas	50
1.3.3	Análises bioquímicas.....	56
1.3.4	Análise de componentes principais	62
1.4	CONCLUSÕES	64

	REFERÊNCIAS.....	65
	CAPÍTULO 2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, BIOQUÍMICA E NUTRICIONAL DA CASCA E POLPA DE FRUTOS DE VARIEDADES DE PITAIAS	69
2.1	INTRODUÇÃO.....	70
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	71
2.2.1	Material vegetal	71
2.2.2	Análises físico-químicas e bioquímicas.....	72
2.2.3	Determinação do teor de nutrientes	73
2.2.4	Análise estatística.....	73
2.3	RESULTAS E DISCUSSÃO	73
2.3.1	Análises físico-químicas	75
2.3.2	Análises bioquímicas	82
2.3.3	Teor de nutrientes.....	95
2.4	CONCLUSÕES.....	101
	REFERÊNCIAS	103
	CAPÍTULO 3 EXTRAÇÃO SUPERCÍTRICA DE BETALAÍNAS DA CASCA DE DIFERENTES ESPÉCIES DE PITAIA	109
3.1	INTRODUÇÃO.....	110
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	112
3.2.1	Material vegetal	112
3.2.2	Extração supercrítica	112
3.2.3	Rendimento dos extratos	113
3.2.4	Atividade antioxidante	113
3.2.5	Conteúdo de betalaínas.....	114
3.2.6	Determinação dos parâmetros da cor dos extratos.....	114
3.2.7	Análise estatística.....	114
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	115
3.3.1	Estudo das variações de pressão nas propriedades de composição ..	115
3.3.2	Extração subsequente das betacianinas.....	121
3.4	CONCLUSÕES.....	124
	REFERÊNCIAS	125
	CAPÍTULO 4 SUSTAINABLE POSTHARVEST TREATMENTS AND STORAGE CONDITIONS FOR PITAYA: A REVIEW	131
4.1	INTRODUCTION.....	132
4.2	FRUIT PHYSIOLOGY AND QUALITY	133
4.2.1	Maturation of fruits for harvest	133
4.2.2	Postharvest physiology	134
4.2.3	Physiological disorders and diseases	134
4.2.4	Determination of fruit quality	136
4.3	MAIN POSTHARVEST TECHNOLOGIES	138
4.3.1	Salts as alternative to fungicides.....	139
4.3.2	Hot water or air treatment	141
4.3.3	Essentials oils.....	142

4.3.4	Chitosan	143
4.3.5	1-methylcyclopropene (1-MCP)	143
4.3.6	Salicylic acid and methyl jasmonate	144
4.3.7	γ -Aminobutyric acid and β -aminobutyric acid.....	145
4.3.8	Endophytic lactic acid bacteria (LAB)	145
4.3.9	Technologies with potential for pitaya.....	146
4.4	STORAGE CONDITIONS.....	147
4.4.1	Temperature (°C)	147
4.4.2	Relative Humidity (RH%)	149
4.4.3	Modified and Controlled Atmosphere	150
4.4.4	Transportation	151
4.5	CONCLUSION AND FUTURE PROSPECTS	152
	REFERENCES.....	153
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	163
	REFERÊNCIAS	165
	APÊNDICE A – CORRELAÇÃO DO CAPÍTULO 1	170
	APÊNDICE B - ACP DO CAPÍTULO 1.....	171

INTRODUÇÃO GERAL

A pitiaia é da família Cactaceae existente a nível mundial diversas espécies, sendo agrupadas em dois principais gêneros: *Selenicereus* (Berger A.) Riccob e *Hylocereus* (Britton e Rose) (Britton; Rose, 1963; Mizrahi *et al.*, 1997). A classificação taxonômica das pitaias possui um histórico com muitas controvérsias em publicações científicas que citam os gêneros e espécies desta cactácea (Faleiro; Junqueira, 2022). Na revisão mais recente, a maioria das espécies de pitaias cultivadas comercialmente para produção de frutos e ornamentação, foram classificadas dentro do gênero *Selenicereus* (Korotkova *et al.*, 2021).

As espécies e cultivares mais comuns no mercado são distinguidas principalmente pelas cores da casca e polpa (Trindade *et al.*, 2023): casca vermelha e polpa branca [*Selenicereus undatus* (Haworth) Britton e Rose e *Selenicereus trigonus* (Haw.) Saff.]; casca vermelha e polpa vermelha [*Selenicereus purpusii* (Weing.) Britton e Rose, *Selenicereus costaricensis* (Weber) Britton e Rose e *Selenicereus monacanthus* (Lem.) D.R. Hunt]; casca amarela e polpa branca [*Selenicereus megalanthus* (K. Schumann ex Vaupel) Ralf Bauer] (Nerd; Gutman; Mizrahi, 1999; Le Bellec; Vaillant; Imbert, 2006); e a pitiaia-do-cerrado ou saborosa, casca vermelho escuro e polpa branca [*Selenicereus setaceus* (Rizz)] (Junqueira *et al.*, 2002; Tomas *et al.*, 2023).

A pitiaia é originada de florestas tropicais das Américas Central e do Sul, posteriormente se espalhou pelo mundo (Rojas-Sandoval e Praciak, 2022). Nas Américas, encontram-se distribuídas pela Costa Rica, Nicarágua, Venezuela, Panamá, Uruguai, Brasil, Colômbia e México (Faleiro; Junqueira, 2022; Mizrahi, 1997).

É uma espécie de metabolismo CAM, entretanto é encontrada em seu habitat natural sob condições de sombreamento e alta umidade. Por ser uma planta rustica e perene, com raízes pouco profundas, a pitiaia tem se destacado com uma boa opção de cultivo com potencial econômico em propriedades com solos rasos, arenosos e pedregosos (Ortiz *et al.*, 1999; Santos *et al.*, 2010; Costa *et al.*, 2014).

O cultivo da pitiaia no Brasil vem crescendo nas últimas décadas em todo o território nacional, principalmente no Estado de São Paulo, Pará, Santa Catarina, Minas Gerais, Alagoas, Bahia, Espírito Santo e Pernambuco (Faleiro; Junqueira,

2022). A área de cultivo da pitiaia no Brasil é de aproximadamente 4.000 ha, e a produção anual é em torno de 40.000 toneladas, comercializadas nas CEASAs, mercados locais e feiras (Menten, 2023). Os principais produtores mundiais de pitiaia são o Vietnã, a China e a Indonésia, respectivamente 1.074.242, 700.000 e 221.832 toneladas em área de 55.419, 40.000 e 8.491 ha (Carmen, *et al.*, 2023; Paull e Chen, 2019; Nangare *et al.*, 2020).

A pitiaia é rica em betacianinas e betaxantinas, que são betalainas de cor vermelha a roxa e amarela (Herbach, *et al.*, 2006). Esses compostos nitrogenados são considerados uma fonte promissora de potencial para utilização como matéria-prima na prevenção de doenças, resistentes à insulina e antiobesidade (Song, *et al.*, 2016; Lacerda *et al.*, 2021).

Recentemente, a pitiaia tem se destacado mundialmente na mídia em reportagens, programas de televisão e redes sociais, não só devido a beleza visual, mas também por possuir propriedade antioxidante devido ao alto conteúdo de fenóis (Li *et al.*, 2018). Além de gerar demanda, que consequentemente atrai novos produtores agrícolas, gera muita demanda por novas informações. As pesquisas envolvendo polpa e casca de pitiaia cresceram 8 vezes nos últimos 11 anos, totalizando 770 documentos nos últimos 21 anos, e a maioria das publicações está focada no potencial de obtenção de betalainas e compostos fenólicos (Ferreira *et al.*, 2023).

Possui características físico-químicas e nutricionais atrativas para o consumo *in natura* e indústria, como o alto valor de firmeza da casca, equilíbrio entre acidez e teor de açúcar que confere um excelente sabor, além de valores significativos de minerais, como o cálcio, o potássio e o ferro com propriedade de prevenção contra anemia (Cordeiro *et al.*, 2015).

Nos últimos 5 anos, houveram numerosos novos relatos de doenças nos frutos de *Selenicereus*, com seus patógenos associados, em países de todos os continentes (Balendres; Bengoa, 2019; Perween *et al.*, 2018). A doença mais presente é a antracnose, causada por fungos do gênero *Colletotrichum* spp (Bordoh *et al.*, 2020). No Brasil, Takahashi *et al.* (2008) e Nascimento *et al.* (2019), detectaram alta incidência e severidade de *C. gloeosporioides* no estado de São Paulo e *C. karstii* no Rio Grande do Sul, respectivamente. Os esporos colonizam os frutos no campo e se manifestam severamente na pós-colheita, e mais grave em condições de alta

umidade. Os sintomas são lesões de coloração avermelhada e halos cloróticos, estas lesões possuem centros marrons e depois podem coalescer (Masyahit *et al.*, 2009).

Diferentes doenças fúngicas (*Gloeosporium agaves*, *Bipolaris* sp. *Macssonina agaves*, *Dothiorella* sp. e *Botryosphaeria dothidea*), virais (*Cactus virus X*) e bacterianas (*Xanthomonas* sp. e *Erwinia* sp.) são relatadas na literatura e podem causar grandes perdas pós-colheita gerando grandes consequências econômicas (N'Guyen, 1996; Barbeau, 1990). Há relatos também dos fungos *Aecidium* (Invasiveorg, 2015) e *Fusicoccum* sp. da família Botryosphaeriaceae (Valencia-Botin *et al.*, 2005).

Outras doenças de menor incidência que ocorrem na cadeia produtiva da pitaia são: Oídio (*Helminthosporium* sp.), Podridão-mole (*Fusarium* sp.) e Bolor Verde em frutos, causado por um complexo fúngico de *Penicillium* sp., *Volutella* sp. e *Corynespora* sp. Até então estas doenças haviam sido relatadas apenas na Nicarágua (Valencia-Botin *et al.*, 2013), mas já disseminou para outros países.

O ponto ideal para a colheita de pitaia de casca vermelha ocorre entre o 34° e 38° dia após a antese floral (Magalhães *et al.*, 2019a). Neste estágio, os frutos apresentaram maior massa e intensidade de coloração vermelha na casca, textura de polpa cremosa ainda firme, maior teor de sólidos solúveis e menor acidez (Menezes, *et al.*, 2015; Magalhães *et al.*, 2019b).

Os frutos são classificados como não climatéricos e são sensíveis às injúrias causadas pelo frio em temperaturas abaixo de 6°C (Zee *et al.*, 2004), assim, devem estar no estágio ótimo de maturidade comestível à época da colheita. Para que apresentem maior qualidade, os frutos devem ser deixados na planta até atingirem a composição desejável (Magalhães *et al.*, 2019a), o que pode variar conforme a distância do mercado (Chitarra; Chitarra, 2005). A perda de peso, o murchamento e descoloração das brácteas resultam em rápida deterioração e reduzida vida útil pós-colheita (Zahid *et al.*, 2013).

Frutos de pitaia provenientes de plantas com adubação orgânica correspondem positivamente aos parâmetros de qualidade, reduzindo a perda de qualidade durante o período de armazenamento refrigerado, consequentemente, resulta em frutos mais firmes e brilhantes, com menor perda de luminosidade, menor alteração da intensidade e tonalidade da cor e maiores teores de sólidos solúveis, comparados a frutos de cultivo convencional (Duarte *et al.*, 2017). Porém, é necessário novas tecnologias práticas na pós-colheita para conservar a pitaia com

qualidade por mais tempo.

Aditivos alimentares, como os sais, ou compostos geralmente reconhecidos como seguros (GRAS), podem ser utilizados para o controle de doenças pós-colheita de frutas e hortaliças (Palou *et al.*, 2002). Youssef *et al.* (2014) descobriram que o carbonato de sódio a 3% reduziu os bolores verde e azul de frutas cítricas. Da mesma forma, Fadda *et al.* (2015) indicaram que 1% de sorbato de potássio reduziu significativamente o mofo azul da maçã, principalmente quando aplicado a 53°C.

Foi relatado anteriormente que os efeitos dos sais, sorbato de potássio e carbonato de sódio na inibição do crescimento de patógenos são provavelmente devidos a uma redução da pressão do turgor das células fúngicas, que resultam em colapso e encolhimento de hifas e esporos, consequentemente, uma incapacidade do fungo para esporular (Fallik *et al.*, 1997).

Além disso, uma combinação de sais com água quente seguida de água fria, é reconhecida por aumentar a eficácia dos sais no controle de patógenos em frutos (Jitareerat *et al.*, 2018). Para o controle de outras doenças na pitaia, como a podridão negra causada por *Alternaria alternata* em pitaia amarela (*Selenicereus megalanthus*), Vilaplana *et al.* (2017) utilizaram água quente por 2 min a 50°C, antes do armazenamento em 12°C por 21 dias, e reduziu o diâmetro da lesão em 63,1%, sem efeito significativo nas qualidades sensoriais do fruto. Imersão de frutos de romã em água quente a 50°C ou mais por 2,5 min reduziram significativamente o mofo verde (*Penicillium* spp.) após 7 dias de incubação a 20°C, mas mergulhos a 55°C ou mais foram fitotóxicos, causando danos por calor (escurecimento externo da casca) nas frutas tratadas (Palou; Taberner, 2023).

O objetivo geral deste trabalho é utilizar fungicidas alternativos associados com tratamento hidrotérmico como método de conservação na pós-colheita dos frutos da pitaia; caracterizar a casca e polpa de sete variedades de pitaia; realizar extração supercrítica de compostos ativos da casca de três variedades de pitaia; e sistematizar em revisão os principais métodos de conservação pós colheita da pitaia.

CAPÍTULO 1

CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DA PITAIA UTILIZANDO TRATAMENTO HIDROTÉRMICO ASSOCIADO COM SAIS

RESUMO

A pitáia tem sido amplamente difundida no mundo devido a aparência exótica do fruto e tem sido associado a diferentes benefícios à saúde devido a seus compostos bioativos. A segurança alimentar com garantia nutricional e funcional está diretamente relacionada a práticas de cultivo, boas práticas pós-colheita e condições de armazenamento. As tecnologias como a utilização de aditivos alimentares, nomeadamente os sais microbiostático conjuntamente com tratamento hidrotérmico, podem ser utilizadas para melhorar a conservação e aumentar a vida útil em pós-colheita de frutas, mantendo os compostos bioativos. Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a influência dos sais associados com tratamento hidrotérmico na conservação pós colheita da pitáia. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 4, constituindo quatro tratamentos (controle com imersão em água a temperatura ambiente, bicarbonato de sódio diluído a 2%, carbonato de sódio a 2% e sorbato de potássio a 1%). Os sais foram diluídos em água a 50°C, com 2 minutos de imersão dos frutos, seguidos de 5 minutos de imersão em água a 10°C. Foram quatro avaliações, dias 0, 10, 20 e 30. Foram determinadas as análises de perda de peso, razão entre polpa e casca, espessura da casca, cor da casca e da polpa, taxa respiratória, firmeza, pH, sólidos solúveis, acidez titulável, índice de maturação e açúcar redutor, cor (luminosidade, chroma e °hue), incidência de doenças, severidade de doenças, aparência das brácteas, análises microbiológicas, betalaínas totais (betacianinas e betaxantinas), flavonoides, compostos fenólicos, atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP. O bicarbonato de sódio e o sorbato de potássio proporcionaram melhor manutenção da qualidade dos frutos armazenados. Os tratamentos não afetaram negativamente na qualidade dos frutos, como a cor e a concentração de sólidos solúveis totais.

Palavras-chave: *Selenicereus* spp.; fruta dragão; *shelf life*; bicarbonato de sódio; carbonato de sódio; sorbato de potássio.

1.1 INTRODUÇÃO

A pitaia é uma fruta tropical de cactos hemiepífitos da família Cactaceae de origem neotropical com presença distribuída em todos os continentes. Possui florescimento noturno, e fruto conhecido por distintos nomes comerciais e nativos, prevalecendo mundialmente 'dragon fruit (fruta do dragão)' 'pitaya' ou 'pitahaya' (Ortiz-Hernández; Carrillo-Salazar, 2012) e no Brasil, pitaia ou pitaya. Os frutos das espécies do gênero *Selenicereus* são matérias-primas atrativas para a indústria alimentícia por serem fontes de corantes naturais, nomeadamente betalaínas, que inclui as betacianinas vermelhas e betaxantinas amarelas (Chen; Sabir; Qin, 2023).

A abundância de esporos viáveis é um grande desafio na conservação pós-colheita, reduzir a viabilidade dos esporos ajudaria a mitigar epidemias de doenças na pós-colheita. Com alta incidência, as primeiras lesões ainda servem de porta de entrada para outros fungos e bactérias saprofíticas que vão aumentando a severidade, o diâmetro das lesões, até atingir o fruto por inteiro (Balendres; Bengoa, 2019). Pesquisas pós-colheita mostram que a pitaia, sob condições ambientais, deteriora-se com relativa facilidade, como resultado, a vida pós-colheita para comercialização é curta, aproximadamente cinco a sete dias à temperatura ambiente, sem qualquer espécie de tratamento (Lata *et al.*, 2023).

Embora a utilização de fungicidas sintéticos seja permitida para uso pós-colheita em alguns países, métodos de controle de doenças alternativos aos agroquímicos são preferidos, especialmente nos mercados de exportação, devido a questões de saúde e ambientais associadas aos resíduos químicos (Boubaker *et al.*, 2009). Os sais, bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) em baixas concentrações (1 a 3%) tem sido utilizado na pós-colheita de frutas (Fadda *et al.*, 2015; Palou; Taberner, 2023; Vilaplana; Alba; Valencia-Chamorro, 2018; Vilaplana; Páez; Valencia-Chamorro, 2017). Frutas tratadas com a solução SP combinada com água quente a 55 °C por 5 minutos seguida de resfriamento em água a 10 °C por 10 minutos, podem reduzir a gravidade da doença da podridão dos frutos de pitaia causada por *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. capsici* e *Fusarium* sp., e manter a qualidade durante o armazenamento (Jitareerat *et al.*, 2018).

Ainda há poucos estudos sobre tecnologias, tratamentos e condições pós-colheita, objetivando estender o tempo de prateleira para o consumo nacional e

exportação. Atualmente há uma extrema raridade de trabalhos com sais e tratamento hidrotérmico com avaliação funcional dos frutos de pitaia, como as betalaínas, flavonoides e atividade antioxidante por diferentes métodos. Portanto, novos estudos são necessários para desenvolver estratégias que podem ser utilizadas de forma fácil, barata e prática na conservação sustentável dos frutos de pitaia na pós-colheita com segurança alimentar, evitando assim a depreciação dos frutos, consequentemente, prejuízos econômicos.

Neste trabalho, objetivou-se avaliar o efeito da utilização de sais (bicarbonato de sódio, carbonato de sódio e sorbato de potássio) com tratamento hidrotérmico a 50°C em frutos de pitaia vermelha de polpa vermelha na pós-colheita, como também sua influência na qualidade visual, físico-química e bioquímica dos frutos no período de armazenamento refrigerado.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Colheita dos frutos

Na safra 2021/2022 os frutos de pitaia vermelha de polpa vermelha, variedade 'Boreal Red' *Selenicereus monacanthus* (Lem.), foram colhidos durante o período da manhã em um pomar comercial (Figura 1) localizado no município de Bauru, São Paulo, Brasil (latitude 22°18'54 S, longitude 49°03'39" O e 537 m de altitude), clima tropical com estação seca (Classificação climática de Köppen-Geiger: Aw). A colheita foi realizada no período entre o 34° e 38° dia após a antese floral, considerado entre os dias adequados para colheita, quanto à coloração, aparência e composição físico-química, segundo Magalhães *et al.*, (2019). No mesmo dia da colheita, os frutos foram transportados em carro fechado até o laboratório de Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças, Departamento de Produção Vegetal da Universidade Estadual Paulista Campus de Botucatu-SP.

Figura 1 – Local da colheita da pitia em pomar de cultivo comercial em Bauru-SP



Foto: Vander Rocha Lacerda - 2022

1.2.2 Ensaio experimental

Quatro tratamentos: controle (C) com imersão em água a temperatura ambiente (RT *room temperature*), bicarbonato de sódio (NaHCO_3) diluído a 2%, carbonato de sódio (Na_2CO_3) diluído a 2% e sorbato de potássio ($\text{C}_6\text{H}_7\text{KO}_2$) diluído a 1%, de acordo com uma combinação de melhores tratamentos em estudos anteriores com frutos da pitia de casca amarela *S. megalanthus* (Vilaplana *et al.*, 2018) e frutos da pitia de casca vermelha e polpa branca *S. undatus* (Jitareerat *et al.*, 2018), com modificações. Os sais foram diluídos em água a 50°C, com 2 minutos de imersão dos frutos (Vilaplana *et al.*, 2017), seguidos de imersão em água a 10°C por 5 minutos (Figura 2). Foram quatro avaliações, nos dias 0, 10, 20 e dia 30.

Figura 2 – Diluição, imersão dos frutos nas soluções com sais, imersão em água fria com controle da temperatura e drenagem do excesso de umidade

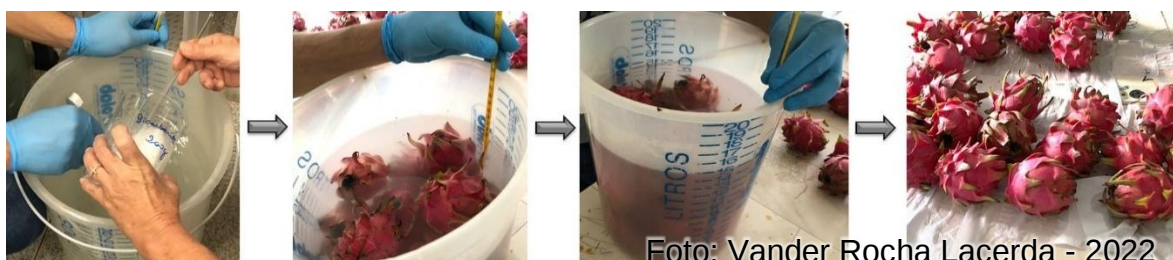


Foto: Vander Rocha Lacerda - 2022

1.2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 4, constituindo quatro tratamentos (controle e três sais) e quatro dias de avaliação, com três repetições em cada tratamento e dois frutos por

repetição. Foram utilizados 176 frutos no total, para as análises destrutivas e não destrutivas.

1.2.4 Embalagem

Após os tratamentos, os frutos permaneceram por uma hora em papel toalha para drenar o excesso de umidade. Em seguida, de acordo com ensaios preliminares, os frutos foram embalados e fechados em sacos plásticos de polietileno, microperfurados em apenas um lado (lados com furos para cima), de formato cônico (Figura 3), tamanho: largura da boca do saco 40 cm, largura do fundo 25 cm, comprimento 35 cm, e armazenados em câmara fria a 8°C e 85% UR.

Figura 3 – Sacos plásticos de polietileno, de formato cônico e microperfurados em apenas um lado, frutos embalados e armazenamento em câmara fria



1.2.5 Análises destrutivas e não destrutivas

O experimento foi constituído de grupo não destrutivo e outro destrutivo, sendo o grupo não destrutivo, constituído para avaliação dos parâmetros de perda de peso e taxa de respiração dos frutos. Do grupo destrutivo, no dia zero e nos dias de retirada, os frutos de cada parcela foram cortados e retirada uma fração da região longitudinal da polpa (com sementes), emergidas em nitrogênio líquido, e armazenadas em freezer a -18 °C para posterior realização das análises bioquímicas.

Para as análises físico-químicas e químicas da polpa dos frutos (com sementes), foram homogeneizados os dois frutos por repetição constituindo uma única amostra, acondicionados em frascos de 60 ml e armazenados em freezer a -18

°C, para posteriores análises. Sendo que as análises de pH, sólidos solúveis e acidez titulável foram realizadas no dia de cada tempo de avaliação.

1.2.5.1 Perda de massa

Para a determinação da perda de massa, foi utilizada uma balança semi-analítica (marca Owa labor) com carga máxima 2000 g e divisão de 10 mg.

A resultados foram expressos em porcentagem (%) de perda de peso (AOAC, 2005), a partir da equação:

$$PM (\%) = (P_i - P_f / P_i) \times 100$$

Onde, PM = perda de peso (%); P_i = peso inicial do fruto (g); P_f = peso do fruto no período subsequente a P_i (g);

1.2.5.2 Determinação da Razão entre Polpa e Casca

Os frutos referentes às análises padrão (dia da colheita) e nos demais dias de avaliação foram pesados inteiros individualmente em balança semianalítica, sendo, em seguida, retiradas a casca e a polpa, juntamente com as sementes, foram pesadas. O peso médio dos frutos foi expressa em gramas (g) e a razão entre polpa (com sementes) e casca expressa em porcentagem (%).

1.2.5.3 Espessura da casca

Após separar a casca da polpa manualmente, utilizou-se um paquímetro digital para mensurar a espessura da casca em três posições por fruto, e a média expressa em milímetros (mm).

1.2.5.4 Cor da Casca e da Polpa

A análise da cor da casca dos frutos de pitiaia foi realizada em três pontos (região equatorial e nas duas extremidades distantes a 4 ± 1 cm da região mediana) em cada fruto, de cada repetição. A medição da coloração da polpa foi realizada em três pontos aleatórios dos frutos. Para isso os frutos foram cortados ao meio no plano longitudinal, posteriormente prosseguiu-se com as medições. Foi utilizado um colorímetro da marca Minolta, modelo CR400, expressa pelo sistema com escala CIELAB (L^* , a^* , b^*). Onde L^* indica luminosidade, a^* indica a variação de cor, do verde ($-a^*$) até o vermelho ($+a$) e b^* indica a variação de cor do azul ($-b^*$) até o amarelo ($+b^*$), (Minolta, 1998).

Os valores do sistema $L^*a^*b^*$ foram transformados em Hue (h^* indica ângulo de tonalidade) e Chroma (C^* indica intensidade da cor, tem como início o zero no centro e aumenta conforme a distância deste). O ângulo Hue é o valor em graus correspondente ao diagrama tridimensional de cores 0° (vermelho), 90° (amarelo), 180° (verde) e 270° (azul). As variáveis Hue e Chroma são as que melhor representam a cor da casca e da polpa da pitiaia durante o processo de amadurecimento.

Os valores de a^* e b^* foram convertidos em ângulo Hue e no Chroma, conforme equações:

$$Hab = \tan^{-1}(b/a)$$

$$C^* = \text{Raiz } ((a^*)^2 + (b^*)^2)$$

1.2.5.5 Taxa respiratória

A taxa respiratória foi determinada por meio da quantificação da produção de CO_2 em respirômetro, de acordo com metodologia adaptada de Bleinroth *et al.*, (1976).

$$\text{TCO}_2 = 2,2(V_0 - V_1) \cdot 10 / P \cdot T$$

Onde, TCO_2 = Taxa de respiração ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$); V_0 = Volume gasto de HCl para titulação de hidróxido de potássio – padrão antes da absorção de CO_2 (mg); V_1 = Volume gasto de HCl para titulação de hidróxido de potássio após a absorção do CO_2 da respiração (mg); P = peso dos frutos; T = Tempo da respiração; 2,2 = inerente ao equivalente de CO_2 ($44/2$), multiplicado pela concentração do Ácido clorídrico a 0,1 N; 10 = Ajuste para o total de hidróxido de potássio usado na absorção CO_2 (mg).

1.2.5.6 Firmeza

A firmeza dos frutos foi determinada com o auxílio do Texturômetro (Stevens – Lfra Texture Analyser), com a distância de penetração de 20 mm e velocidade de $2,0 \text{ mm / seg}^{-1}$, utilizando-se a ponteira TA 9/1000. O valor obtido para determinar a firmeza em grama-força por centímetro quadrado (gf/cm^2), transformado para Newton (N) é definido como a força máxima requerida para que uma parte da ponteira penetre no fruto. A firmeza foi realizada em dois pontos distintos na zona equatorial em cada fruto, com atenção especial, para que a medição ocorresse fora das brácteas. Médias foram calculadas dos valores obtidos dos dois frutos, obtendo-se valor médio para cada repetição.

1.2.6 Análises químicas

1.2.6.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

A leitura de pH foi realizada utilizando-se um potenciômetro digital DMPH – 2, conforme metodologia de Instituto Adolfo Lutz, (2008).

1.2.6.2 Sólidos Solúveis (SS)

Os teores de sólidos solúveis foram determinados por leitura refratométrica direta e expressa em °Brix, conforme metodologia de AOAC (2000), utilizando-se refratômetro digital de mesa (Digital Refractometer DR 202) com ajuste automático de temperatura.

1.2.6.3 Acidez titulável (AT)

Foi determinada por titulometria com solução padronizada de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,1N, tendo como indicador do ponto de viragem da fenolftaleína, e utilizando-se aproximadamente 2 g da polpa do fruto de pitaia homogeneizado, diluída em 100 mL de água deionizada. Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido málico na polpa fresca, conforme metodologia de Instituto Adolfo Lutz, (2008), e Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (Resolução – CNNPA nº12 de 1978).

1.2.6.4 Índice de maturação (Ratio SS/AT)

Para avaliar o equilíbrio doce-ácido da polpa dos frutos durante o período de armazenamento, foi calculada a relação entre sólidos solúveis e a acidez titulável (SS/AT), os resultados foram expressos em número puro, com duas casas decimais. $\text{Ratio} = \text{Sólidos solúveis (°Brix)} / \text{Acidez titulável (\% ácido málico / 100 g}^{-1} \text{ de polpa)}$.

1.2.6.5 Determinação dos açúcares redutores (AR)

A metodologia aplicada foi a descrita por Somogyi e adaptada por Nelson, (1944). O aparelho utilizado para leitura foi o espectrofotômetro Celm E-225 D, sendo a leitura realizada a 535 nm. Os resultados foram expressos em porcentagem (%).

1.2.7 Avaliação da incidência de doenças

Quinze frutos de três repetições de cada tratamento foram observados quanto à sintomas de doenças causadas por fungos no corpo do fruto. A incidência da doença

foi expressa como a porcentagem (%) de frutos que apresentavam os sintomas da doença em relação ao número total de frutos observados em cada tratamento. A nota zero da avaliação da severidade da doença indica ausência de sintomas (Nguyen *et al.*, 2021).

1.2.8 Avaliação da severidade da doença

A severidade da doença foi avaliada como a extensão da área total de decomposição em cada superfície do fruto, usando uma escala de classificação de 5 pontos (0 a 4), onde 0 é nenhum sintoma de doença, 1 é 0,1 a 5% de manchas de doença, 2 é 5,1 a 10% de manchas de doença, 3 é 10,1 a 15% das manchas de doença, 4 é 15,1 a 20% das manchas de doença na superfície afetada do fruto (Nguyen *et al.*, 2021).

1.2.9 Aparência das brácteas

A aparência das brácteas foi avaliada de acordo com a escala 0 a 5 de Woolf *et al.*, (2006) onde: 0 = verde brilhante, cor vermelha, sem escurecimento, firme, sem murchar; 1 = desvanecimento da cor verde, discreto amarelecimento, leve escurecimento das margens, firmeza média e leve murchamento; 2 = verde escuro, amarelecimento acentuado, escurecimento moderado, firmeza macia, secagem leve, murchamento moderado; 3 = escurecimento severo da cor verde e escurecimento das margens, cor vermelha no restante da bráctea, secagem moderada, murchamento moderado sério; 4 = não há cor verde, escurecimento completo, cor vermelha permanecendo apenas na base, secagem severa, murchamento grave (mas não na base da bráctea) e 5 = preto, seco e completamente murcho.

1.2.10 Análises microbiológicas

O swab foi umedecido em solução salina estéril (0,9%), sendo friccionado por todo o fruto. Após, o swab foi mergulhado em tubo com 3 mL de solução salina estéril (0,9%) e submetido a 3 minutos de vortex, para a liberação das bactérias nos 3 ml de salina. Foram realizadas diluições seriadas até 10^{-3} e um volume de 1 ml de cada diluição foi colocado em uma placa de Petri esterilizada, sendo homogeneizado com 20 ml de ágar para contagem (PCA - Plate Count Agar), na técnica de Pour Plate (Salfinger; Tortorello, 2015). O teste foi realizado em triplicata. As placas foram incubadas a 35°C, por até 48 horas e após esse período, as colônias nas três placas

foram contadas com o auxílio de um contador de colônias (Phoenix® modelo CP 600 Plus). Para o cálculo do número de unidade formadora de colônia (UFC) mesófilos, bolores e leveduras por grama de fruto, foi calculada a média do número de colônias, considerando-se as 3 placas. Esse valor foi novamente multiplicado por 3, uma vez que as bactérias liberadas pelo swab estavam em 3 ml e somente uma foi utilizado para a contagem. Finalmente, houve a correção da placa de diluição. Os resultados foram expressos em Log_{10} UFC/g.

1.2.11 Compostos bioativos e atividade antioxidante

1.2.11.1 Preparo do extrato acetônico do fruto

Foi utilizada a mistura de solventes acetona: água (80:20 v/v) para a extração. Os extratos das frutas foram obtidos em triplicata. Foi pesada 1,0 g da polpa do fruto de pitaia em tubos tipo Falcon onde foram adicionados 10 mL da mistura acetona: água (80:20 v/v). Os tubos contendo a polpa do fruto de pitaia e o solvente acetônico foram submetidos à trituração com Turrax por alguns minutos a temperatura ambiente. Em seguida, os extratos foram centrifugados a 5000 rpm durante 15 minutos. Na sequência, foi retirado o sobrenadante e armazenado em frascos escuros à temperatura de 8°C, até o momento das análises de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante pelo método DPPH.

1.2.11.2 Compostos Fenólicos Totais

O conteúdo total de compostos fenólicos do extrato acetônico da polpa foi determinado pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu (Singleton; Orthofer; Lamuela-Raventós, 1999). Para a realização da análise, uma alíquota de 0,5 mL do extrato acetônico foi transferida para um tubo e adicionado 2,5 mL do reagente Folin/Ciocalteu, diluído em água 1:10. A mistura permaneceu em repouso durante cinco minutos. Em seguida foram adicionados dois mililitros de carbonato de sódio 4% e os tubos deixados em repouso por 2 horas, ao abrigo da luz. A absorbância foi medida em espectrofotômetro UV-mini 1240 (Shimadzu-Co) a 740 nm. Uma amostra em branco foi conduzida nas mesmas condições e os resultados dos compostos fenólicos totais foram expressos em equivalente de ácido gálico, com base em uma curva de calibração de ácido gálico com concentrações variando de 5 a 100 $\mu\text{g/mL}$. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico.100 gramas⁻¹ de polpa fresca (pf).

1.2.11.3 Flavonoides totais

Os flavonoides totais foram determinados utilizando um ensaio colorimétrico de acordo com o procedimento de Zhishen *et al.*, (1999). Foram adicionados 0,30 µL de NaNO₂ (5%), 1 ml de extrato da amostra, 4 ml de água deionizada e deixado em repouso por cinco minutos. Posteriormente foi adicionado 0,3 ml de AlCl₃ (10%) e deixada em repouso durante 5 minutos. Em seguida, 2 ml de NaOH a 1 mol L⁻¹ foram adicionados a esta solução. As leituras foram realizadas contra o branco em comprimento de onda 510 nm.

Os flavonoides totais das amostras da casca e da polpa foram expressos em mg de rutina equivalente por 100 g da amostra fresca (mg RE 100 g⁻¹), utilizando uma curva padrão. A curva padrão foi realizada com 0, 20, 60, 80, 100, 150 e 200 µL / L de rutina. O coeficiente de regressão da curva foi acima de 0,98, indicando curva confiável. Todas as medições foram feitas em triplicata.

1.2.11.4 Betalaínas

Os conteúdos de betalaínas foram extraídos e medidos seguindo o método de (García-Cruz *et al.*, 2013), com modificação de (Qingzhu *et al.*, 2016). As amostras frescas de 0,5 g foram maceradas em pó fino em nitrogênio líquido e extraídas com 5 ml de solução aquosa de metanol a 80% (v / v). As amostras foram mantidas durante 10 minutos em banho ultrassônico (SB25-12DT, Ningbo) e depois agitadas durante 20 min no escuro à temperatura ambiente. Os sobrenadantes foram coletados a 2200 × g por 10 min e os resíduos foram submetidos a uma segunda extração similar. Os sobrenadantes foram medidos através de espectrofotometria (BEL SP 1105).

Os teores de betacianina e betaxantina foram calculados pelas seguintes fórmulas: betacianinas ou conteúdo de betaxantina (mg 100 g⁻¹ de polpa fresca)

$$B = (A_{538} \text{ ou } A_{483} \times DF \times W \times V \times 100) / (\epsilon \times P \times L)$$

Onde, A 538 nm é a absorbância para betacianinas; A 483 nm é absorbância para betaxantinas; DF é o fator de diluição, W é o peso molecular (550 g / mol para betanina e 308 g / mol para indicaxantina); V é o volume da solução de pigmento (ml); ε é o coeficiente de extinção molar (60.000 L / mol / cm para betanina e 48.000 L / mol / cm para a indicaxantina) e L é o comprimento da célula (1 cm). P é o peso do pigmento fresco (g). Todas as determinações foram realizadas em triplicata.

1.2.11.5 Atividade Antioxidante pelo método DPPH

A medida da capacidade sequestrante foi determinada pelo método DPPH (Brand-Williams; Cuvelier; Berset, 1995) baseado no princípio de que o DPPH (1,1-difenil-2-picrilidrazil), sendo um radical estável de coloração violeta, aceita um elétron ou um radical hidrogênio para tornar-se uma molécula estável, sendo reduzido na presença de um antioxidante e adquirindo coloração amarela. Na forma de radical, o DPPH possui absorção característica a 517nm, que desaparece à medida que ele vai sendo reduzido pelo hidrogênio doado por um composto antioxidante (Mensor *et al.*, 2001). A mistura de reação foi constituída pela adição de 500µL do extrato da polpa, 3,0mL de acetona 99% e 300µL do radical DPPH em solução de acetona 0,5mM e incubada por 45 minutos, em temperatura ambiente e ao abrigo a luz. Os resultados foram expressos em porcentagem.

1.2.11.6 Atividade de eliminação de radicais ABTS

A análise espectrofotométrica da atividade de eliminação do radical 2,2-azino-bis-(ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) (ABTS⁺) foi determinada usando o método de (Re *et al.*, 1999). O radical catiônico ABTS⁺ foi produzido pela reação entre ABTS (7 mM) em H₂O e persulfato de potássio (2,45 mM), armazenado no escuro à temperatura ambiente por 24 h. Antes do uso, a solução de ABTS⁺ foi diluída para uma absorção de $0,70 \pm 0,02$ a 732 nm com tampão fosfato (0,1 M, pH 7,4). A solução ABTS⁺ (990 µL) foi adicionada à amostra (10 µL). Após 1 min, uma porcentagem de inibição de 732 nm foi calculada para cada concentração em relação a uma absorção em branco e os resultados expressos em (mg Trolox/100g pf).

1.2.11.7 Atividade Antioxidante pelo método FRAP

A determinação do FRAP (Poder Antioxidante Redutor Férrico) foi realizada de acordo com Benzie e Strain, (1996). Uma curva de calibração foi preparada com soluções padrão contendo íon ferroso (Fe II), obtido a partir de sulfato de amônio ferroso. A absorbância foi lida a 593 nm e os resultados expressos em µg FeSO₄ 100g pf).

1.2.12 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov com o auxílio do software GraphPad Prism versão 8.0.1 (San Diego, CA,

EUA). Com a normalidade dos erros experimentais, os dados foram submetidos a análise de variância (Two-Way ANOVA), e quando significativo aplicou-se o teste LSD para comparar as médias a $p \leq 0,05$ utilizando o software Sisvar versão 5.6 (Lavras, MG, Brasil). Os resultados foram apresentados em valor médio $\pm$ desvio padrão ($n = 3$). Para verificar o agrupamento das respostas dos tratamentos e das variáveis, foi realizada a análise multivariada de componentes principais (APC) utilizando o software estatístico JMP 10 (SAS Institute Inc., EUA).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da Two-Way ANOVA com os sais (controle com imersão em água a temperatura ambiente, bicarbonato de sódio a 2%, carbonato de sódio a 2% e sorbato de potássio a 1%) associados a tratamento hidrotérmico com água a 50°C por 2 minutos seguida de água a 10 °C por 5 minutos, dos dias de armazenamento refrigerado (0, 10, 20 e 30 dias) e suas interações nos parâmetros de qualidade dos frutos de pitaya vermelha de polpa vermelha, demonstrou que as variáveis apresentaram significância para os tratamentos e interação entre os fatores (Tabela 1). Para os dias, com exceção dos sólidos solúveis, luminosidade e croma da polpa, todas as outras variáveis foram significativas.

Tabela 1 - Resultados da análise de variância (ANOVA) do efeito dos sais associados a tratamento hidrotérmico, dos dias e a interação desses fatores nos parâmetros estudados em frutos de pitaya armazenados em câmara fria (7 ± 1 °C e UR $80 \pm 5\%$)

	Sais	Dias	Sais x Dias
Perda de peso (%)	0,00**	0,00**	0,33 ^{ns}
Taxa respiratória (mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	0,00**	0,00**	0,00**
Firmeza (N)	0,77 ^{ns}	0,00**	0,11 ^{ns}
Espessura da casca (mm)	0,68 ^{ns}	0,00**	0,39 ^{ns}
Rendimento de polpa (%)	0,70 ^{ns}	0,00**	0,98 ^{ns}
Luminosidade casca	0,53 ^{ns}	0,00**	0,92 ^{ns}
Croma casca	0,39 ^{ns}	0,00**	0,95 ^{ns}
°Hue casca	0,52 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,97 ^{ns}
Luminosidade polpa	0,80 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,89 ^{ns}
Croma polpa	0,29 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,80 ^{ns}

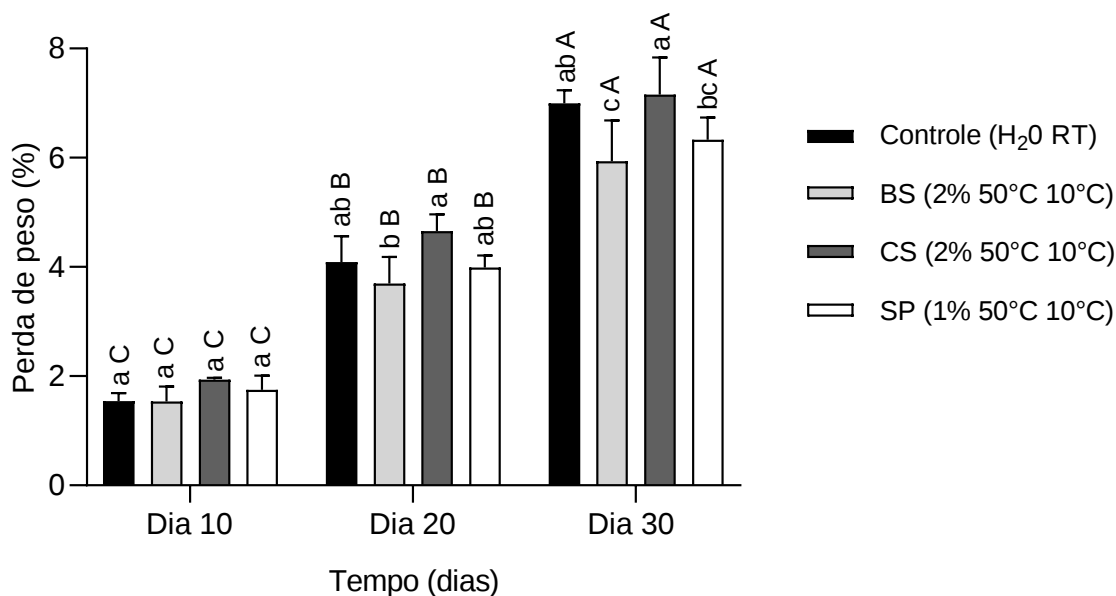
°Hue polpa	0,13 ^{ns}	0,01 ^{**}	0,91 ^{ns}
pH	0,02 [*]	0,00 ^{**}	0,04 [*]
Sólidos solúveis (°Brix)	0,36 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,80 ^{ns}
Acidez titulável (ácido málico %)	0,10 ^{ns}	0,00 ^{**}	0,61 ^{ns}
Ratio (SS/AT)	0,18 ^{ns}	0,00 ^{**}	0,20 ^{ns}
Açúcar redutor (%)	0,04 [*]	0,00 ^{**}	0,33 ^{ns}
Incidência (%)	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}	0,01 ^{**}
Severidade (0 a 4)	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}
Aparência das brácteas (0 a 5)	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}
Mesófilos (Log ₁₀ UFC/g)	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}
Bolores e leveduras (Log ₁₀ UFC/g)	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}
Betalaínas (mg 100g pf)	0,03 [*]	0,00 ^{**}	0,02 [*]
Flavonoides (mg RU/100g pf)	0,04 [*]	0,00 ^{**}	0,01 ^{**}
Compostos fenólicos (mg GA 100g pf)	0,02 [*]	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}
Atividade antioxidante (% DPPH Reduzido)	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}	0,01 ^{**}
ABTS (mg Trolox/100g pf)	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}
FRAP (µg FeSO ₄ /100g pf)	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}

^{ns} representa não significativo; * representa $p \leq 0,05$ e ** representa $p \leq 0,01$;

1.3.1 Análises físicas e físico-químicas

Houve perda de massa contínua nos frutos ao longo do tempo (Figura 4). Em contrapartida, é notório que o uso dos sais, com exceção do SP, interferiu nesse processo, diminuindo-o no dia com BS em comparação ao controle. No início do tratamento (dia 10), todos os tratamentos (sais) apresentam índices semelhantes de perda de massa, enquanto nos dias 20 e 30 o uso do BS se mostrou significativamente relevante para a manutenção da massa do fruto da pitiaia, assim como, mesmo que de forma menos notória, o uso do SP. Sua ação se baseia na proteção contra microrganismos e diminuição das atividades metabólicas celulares, havendo assim diminuição da respiração e senescência (Palou; Taberner, 2023).

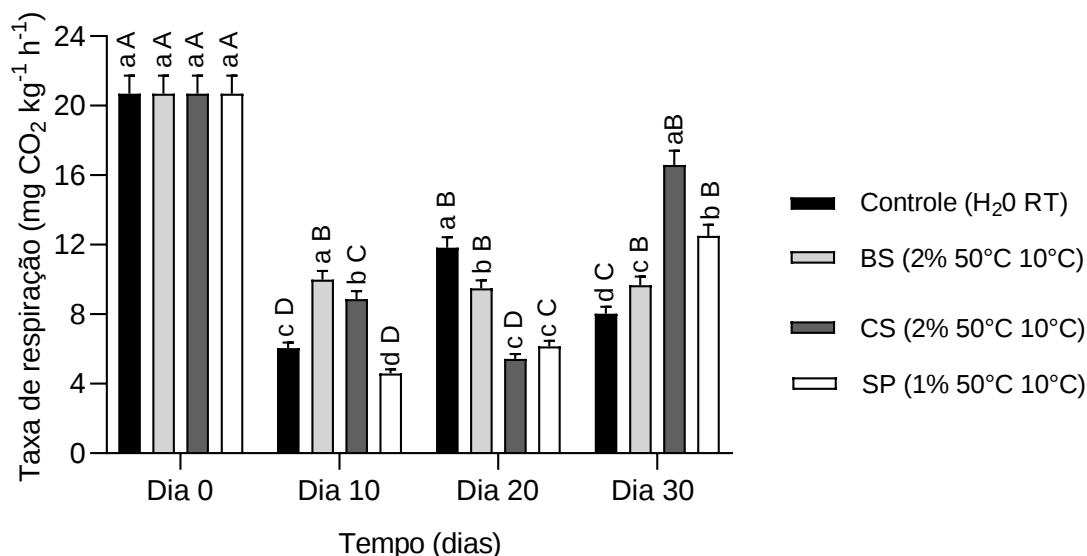
Figura 4. Perda de massa dos frutos de pitaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e $\text{UR } 80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Houve variações nas taxas de respiração, com influência dos sais juntamente com os dias de armazenamento e houve interação entre os fatores (Figura 5). Após o dia 0, houve redução da taxa respiratória em todos os tratamentos. Porém houve aumento nos frutos controle do dia 10 para o dia 20, e no dia 30 a respiração diminuiu, certamente pelo processo de início de senescência. Com o sal BS, se manteve estável nos dias 10, 20 e 30. Os processos biológicos, realizados pelos frutos, da respiração e transpiração são responsáveis pela perda de peso dos frutos durante seu armazenamento (Huang; Zhao, 2023).

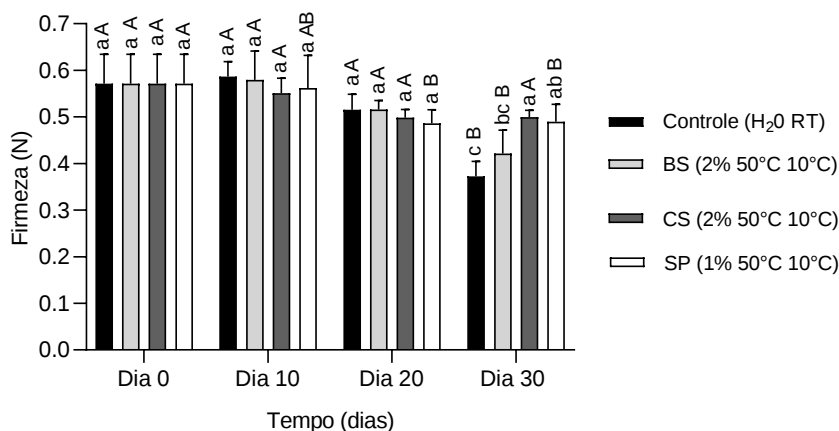
Figura 5. Taxa respiratória dos frutos de pitaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Para a firmeza dos frutos, não houve interação com os sais e dias, mantendo-se semelhante em relação aos sais, e durante o tempo de experimento houve redução (Figura 6). No dia 30, o CS e SP proporcionaram maior firmeza aos frutos em comparação com o controle. A firmeza nos mostra a resistência que o tecido da fruta apresenta diante uma força que a comprime para assim penetrá-la. O resultado corrobora com (Barreto *et al.*, 2021) por relatar que o uso de sais isoascorbato de sódio a 1% e o ácido cítrico a 1%, mantém a integridade dos frutos kiwi minimamente processado, aos nove dias de armazenamento, em que os frutos do controle obtiveram perda de firmeza superior à dos demais tratamentos.

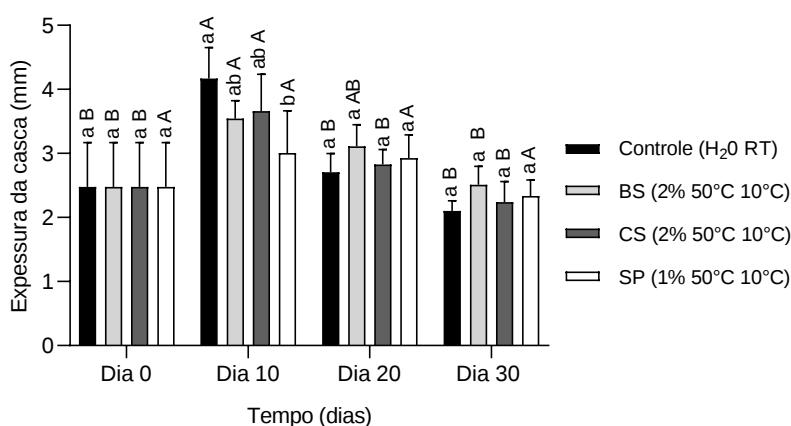
Figura 6. Firmeza dos frutos de pitáia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

A espessura da casca (Figura 7) variou significativamente apenas em função do fator tempo. Com exceção dos frutos tratados com sorbato de potássio, que não diferiram durante os dias de avaliações. Para os demais tratamentos, incluindo o controle, houve acréscimo no dia 10 e decréscimo nos dias 20 e 30, sendo esses dois últimos dias significativamente iguais ao dia 0.

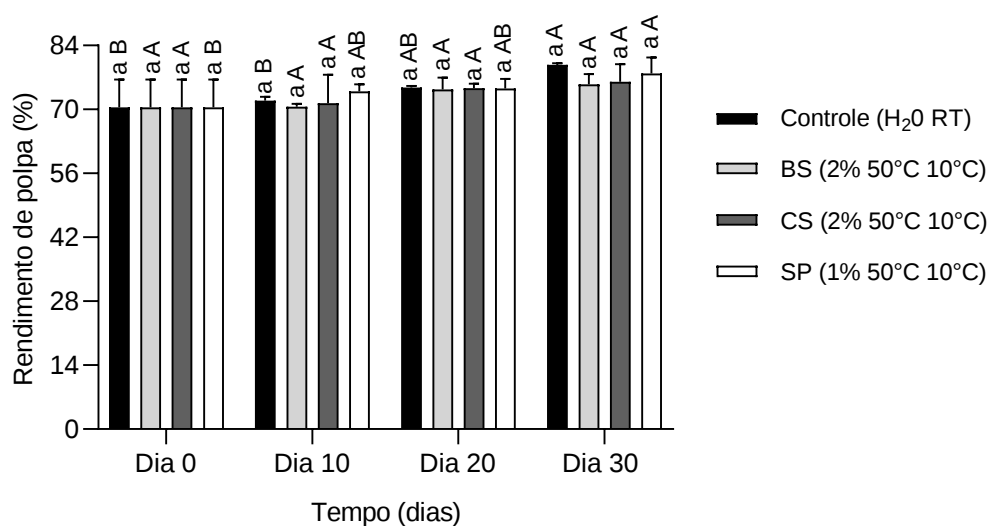
Figura 7. Espessura da casca (mm) dos frutos de pitáia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

O rendimento de polpa (Figura 8) diferenciou significativamente apenas para os dias. Para o controle, houve maior rendimento de polpa no dia 30, em comparação aos dias 0 e 10. O mesmo aconteceu com o SP entre os dias 30 e 0, desta forma, para esses tratamentos houve maior perda de peso na casca. Nos frutos dos demais tratamentos se manteve estável, indicando que a perda de peso ocorreu paralelamente entre casca e polpa, corroborando com a forte correlação positiva entre o rendimento de polpa e a perda de peso (Figura 32).

Figura 8. Rendimento de polpa (%) dos frutos de pitaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



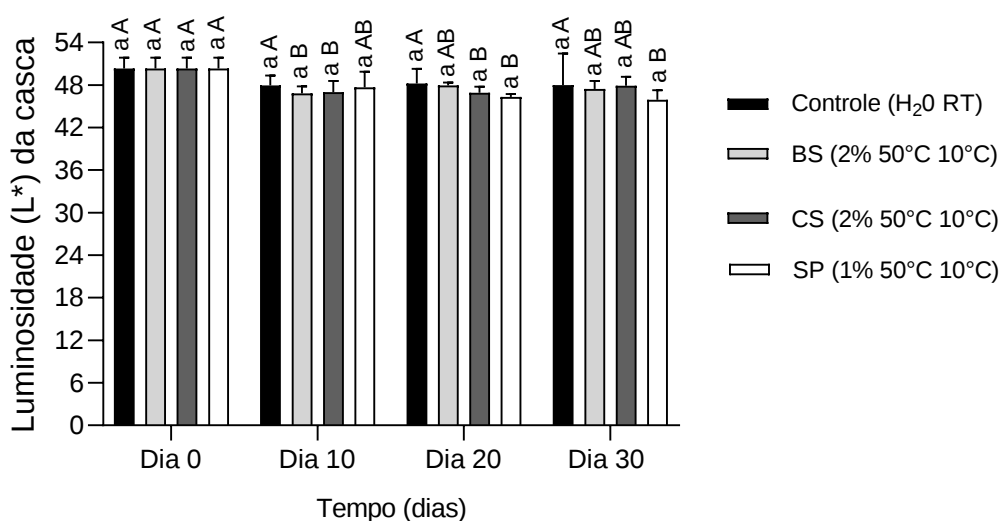
Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Quanto a cor da casca dos frutos, houve diferença significativa apenas nos dias para luminosidade, Figura 9 (0%= preto e 100%= branco) e croma Figura 10. Para o ângulo °hue Figura 11 não houve qualquer diferença. Além disso, não houve interação

entre os fatores para esses parâmetros. Com o efeito dos sais, houve decréscimo da luminosidade no dia 20 para CS e SP e no dia 30 para BS e SP.

Estudo anterior mostrou que a imersão dos frutos da pitiaia *S. undatus* em água a temperaturas na faixa de 49-51°C por dois ou três minutos é eficaz em minimizar a podridão pós-colheita sem causar danos fisiológicos à fruta em termos de perda de peso, sólidos solúveis, acidez titulável e a firmeza do fruto, e não afeta a cor da polpa ou da casca (Nguyen Khanh *et al.*, 2017).

Figura 9. Luminosidade da casca dos frutos de pitiaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias

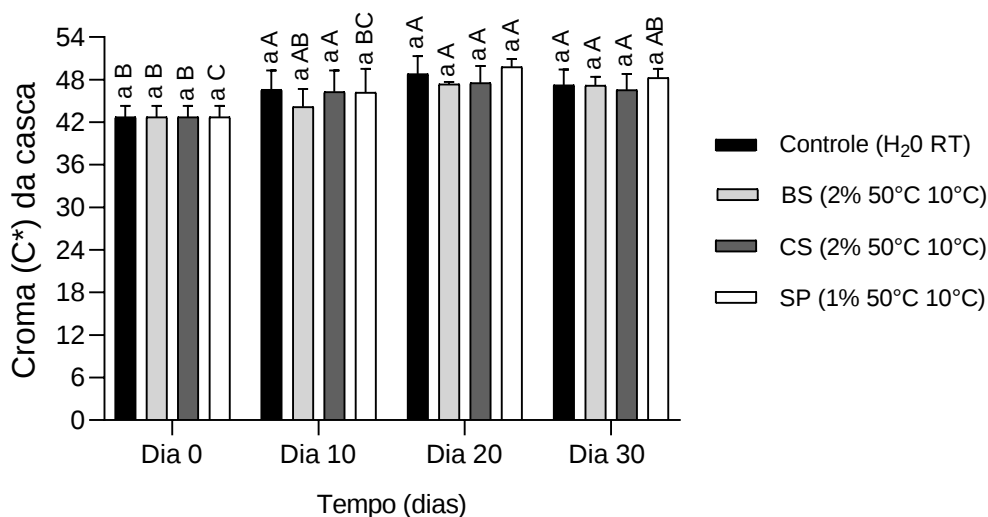


Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

A intensidade da cor verificada por meio do croma da casca (Figura 10) mostrou um acréscimo no dia 10 e se manteve estável nos dias posteriores, com exceção do SP que houve aumento até o dia 20. Semelhante ao presente estudo (Vilaplana; Alba; Valencia-Chamorro, 2018) relatou que frutos de pitiaia amarela *Selenicereus megalanthus* tratadas com SB a 2,5% e fungicida sintético imazalil ($0,4 \text{ g L}^{-1}$) apresentaram poucas alterações nos valores de L^* durante o período de armazenamento refrigerado a 12°C por 21 dias (umidade relativa UR = 80%) e mais 5 dias a 20°C (UR = 85%). Porém, constataram que a intensidade da cor diminuiu à

medida que os frutos amadureceram e aumento em frutos com menor senescência, como nos frutos tratados com SB a 2,5% e tratados com fungicida sintético (controle positivo).

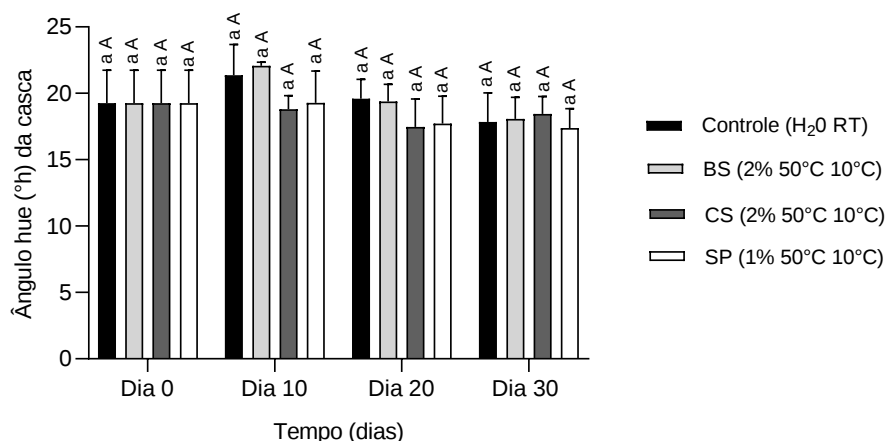
Figura 10. Croma casca dos frutos de pitaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Os dados obtidos do ângulo hue da casca dos frutos estão apresentados na Figura 11 (tonalidade 0° vermelho, 90° amarelo, 180° verde e 270° azul). Os resultados variaram de $19,26^\circ$ no dia 0, $20,38^\circ$ no dia 10, $18,54^\circ$ no dia 20 a $17,93^\circ$ no dia 30 mas não diferiram significativamente. Dentre os parâmetros de qualidade, a cor é um dos indicadores mais importantes para a escolha do consumidor (Guo *et al.*, 2023). Então, os sais não afetam negativamente na tonalidade da cor do fruto. Corroborando com este resultado, (Jitareerat *et al.*, 2018) relataram que os valores da tonalidade da casca dos frutos de pitaia tratados com SP-55 $^\circ\text{C}$ + H₂O fria, não foram significativamente diferentes dos frutos controle durante 15 dias de armazenamento a 13°C .

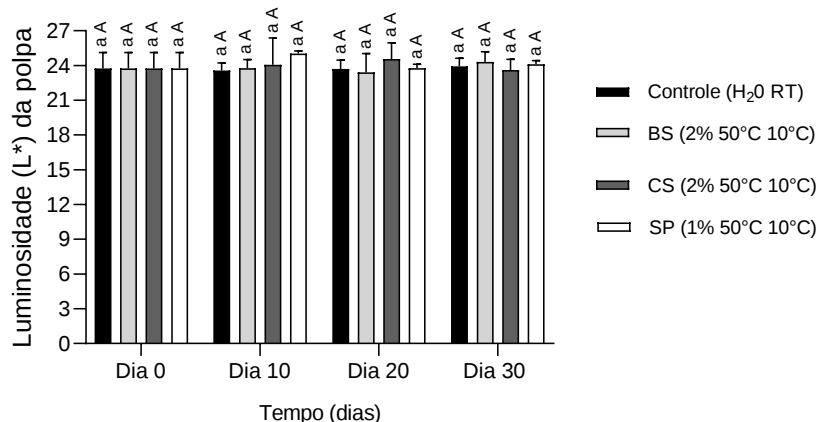
Figura 11. Ângulo hue da casca dos frutos de pitaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e $\text{UR } 80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Para a luminosidade da polpa dos frutos não houve qualquer diferença significativa (Figura 12). Os resultados variaram de 23,74 no dia 0, 24,10 no dia 10, 23,86 no dia 20 a 23,98 no dia 30. Portanto, embora houve incidência de doenças no exterior dos frutos em alguns tratamentos (Figura 20), não atingiram a polpa até o último dia de avaliação (dia 30).

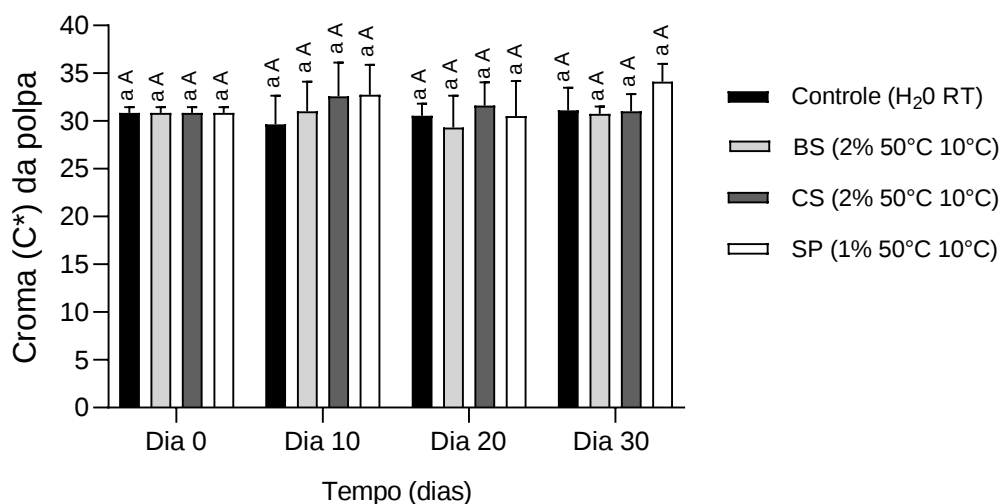
Figura 12. Luminosidade da polpa dos frutos de pitiaia tratados com bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) saís associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Para o croma da polpa dos frutos, não houve qualquer diferença significativa (Figura 13). Os resultados variaram de 30,83 no dia 0, 31,49 no dia 10, 30,49 no dia 20 a 31,75 no dia 30.

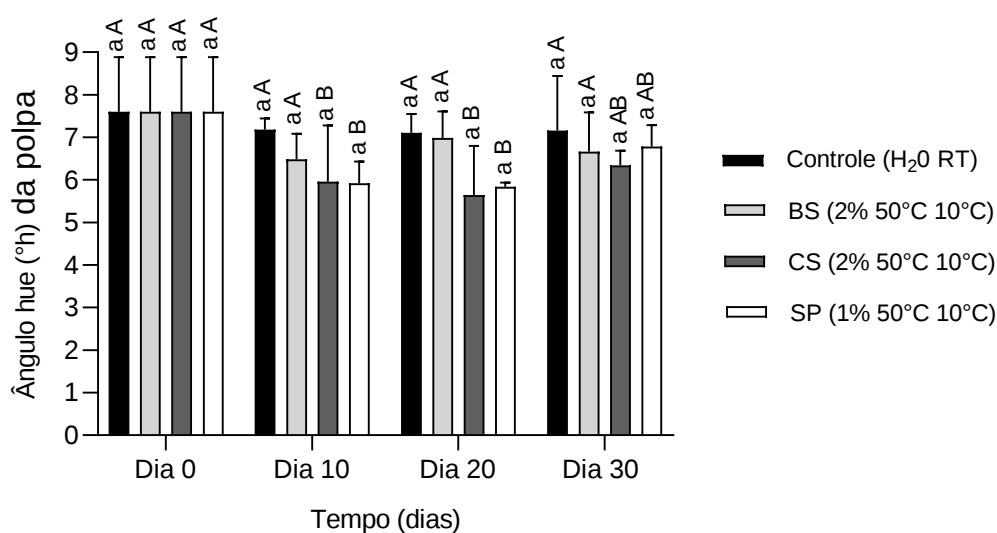
Figura 13. Croma da polpa dos frutos de pitiaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Houve diferença para o °hue da polpa apenas no fator dia (Figura 14). Houve um decréscimo significativo nos dias 10 ($5,90^\circ$) e 20 ($5,70^\circ$) para os sais CS e SP em comparação ao dia 0 ($7,60^\circ$), porém, permaneceram dentro da mesma faixa de cor da coloração vermelho-violeta (0 a 18°).

Figura 14. Ângulo hue da polpa dos frutos de pitaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias

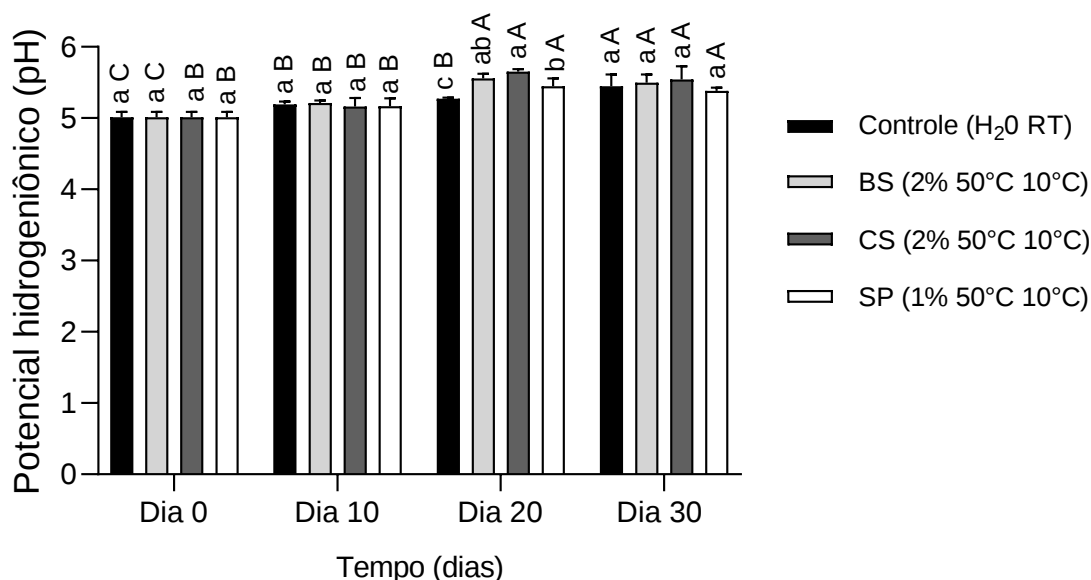


Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Os valores de pH foram significativos nos frutos para os fatores sais e dias, e houve interação entre esses fatores (Figura 15). No decorrer dos dias de armazenamento houve acréscimo do pH. Entre os sais, houve diferenças no dia 20, com o BS e CS proporcionando superioridade que o controle, e o CS superior que o SP. Isso está relacionado com o pH alcalino dos sais BS (8,6) e CS (11,5) e o pH ácido do SP (2,5 a 3,0). Além disso, relatos anteriores na pós colheita de citros (Montesinos-Herrero; Moscoso-Ramírez; Palou, 2016; Youssef *et al.*, 2014) indicaram

que o pH desempenha um papel importante na atividade antimicrobiana das soluções com sais, o que corrobora com o presente estudo devido a correlação negativa com mesófilos, bolores e leveduras (Figura 32).

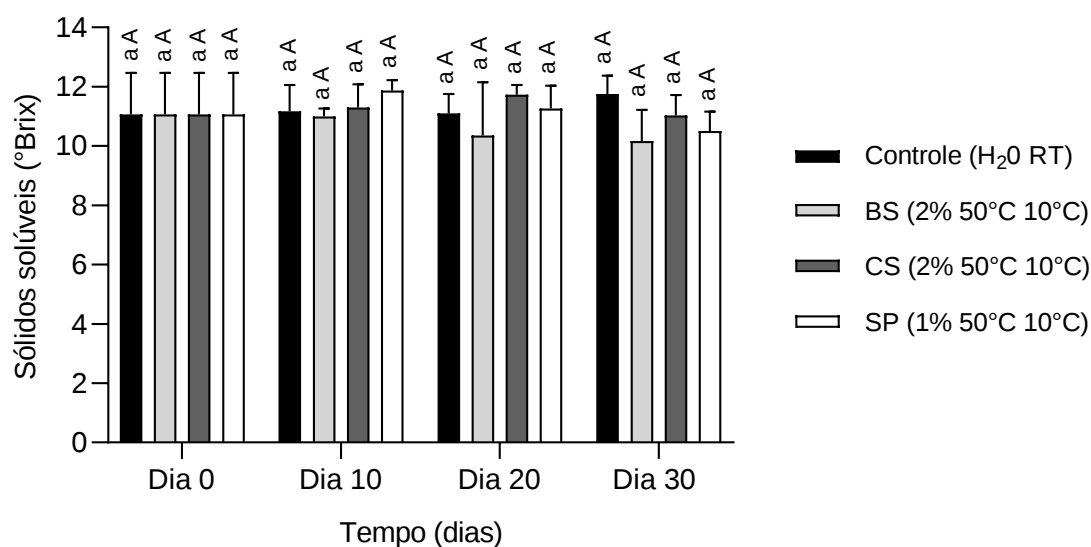
Figura 15. Potencial hidrogeniônico (pH) dos frutos de pitaiá tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

O teor de sólidos solúveis mostrou, indiretamente, o teor de açúcares (90%) da polpa (Figura 16). O experimento não mostrou interação significativa entre os sais e os dias de armazenamento, mantendo os teores de sólidos solúveis estáveis ao longo do tempo. De acordo com os resultados do presente estudo, estudos anteriores semelhantes também mostraram que a água quente não afeta de forma significativa o conteúdo de SS e AT na pitaiá. Jitareerat *et al.*, (2018) com água quente (55°C) por 5 min, seguido de resfriamento em água corrente (10°C) por 10 min, e Nguyen *et al.*, (2020) com água quente a 50°C por 5 min, não relataram diferença significativa entre os tratamentos em SS e AT durante o armazenamento.

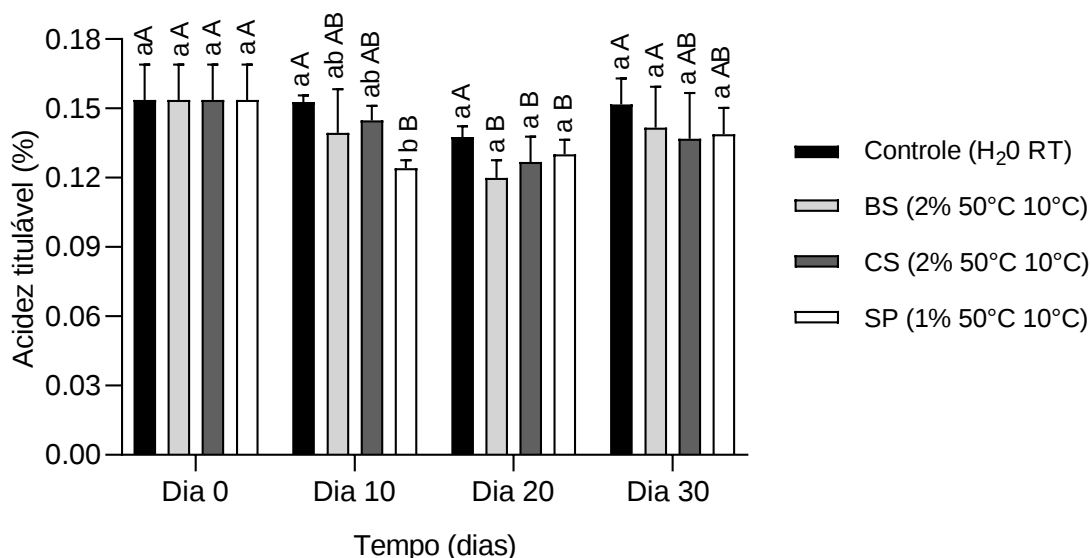
Figura 16. Sólidos solúveis dos frutos de pitaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Não houve interação significativa para a acidez titulável, sendo influenciada majoritariamente pelo tempo de armazenamento (Figura 17). Normalmente a acidez tende a diminuir conforme a maturação de frutos climatéricos por consequência de seu uso como substrato na respiração ou de sua conversão em açúcares, já em frutos não climatéricos, a acidez tende a se manter, geralmente contínua (Cherian; Figueroa; Nair, 2014; Li *et al.*, 2016). E a pitaia é um fruto não climatérico, porém há relatos que ela não se enquadra nos conceitos de frutos não climatéricos por apresentar comportamento climatérico suprimido, assim como os frutos da cactácea *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Cultivar 'Orito' (Andreu-Coll *et al.*, 2021). O que pode justificar a tendência de diminuição da acidez ao longo do armazenamento até o dia 20, com exceção do controle.

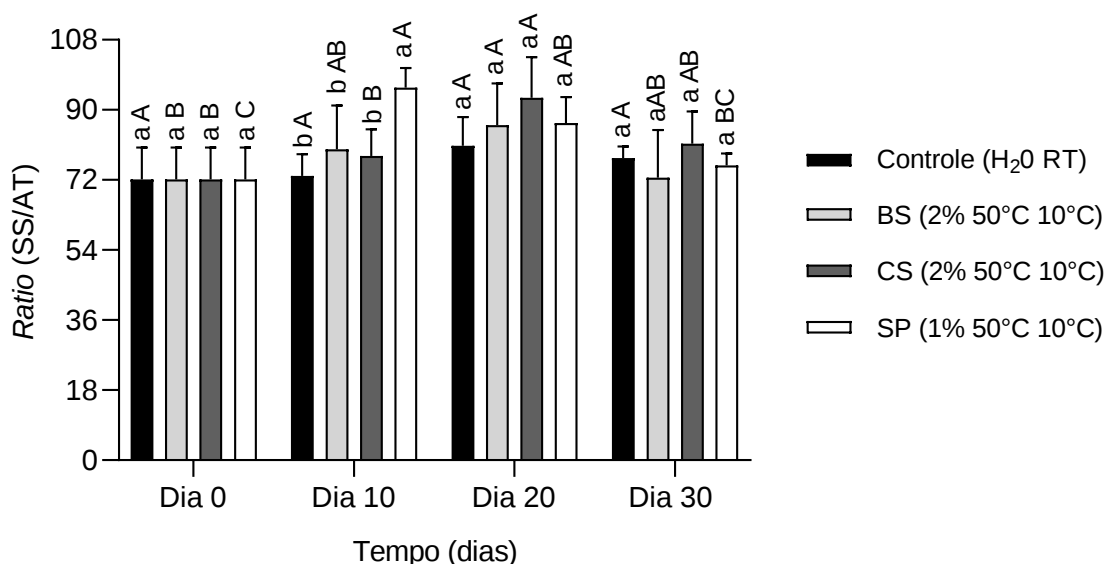
Figura 17. Acidez titulável dos frutos de pitaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Houve diferença significativa em relação aos dias para o *ratio* (Figura 18), mas com o fator sais não houve influência significativa nas condições em que o trabalho foi realizado. Em relação ao tempo, houve tendência de aumento do *ratio* até o dia 20 e decréscimo no dia 30. Esta evidência é devido à forte correlação negativa com a acidez titulável e moderada correlação positiva com os sólidos solúveis, demonstrada pela análise de componentes principais (Figura 32). A imersão de frutos de pitaia amarela (*Selenicereus megalanthus*) por 1 minuto em temperatura ambiente (20°C) em solução de bicarbonato de sódio a 2,5%, retardou a senescência dos frutos, e os painéis de sabores mostraram que os frutos armazenados mantiveram boa qualidade sensorial até 21 dias a 12°C mais 5 dias a 20°C (Vilaplana; Alba; Valencia-Chamorro, 2018).

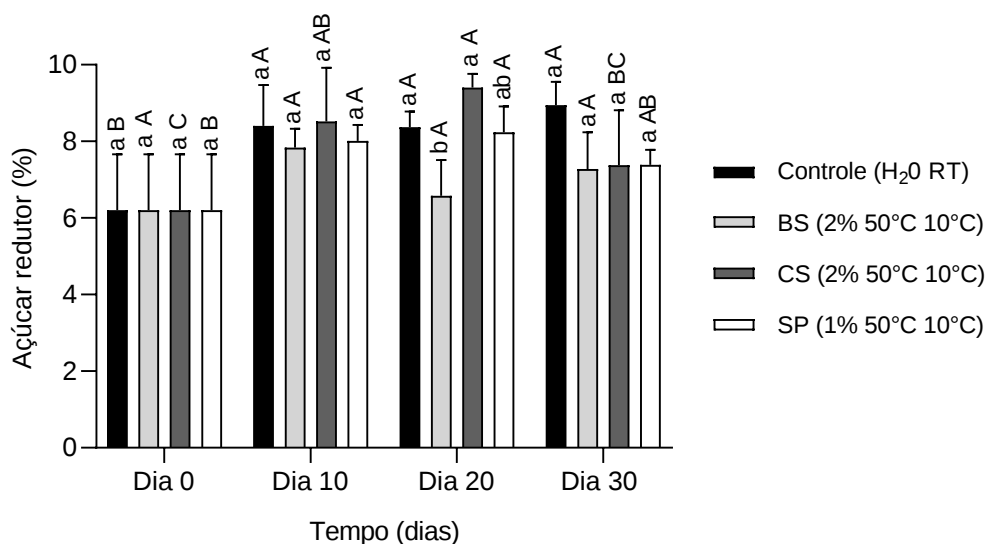
Figura 18. Índice de maturação (*Ratio SS/AT*) dos frutos de pitaiia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e $\text{UR } 80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Para a variável açúcar redutor (Figura 19) ocorreu diferença significativa para os dias, para os sais apenas no dia 20 e não houve interação entre os fatores. Quanto aos dias de armazenamento, foram observados acréscimos significativos dos teores de açúcar redutor principalmente nos dias 10 e 20. Os principais açúcares da pitaiia são a frutose e a glicose (Li *et al.*, 2018). Esses autores também relataram que não encontraram efeito óbvio no nível desses açúcares redutores na pós colheita da pitaiia *S. undatus* 'Shuijing' em tratamentos com metil jasmonato e estresse por corte do fruto.

Figura 19. Açúcar redutor (%) dos frutos de pitiaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



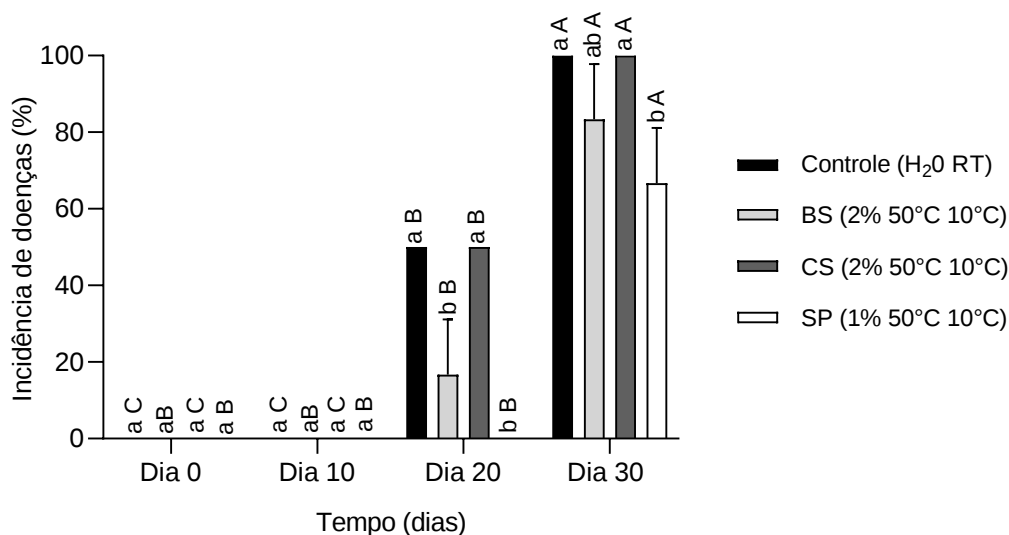
Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

1.3.2 Doenças, aparência e análises microbiológicas

Para a incidência de doenças (%), o resultado foi significativamente diferente para cada fator, e houve interação entre os fatores (Figura 20). Até o dia 10 não houve incidência em nenhum tratamento. No dia 20 não houve incidência significativa nos frutos tratados com BS e SP. E no dia 30, com SP houve menor incidência comparado ao controle e ao CS e não diferiu de BS. A eficácia biótica do SP pode variar dependendo dos patógenos específicos presentes na pitiaia e das condições de armazenamento como a umidade. Para frutas cítricas, foi relatado estudo com a capacidade do carbonato de sódio e do bicarbonato de sódio em induzir resistência a patógenos (Youssef *et al.*, 2014). Houve acúmulo de fitoalexinas e carboidratos, que são metabólitos capazes de controlar, direta ou indiretamente, a infecção do patógeno. Portanto, 3% de carbonato de sódio reduziu bolores verdes e azuis causados por *Penicillium digitatum* (Pers.:Fr.) Sacc. e *Penicillium italicum* Wehmer, respectivamente. Além disso, também corroborando com presente estudo, a imersão de frutos de pitiaia amarela (*Selenicereus megalanthus*) por 1 minuto em temperatura

ambiente (20 °C) em solução de bicarbonato de sódio (2,5%) reduz a incidência de podridão negra causada por *Alternaria alternata*, consequentemente retarda a senescência dos frutos (Vilaplana; Alba; Valencia-Chamorro, 2018).

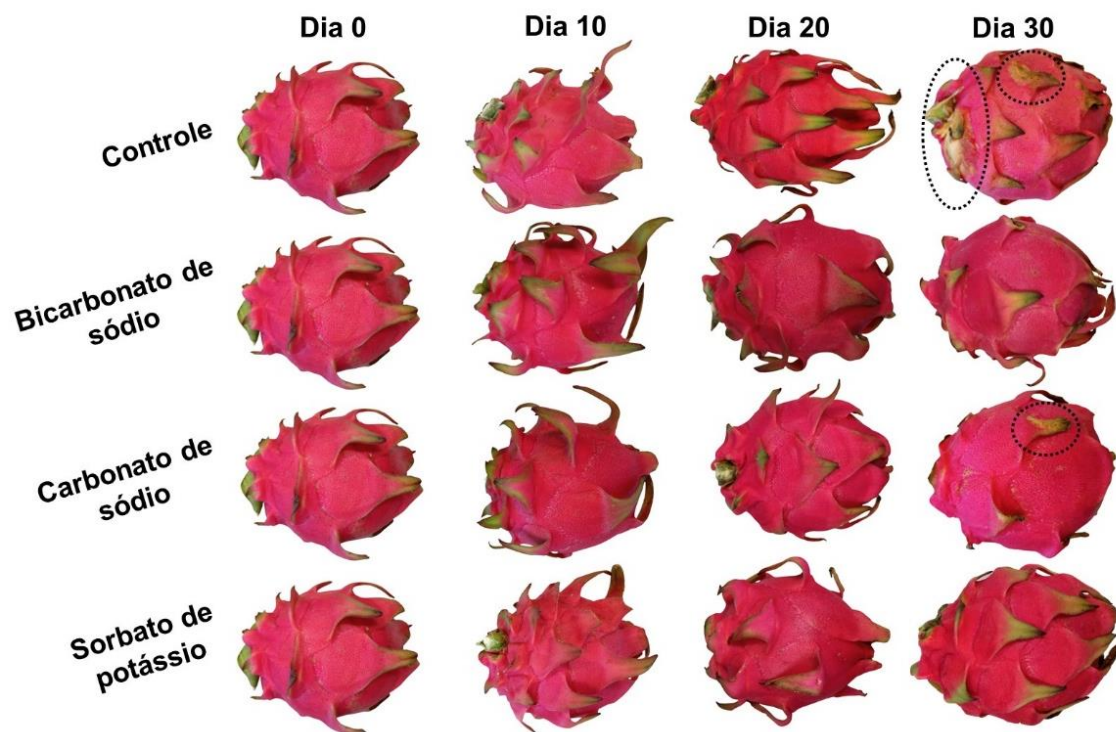
Figura 20. Incidência de doenças (%) dos frutos de pitaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria (7 ± 1 °C e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

A figura 21 demonstra o estado externo dos frutos de cada tratamento e dias de avaliações do experimento.

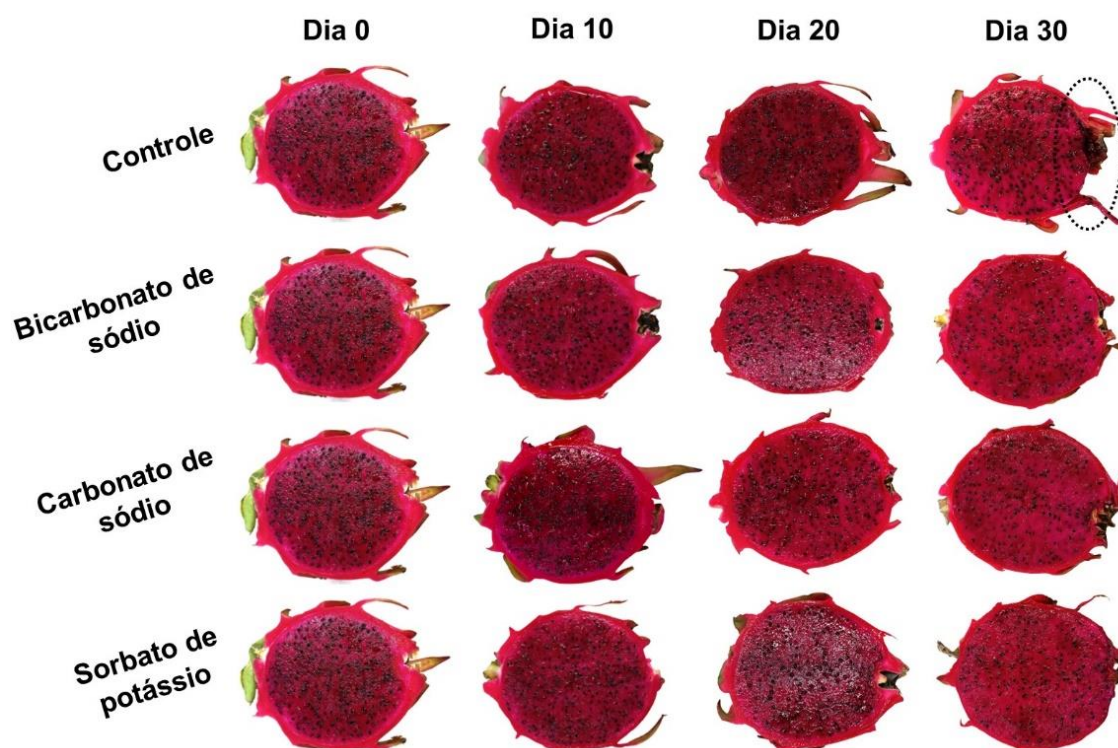
Figura 21. Imagens externas dos frutos de pitaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria (7 ± 1 °C e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Fonte: Autor (2022).

A figura 22 demonstra o estado interno dos frutos de cada tratamento e dias de avaliações do experimento.

Figura 22. Imagens internas dos frutos de pitaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias

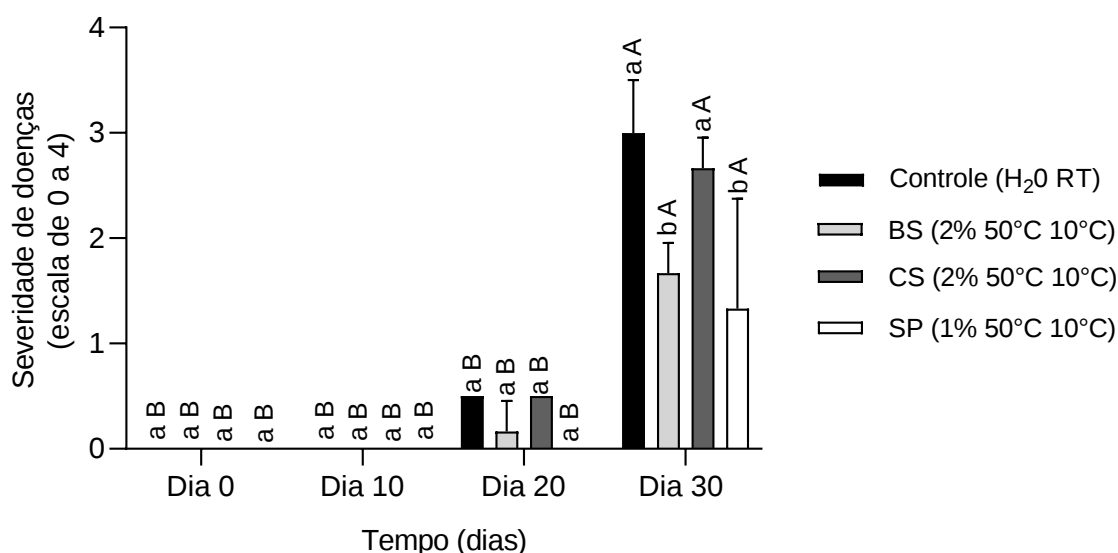


Fonte: Autor (2022).

Para a severidade de doenças (%), houve diferenças significativas para cada fator, e houve interação entre os fatores (Figura 23). No último dia de avaliação, dia 30, o BS e SP reduziu significativamente a severidade de doenças nos frutos. Em estudos com maçãs, (Fadda *et al.*, 2015) indicaram que 1% de SP reduziu significativamente o bolor azul causado por *Penicillium expansum*, especialmente quando aplicado com água aquecida a 53°C , em comparação com a temperatura ambiente a 20°C . Em estudo anterior com frutos de pitaia *Selenicereus undatus* (Jitareerat *et al.*, 2018) mostrou que o SP combinado com água quente ($55\text{ }^{\circ}\text{C}$) por 5 min, seguido de resfriamento em água corrente ($10\text{ }^{\circ}\text{C}$) por 10 min, reduziu a severidade da podridão dos frutos, inibindo significativamente a germinação de esporos de *C. gloeosporioides*, *C. capsici* e *Fusarium* sp., e ajudou a manter a textura e a cor dos frutos durante o armazenamento a $13\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para o controle da podridão negra causada por *Alternaria alternata* em pitaia amarela (*Selenicereus megalanthus*), (Vilaplana; Páez; Valencia-Chamorro, 2017) utilizou água quente a 50°C por 2 min,

antes do armazenamento a 12°C por 21 dias, e reduziu a diâmetro da lesão em 63,1%, sem efeito significativo nas qualidades sensoriais do fruto.

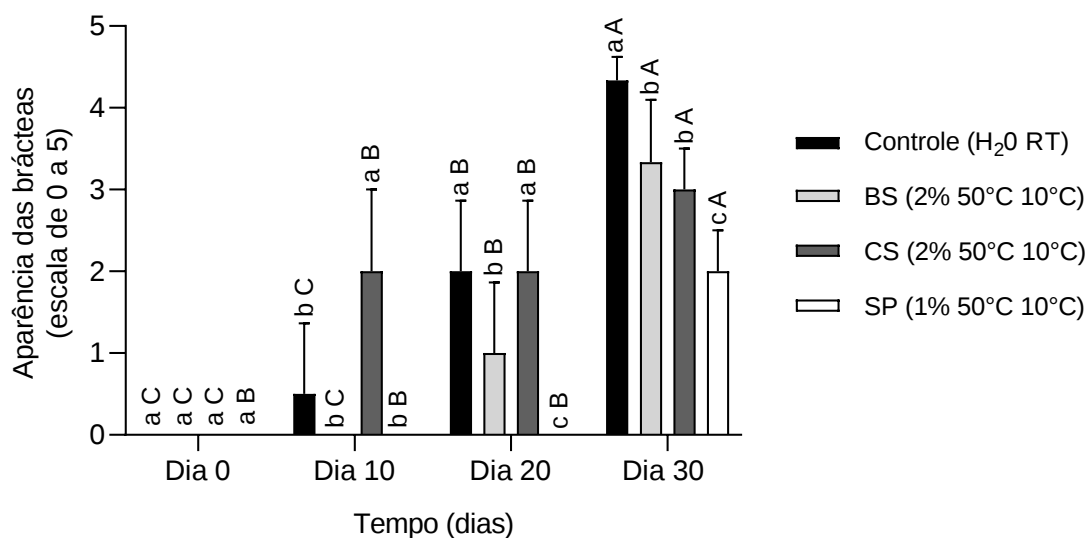
Figura 23. Severidade de doenças (%) dos frutos de pitáia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Para a aparência das brácteas houve diferenças significativas para os sais e dias, e houve interação entre os fatores (Figura 24). Quanto menor o valor (0 a 5), melhor é a aparência das brácteas. Nos dias 10 e 20 o BS e SP proporcionaram melhor aparência das brácteas, já no dia 30 o sal SP com melhor aparência diferenciou dos demais e BS e CS apresentaram melhor aparência que o controle. Em estudo anterior (Nguyen Khanh *et al.*, 2017), foi testado o efeito dos tratamentos com água quente em frutos de pitáia recém-colhidos, foram imersos a 49, 51, 53 e 55°C durante dois ou três minutos, armazenados a 5-6°C durante 28 dias e 3 dias a 20°C. A água quente de 49 e 51°C também apresentaram a menor perda de peso, sem danos às brácteas e sem efeito sobre a firmeza do fruto ou cor da polpa ou da casca.

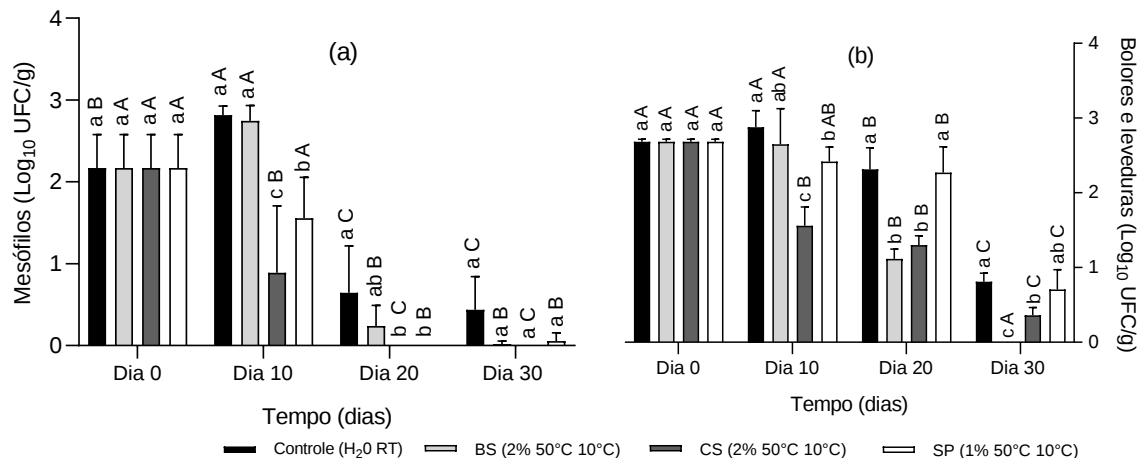
Figura 24. Aparência das brácteas (0 a 5) dos frutos de pitiaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Para a análise microbiológica dos mesófilos bolores e leveduras, houve diferença significativa em cada fator, como também interação entre os fatores (Figura 25). Nos últimos dias de avaliações, com o CS houve menores números de colônias. Assim, os sais influenciaram diretamente nos processos metabólicos, bem como o crescimento microbiano, a fim de prolongar a vida útil da pitiaia (Choudhury *et al.*, 2018). Os sais utilizados no presente estudo têm sido amplamente utilizados na indústria alimentícia como agentes antimicrobianos ativos (Vilaplana; Alba; Valencia-Chamorro, 2018). Os sais carbônicos, como o bicarbonato de sódio, são facilmente acessíveis, baratos e menos complicados em comparação a controles biológicos. O crescimento de bolores e leveduras é mais comum em alimentos mais ácidos (Giannoni *et al.*, 2022), que não é o caso da pitiaia. Provavelmente depende da sepa e da fisiologia dos patógenos e dos microrganismos.

Figura 25. Análise microbiológica dos mesófilos (a) bolores e leveduras (b) (Log₁₀ UFC/g) nos frutos de pitaiá tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria (7 ± 1 °C e UR 80 ± 5%) por 30 dias

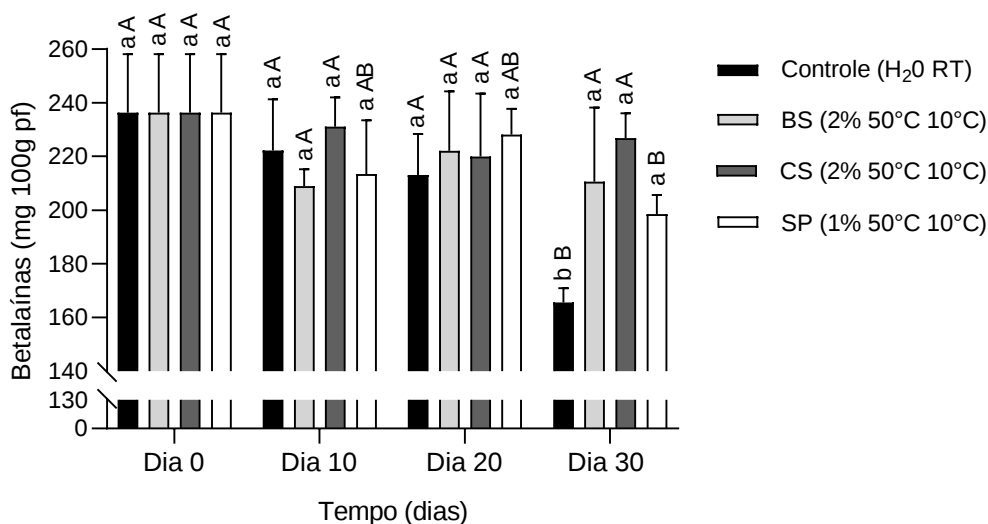


Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

1.3.3 Análises bioquímicas

Para as betalaínas (Figura 26), o resultado foi significativamente diferente para cada fator e houve interação entre os fatores. No dia 30, o BS, o CS e o SP proporcionaram maiores tores em comparação ao controle, respectivamente 22, 27 e 17% superiores. Os maiores teores de betalaínas nos frutos tratados com sais, podem ser devido à ativação de enzimas ou à liberação de pigmentos ligados às estruturas celulares da pitaiá. Semelhante ao relatado por (Liu *et al.*, 2019), houve poucas flutuações nas betalaínas dos frutos da pitaiá vermelha *Selenicereus monacanthus* durante o armazenamento a 7 °C por 30 dias, avaliando o efeito sinérgico de 1-metilciclopropeno e carvacrol.

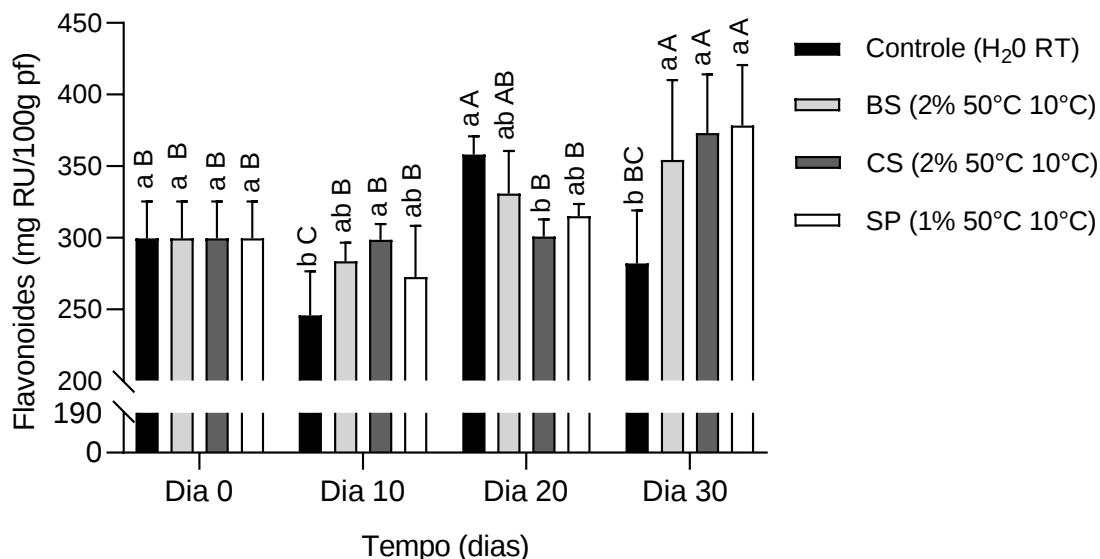
Figura 26. Betalaínas (mg 100g pf) da polpa dos frutos de pitiaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Houve diferença significativa para os sais e dias e houve interação entre esses fatores para os flavonoides (Figura 27). Ocorreu um acréscimo ao longo do tempo. Referente aos sais, no dia 30 o controle foi significativamente inferior que os demais tratamentos, o que demonstra a capacidade dos sais em manter os compostos bioativos dos frutos de pitiaia. (Lata *et al.*, 2023) encontrou que a concentração total de fenol e flavonoides nas pitaias brancas *S. undatus* e vermelhas *S. monacanthus* diminuiu rapidamente durante sete dias de armazenamento a temperatura ambiente ($25 \pm 3^\circ\text{C}$ e $60 \pm 5\%$ UR).

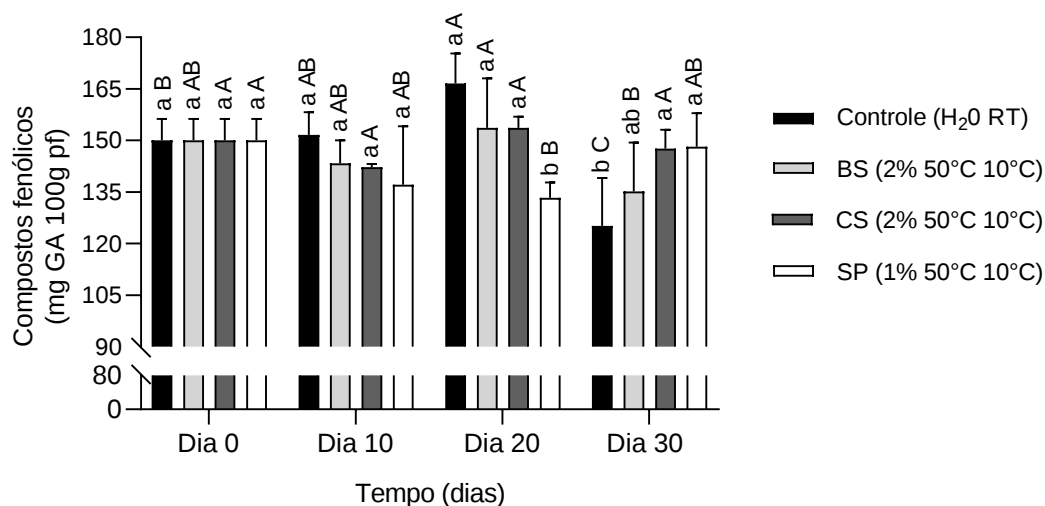
Figura 27. Flavonoides (mg RU/100g pf) da polpa dos frutos de pitiaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Houve diferença significativa para os sais e dias e houve interação entre esses fatores para os compostos fenólicos (Figura 28). Um comportamento variável foi observado ao longo do tempo. No dia 30, os frutos tratados com CS e SP apresentaram maior teor de compostos fenólicos em comparação ao controle. Em estudo prévio com pitiaia *Selenicereus undatus*, foi relatado que a água quente a 50°C por 5 min, seguido de revestimento composto à base de quitosana melhorou o acúmulo fenólico, e aumentou as atividades antioxidantes na pitiaia (Nguyen; Boonyaritthongchai; Buanong, 2020). O conteúdo fenólico dos frutos em todos os tratamentos (controle, quitosana 1%, água quente a 50°C e quitosana 1% com água quente) tendeu a aumentar ligeiramente após serem armazenados a 10°C por 30 dias. Durante o armazenamento, embora tenha sido observada uma pequena flutuação, a água quente proporcionou maior acúmulo de fenólicos nas pitaias em comparação com a fruta controle. Porém, diferença significativa ($p \leq 0,05$) foi reconhecida somente após 18 e 24 dias de armazenamento.

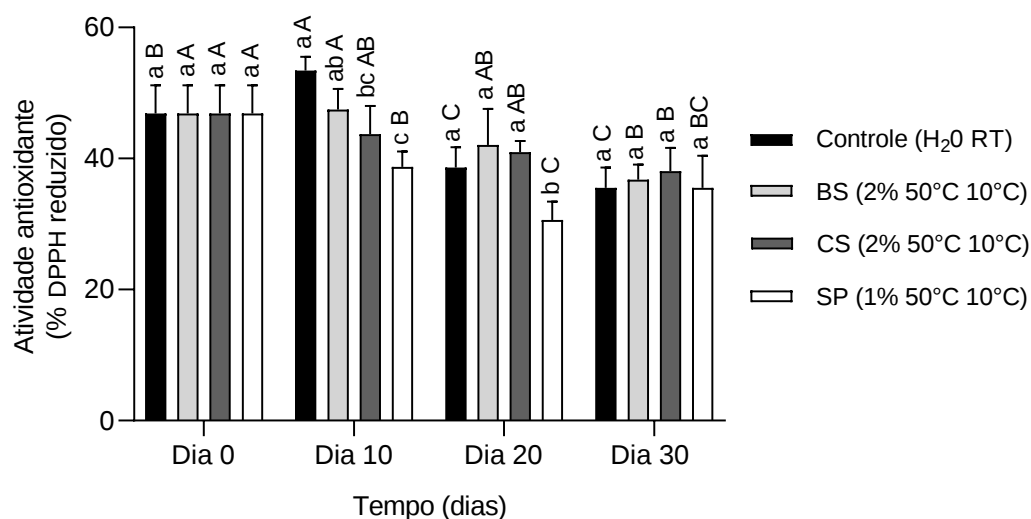
Figura 28. Compostos fenólicos (mg GA 100g pf) da polpa dos frutos de pitaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Houve diferença significativa para os sais e dias e houve interação entre esses fatores para a atividade antioxidante pelo método DPPH (Figura 29). A atividade antioxidante reduziu ao longo do tempo. No dia 20, com o sal SP houve menor atividade antioxidante e os demais não diferiram entre si. No dia 30 não houve diferença entre os tratamentos. Em relação ao tratamento hidrotérmico, em estudo anterior foi relatado resultado distinto com pitaia *Selenicereus undatus* durante o armazenamento a 10°C por 30 dias, em que a água quente a 50°C por 5 min mostrou ser uma estratégia potencial que regula o acúmulo de H_2O_2 e a atividade das enzimas CAT, APX na casca, auxilia na manutenção da característica funcional dos frutos, em termos de conteúdo fenólico e atividade antioxidante (Nguyen; Boonyarittongchai; Buanong, 2020).

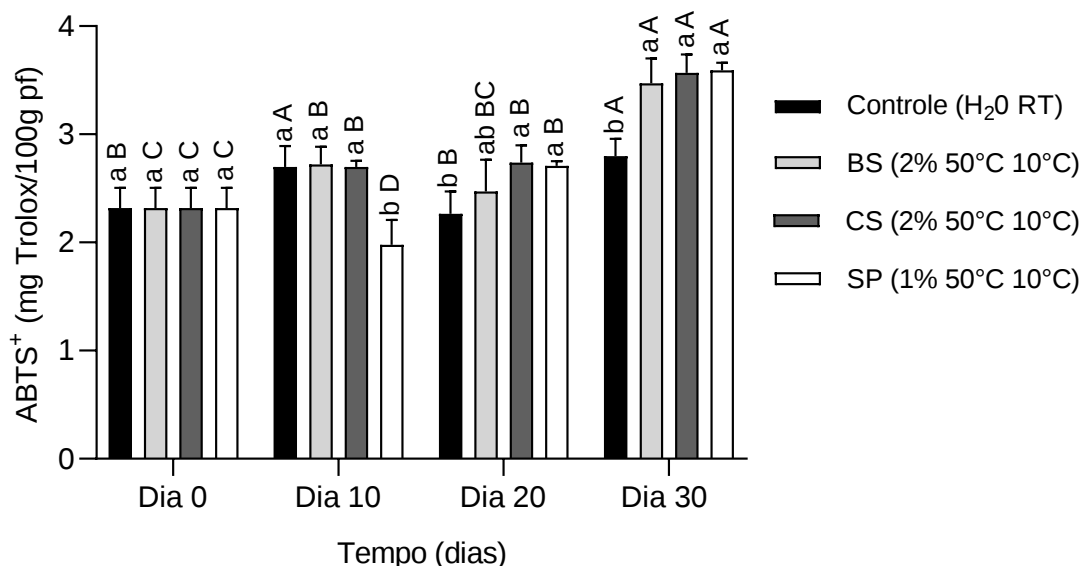
Figura 29. Atividade antioxidante (% DPPH Reduzido) da polpa dos frutos de pitiaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Para a capacidade de eliminação de radicais ABTS⁺ houve diferença significativa em cada fator, como também interação entre os fatores (Figura 30). Ao longo do tempo houve aumento da capacidade. Nos dias 20 e 30 a capacidade foi menor no controle em relação aos demais tratamentos, com exceção do BS no dia 20, o que destaca a importância dos tratamentos utilizados. A avaliação pelo ensaio ABTS⁺ inclui sistemas hidrofílicos e lipofílicos, enquanto o ensaio DPPH apenas compostos hidrofílicos, e gerando assim um valor mais preciso para a capacidade de eliminação de radicais ABTS⁺ (da Silva Filipini; Romani; Guimarães Martins, 2020).

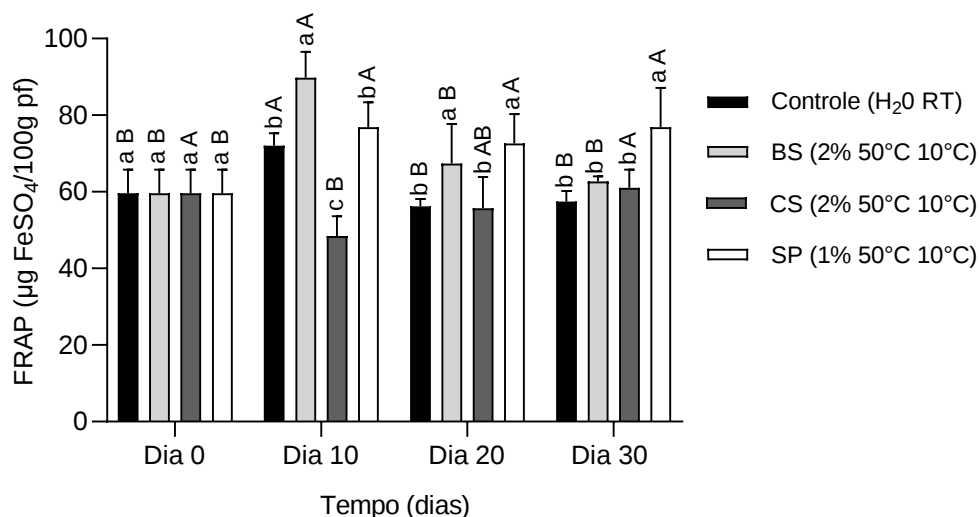
Figura 30. ABTS (mg Trolox/100g pf) dos frutos de pitiaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria (7 ± 1 °C e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Houve diferença significativa para os sais e dias e houve interação entre esses fatores para a atividade antioxidante pelo método FRAP (Figura 31). Este resultado corrobora com estudo anterior com imersão dos frutos de pitiaia *Selenicereus undatus*, em água quente a 50°C por 5 min durante o armazenamento a 10 °C por 30 dias (Nguyen; Boonyaritthongchai; Buanong, 2020). Em que a atividade antioxidante de FRAP nas pitaias tratadas com revestimento quitosana + água quente estivesse no nível mais alto nos dias 12 e 18, foi significativamente maior no grupo tratado apenas com água quente após 30 dias de armazenamento em comparação a todos os demais tratamentos (controle, quitosana 1% e quitosana 1% com água quente).

Figura 31. FRAP ($\mu\text{g FeSO}_4/100\text{g pf}$) da polpa dos frutos de pitaia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias



Letras minúsculas diferem todos os quatro tratamentos com sais em um único tempo de armazenamento e letras maiúsculas diferem todos os tempos de armazenamento em um único tratamento com sais, pelo teste LSD $p \leq 0,05$).

1.3.4 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (PCA) de 27 parâmetros avaliados em frutos de pitaia tratados com sais (controle com imersão em água a temperatura ambiente, bicarbonato de sódio a 2%, carbonato de sódio a 2% e sorbato de potássio a 1%) associados a tratamento hidrotérmico com água a 50°C por 2 minutos seguida de água a 10°C por 5 minutos, e os dias de armazenamento refrigerado (0, 10, 20 e 30 dias), permitiu a observação geral dos dados em menor dimensão, agrupados de acordo com os tratamentos e os parâmetros em diferentes quadrantes (Figura 32). A variabilidade foi explicada por sete componentes principais (PC) $p \leq 0,01$, mas apenas dois foram considerados suficientes e importantes por apresentarem maiores autovalores $\geq 5,0$. Esses dois PCs significativos (PC1 e PC2) acumularam 64% da variação total. Os autovalores e a matriz de carga de todos os PCs e a correlação de todas as análises estão disponíveis no Apêndice A.

Figura 32. Análise de componentes principais (ACP) de todas as 27 variáveis dependentes avaliadas nos frutos de pitáia tratados com sais bicarbonato de sódio (BS), carbonato de sódio (CS) e sorbato de potássio (SP) associados com tratamento hidrotérmico e armazenados em câmara fria ($7 \pm 1^\circ\text{C}$ e UR $80 \pm 5\%$) por 30 dias

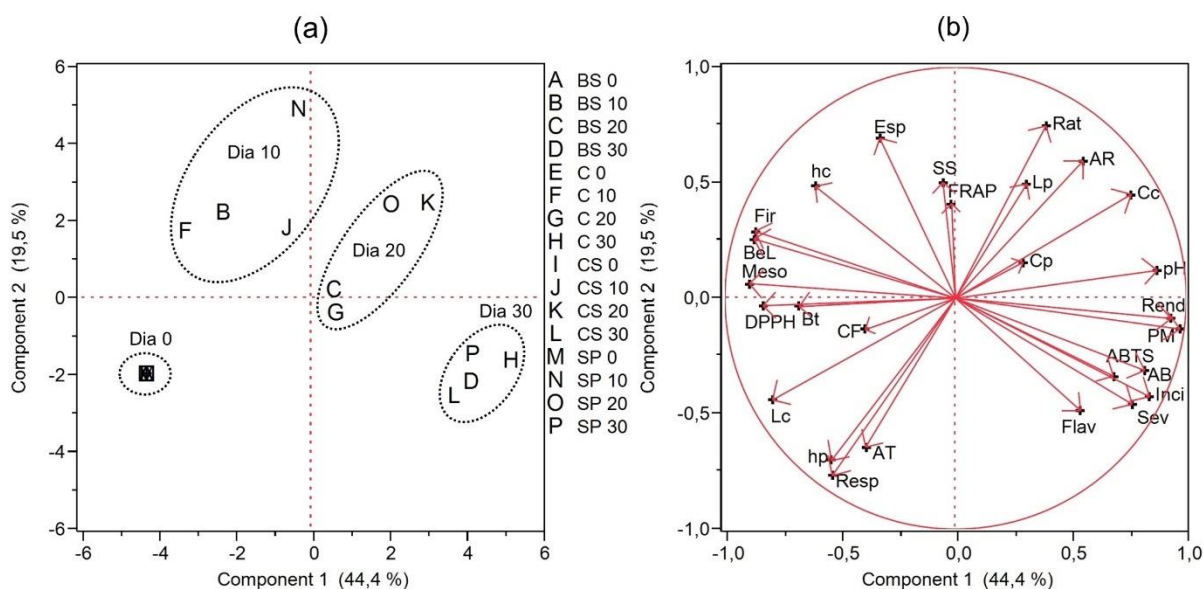


Gráfico de pontuação (a): bicarbonato de sódio 2% dia 0 (A), dia 10 (B), dia 20 (C) e dia 30 (D); controle dia 0 (E), dia 10 (F), dia 20 (G) e dia 30 (H); carbonato de sódio 2% dia 0 (I), dia 10 (J), dia 20 (K) e dia 30 (L); sorbato de potássio 1% dia 0 (M), dia 10 (N), dia 20 (O) e dia 30 (P).

Gráfico da matriz de carga (b): Lp (luminosidade da polpa), Cp (croma da polpa), hp (hue da polpa), Lc (luminosidade da casca), Cc (croma da casca), hc (hue da casca), Fir (firmeza), Resp (taxa respiratória), Inci (incidência de doenças), AB (aparência das brácteas), Sev (severidade de doenças), pH (potencial hidrogeniônico), AT (acidez titulável), Rat (*ratio*), Rend (rendimento de polpa), Esp (espessura da casca), SS (sólidos solúveis), AR (açúcar redutor), Meso (mesófilos), BeL (bolores e leveduras), Bt (Betalaínas), Flav (Flavonóides), CF (compostos fenólicos), DPPH (atividade antioxidante), ABTS (atividade antioxidante), FRAP (atividade antioxidante) e PM perda de peso.

O PC1 foi responsável por 44,4% da variação total (Figura 32a), sendo eficaz para separar os tratamentos dos dias 0 e 10 nos escores negativos, dos tratamentos nos demais dias (20 e 30) nos escores positivos. Os tratamentos do dia 30, em especial o controle (H) destacaram-se como os de maior pontuação positiva. As letras sobrepostas entre as pontuações -5 e -4 (A, E, I e M) representam o dia zero. A análise das cargas de PC1 (Figura 32b) sugere que esta separação se deve principalmente às análises de Cc, Inci, AB, Sev, pH, Rat, Rend e PM que estão representando as cargas positivas mais fortes ($\geq 0,7$) e às análises Lc, Fir, DPPH,

Meso, BeL e Bt com fortes cargas negativas na PCA ($\leq -0,7$). Os escores e cargas do PC1 apresentaram maior efeito para o tempo e de forma mais discreta para os sais.

O PC2 representou 19,5% da variação total. E no gráfico de pontuação (Figura 32a) foi importante principalmente para separar os dias 10 e 20, uma vez que esses tratamentos tiveram maioritariamente pontuações positivas em comparação aos demais. O sorbato de potássio no dia 10 e 20, apresentou escores positivos mais fortes em comparação ao controle (Figura 32a), certamente devido a este sal ter proporcionado aos frutos menor taxa de respiração e incidência de doenças, melhor aparência das brácteas, além de maior *ratio* e menor acidez, mesófilos, bolores e leveduras no dia 10, de acordo ao teste de média. Portanto, a análise de componentes principais foi eficiente na confirmação dos resultados aqui apresentados.

Houve correlação negativa entre espessura da casca e rendimento da polpa, e esta correlacionou positivamente com a perda de peso, demonstrando que o fruto perde peso diferentemente entre a polpa e a casca. A correlação positiva entre a atividade antioxidante (DPPH) e os teores de betalaínas e compostos fenólicos no presente estudo, corroboram com (García-Cruz *et al.*, 2017) por relatarem que a capacidade antioxidante da pitiaia é atribuída ao conteúdo de betalaínas e compostos fenólicos do fruto.

Conscientemente, é importante lembrar que o uso de sais na indústria alimentícia deve ser realizado respeitando as legislações e normas de segurança alimentar local. Deve-se realizar a aplicação adequadamente para evitar custos com dose excessiva, além de ultrapassar os limites de resíduos, pois o excesso dos sais pode trazer efeitos adversos aos frutos e à saúde humana.

1.4 CONCLUSÕES

Com este trabalho, pode-se concluir que a solução de SP 1% ou BS 2% associada com água quente a 50°C, com 2 minutos de imersão dos frutos de pitiaia, seguidos de 5 minutos de imersão em água fria a 10°C reduz a incidência e severidade de doenças dos frutos e mantém a aparência das brácteas e a qualidade da pitiaia durante o armazenamento refrigerado a 8°C e 85% UR. Além disso, não afetam negativamente a cor dos frutos e os sólidos solúveis. Esta aplicação combinada, fornece uma abordagem promissora, prática, de baixo custo e alternativa para manter a qualidade da pitiaia.

REFERÊNCIAS

- ANDREU-COLL, L. *et al.* Influence of Storage on Physiological Properties, Chemical Composition, and Bioactive Compounds on Cactus Pear Fruit (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.). **Agriculture**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 62, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/1/62>.
- AOAC. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemistry international**. 18. ed. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemistry, 2005.
- BALENDRES, M. A.; BENGGOA, J. C. Diseases of dragon fruit (*Hylocereus* species): Etiology and current management options. **Crop Protection**, [s. l.], v. 126, n. August, p. 104920, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104920>.
- BARRETO, C. F. *et al.* Influência da radiação ultravioleta e aditivos na conservação de kiwis minimamente processados. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s. l.], v. 24, 2021. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-67232021000100425&tlng=pt.
- BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. **Analytical Biochemistry**, [s. l.], v. 239, n. 1, p. 70–76, 1996.
- BLEINROTH, E. W.; ZUCHINI, A. G.; POMPEO, R. M. **Determinação das características físicas e mecânicas de variedades de abacate e sua conservação pelo frio**. Campinas: [s. n.], 1976.
- BOUBAKER, H. *et al.* Sensitivity of *Penicillium digitatum* and *P. italicum* to Imazalil and Thiabendazole in Morocco. **Plant Pathology Journal**, [s. l.], v. 8, n. 4, p. 152–158, 2009. Disponível em: <https://www.scialert.net/abstract/?doi=ppj.2009.152.158>.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643895800085>.
- CHEN, J.; SABIR, I. A.; QIN, Y. From challenges to opportunities: Unveiling the secrets of pitaya through omics studies. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 321, p. 112357, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423823005265>.
- CHERIAN, S.; FIGUEROA, C. R.; NAIR, H. ‘Movers and shakers’ in the regulation of fruit ripening: a cross-dissection of climacteric versus non-climacteric fruit. **Journal of Experimental Botany**, [s. l.], v. 65, n. 17, p. 4705–4722, 2014. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/eru280>.
- CHOUDHURY, A. G. *et al.* Technological Advancement for Sustainable Post-harvest Quality and Storage of Dragon Fruit [*Hylocereus* Species (Haworth) Britton & Rose]. In: GLOBAL HI-TECH HORTICULTURE. [S. l.: s. n.], 2018. p. 17. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/328628857>.

DA SILVA FILIPINI, G.; ROMANI, V. P.; GUIMARÃES MARTINS, V. Biodegradable and active-intelligent films based on methylcellulose and jambolão (*Syzygium cumini*) skins extract for food packaging. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 109, p. 106139, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X20312753>.

FADDA, A. *et al.* Residue levels and performance of potassium sorbate and thiabendazole and their co-application against blue mold of apples when applied as water dip treatments at 20 or 53°C. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], v. 106, p. 33–43, 2015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092552141530003X>.

GARCÍA-CRUZ, L. *et al.* Betalains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (*Stenocereus* spp.) fruit from two species (*S. Prinosus* and *S. stellatus*). **Food Chemistry**, [s. l.], v. 234, p. 111–118, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617307628#f0015>. Acesso em: 3 jun. 2019.

GARCÍA-CRUZ, L. *et al.* Physical, Chemical, and Antioxidant Activity Characterization of Pitaya (*Stenocereus pruinosus*) Fruits. **Plant Foods for Human Nutrition**, [s. l.], v. 68, n. 4, p. 403–410, 2013. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11130-013-0391-8>.

GIANNONI, J. A. *et al.* Caracterização física, química, bioquímica e microbiológica da pitaya vermelha (*Hylocereus costaricensis*) minimamente processada armazenada sob refrigeração / Physical, chemical, biochemical and microbiological characterization of minimally processed red. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 438–449, 2022. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/index.php/BJAER/article/view/43414>.

GUO, Y. *et al.* Advances in Postharvest Storage and Preservation Strategies for *Pleurotus eryngii*. **Foods**, [s. l.], v. 12, n. 5, p. 1046, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/5/1046>.

HUANG, M.; ZHAO, J. Recent advances in postharvest storage and preservation technology of pitaya (dragon fruit). **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, [s. l.], p. 1–15, 2023. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14620316.2023.2263757>.

JITAREERAT, P. *et al.* Combined effects of food additives and heat treatment on fruit rot disease and quality of harvested dragon fruit. **Agriculture and Natural Resources**, [s. l.], v. 52, n. 6, p. 543–549, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2452316X18301935>.

LATA, D. *et al.* Effect of Ambient Storage on Postharvest Quality and Shelf Life of White Pulp (*Hylocereus undatus*) and Red Pulp Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*). **Erwerbs-Obstbau**, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s10341-023-00930-8>.

LI, L. *et al.* Effects of the ethylene-action inhibitor 1-methylcyclopropene on postharvest quality of non-climacteric fruit crops. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], v. 111, p. 322–329, 2016.

LI, X. *et al.* Methyl jasmonate enhances wound-induced phenolic accumulation in pitaya fruit by regulating sugar content and energy status. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], v. 137, n. November 2017, p. 106–112, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.016>.

LIU, R. *et al.* Synergistic effect of 1-methylcyclopropene and carvacrol on preservation of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). **Food Chemistry**, [s. l.], v. 283, p. 588–595, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814619301347>.

LUTZ, I. A. **Métodos físicos e químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

MAGALHÃES, D. S. *et al.* Changes in the physical and physico-chemical characteristics of red-pulp dragon fruit during its development. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 253, p. 180–186, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423819303048>.

MENSOR, L. L. *et al.* Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. **Phytotherapy Research**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 127–130, 2001. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ptr.687>.

MINOLTA, K. **Precise color communication. Color control from perception to instrumentation**. Ramsey, NJ: [s. n.], 1998.

MONTESINOS-HERRERO, C.; MOSCOSO-RAMÍREZ, P. A.; PALOU, L. Evaluation of sodium benzoate and other food additives for the control of citrus postharvest green and blue molds. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], v. 115, p. 72–80, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925521415302040>.

NELSON, N. A photometric adaptation of the somogyi method for the determination of glucose. **The Journal of Biological Chemistry**, [s. l.], v. 03, n. 2, p. 375–380, 1944.

NGUYEN, H. T. *et al.* Chitosan- and κ -carrageenan-based composite coating on dragon fruit (*Hylocereus undatus*) pretreated with plant growth regulators maintains bract chlorophyll and fruit edibility. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 281, p. 109916, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423821000236>.

NGUYEN, H. T.; BOONYARITTHONGCHAI, P.; BUANONG, M. Postharvest Hot Water Treatment Followed by Chitosan- and κ -Carrageenan-Based Composite Coating Induces the Disease Resistance and Preserves the Quality in Dragon Fruit (*Hylocereus undatus*) Postharvest Hot Water Treatment Followed by Chitosan- and. **International Journal of Fruit Science**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 2030–2044, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1851342>.

NGUYEN KHANH, N. *et al.* Postharvest Diseases and Effect of Hot Water Treatments on White Fleshed Dragon Fruit [*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose]. **International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology**, [s. l.], v. 4, n. 5, p. 30–37, 2017. Disponível em: <http://www.ijcrbp.com/abstractview.php?ID=282&vol=4-5-2017&SNo=3>.

ORTIZ-HERNÁNDEZ, Y. D.; CARRILLO-SALAZAR, J. A. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a short review. **Comunicata Scientiae**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 220–237, 2012. Disponível em: www.ufpi.br/comunicata.

PALOU, L.; TABERNER, V. Evaluation of hot water and GRAS salt solutions for the control of postharvest gray and green molds of pomegranate fruit. **Acta Horticulturae**, [s. l.], n. 1363, p. 117–124, 2023. Disponível em: https://www.actahort.org/books/1363/1363_17.htm.

QINGZHU, H. *et al.* Transcriptomic Analysis Reveals Key Genes Related to Betalain Biosynthesis in Pulp Coloration of *Hylocereus polyrhizus*. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 6, 2016. Disponível em: <http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fpls.2015.01179/abstract>.

RE, R. *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, [s. l.], v. 26, n. 9–10, p. 1231–1237, 1999.

SALFINGER, Y.; TORTORELLO, M. Lou (org.). **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. 5th Ed.ed. Washington: APHA: American Public Health Association, 2015. Disponível em: <http://ajph.aphapublications.org/doi/book/10.2105/MBEF.0222>.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *In*: [S. l.: s. n.], 1999. p. 152–178. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0076687999990171>.

VILAPLANA, R.; ALBA, P.; VALENCIA-CHAMORRO, S. Sodium bicarbonate salts for the control of postharvest black rot disease in yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). **Crop Protection**, [s. l.], v. 114, p. 90–96, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261219418302321>.

VILAPLANA, R.; PÁEZ, D.; VALENCIA-CHAMORRO, S. Control of black rot caused by *Alternaria alternata* in yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) through hot water dips. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 82, p. 162–169, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643817302682>.

WOOLF, A. *et al.* **Dragon Fruit Assessment Manual**. 1. ed. Tien Giang, Vietnam: [s. n.], 2006. Disponível em: <https://ucanr.edu/datastoreFiles/234-2903.pdf>.

YOUSSEF, K. *et al.* Sodium carbonate and bicarbonate treatments induce resistance to postharvest green mould on citrus fruit. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], v. 87, p. 61–69, 2014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925521413002524>.

ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 64, n. 4, p. 555–559, 1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814698001022>. Acesso em: 3 jun. 2019.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, BIOQUÍMICA E NUTRICIONAL DA CASCA E POLPA DE FRUTOS DE VARIEDADES DE PITAIAS

RESUMO

A pitiaia é uma das espécies frutíferas cuja procura tem aumentado nos últimos anos devido aos inúmeros benefícios à saúde e ao preço lucrativo da fruta e seus subprodutos. Com este trabalho, objetivou-se determinar a caracterização de sete variedades de pitiaia, ('Costa Rica', 'Nicarágua', 'Purple Haze', 'Physical Graffiti', 'Imperial', 'Connie Mayer' e 'Golden de Israel') quanto a físico-química da polpa, nutrição mineral e propriedades bioquímicas da casca e polpa. Foram determinadas as seguintes análises: peso dos frutos, pH, sólidos solúveis, acidez titulável, índice de maturação (Ratio) e açúcar redutor da polpa dos frutos; da casca e polpa, separadamente, foram determinados a cor (luminosidade, chroma e °hue), betalaínas totais (betacianinas e betaxantinas), flavonoides, compostos fenólicos, atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP e o teor dos nutrientes minerais N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Zn e Mn. Realizou-se a análise de componentes principais e a análise hierárquica de Cluster. Os frutos das variedades de polpa vermelha, Costa Rica e Nicarágua, possuem maiores teores de betalaínas, e as variedades com polpa de cor púrpura, Purple Haze e Physical Graffiti, possuem maiores teores de compostos fenólicos, flavonoides e maior atividade antioxidante. A polpa e casca dos frutos das variedades de pitiaia apresentaram excelentes perfis minerais para o consumo humano com valores significativos de potássio e ferro, principalmente nas cascas das pitaias Physical Graffiti com maior teor de macronutrientes e Connie Mayer com maior teor de micronutrientes.

Palavras-chave: *Selenicereus* spp.; fruta do dragão; composição nutricional; betalaínas; antioxidantes.

2.1 INTRODUÇÃO

Recentemente, os frutos da família Cactaceae, da subfamília Cactoideae, têm sido considerados uma rica fonte de nutrientes e compostos bioativos. Entre elas, a pitia (*Selenicereus* spp.), também chamada pitahaya ou fruta do dragão. A pitia é uma planta nativa do México e da América do Sul central (Nerd; Mizrahi, 1997). A classificação botânica tem sofrido sucessivas modificações e publicações recentes adotam diferentes classificações botânicas (Santos *et al.*, 2022; Trindade *et al.*, 2023). Estudos recentes, baseados em marcadores moleculares, mostraram que o gênero *Hylocereus* (A. Berger) Britton e Rose, que inclui a maioria das pitias cultivadas, deve ser agrupado no gênero *Selenicereus* (A. Berger) Britton e Rose (Korotkova *et al.*, 2017; Korotkova N. *et al.*, 2021).

Este fruto contém diversos compostos bioativos de diferentes rotas metabólicas, como os compostos fenólicos e compostos nitrogenados (betalaínas), que o vegetal sintetiza para se defender diante de estresses bióticos e abióticos, mas que alternativamente desempenham um importante papel na atividade antioxidante no organismo após ingestão desses compostos (Araújo *et al.*, 2022). Testes *in vivo* mostraram que tal composição do fruto possibilita exercer várias atividades funcionais, tais como atividades antimicrobianas, hepatoprotetoras, hipoglicemiante, cicatrizante, antiproliferativa e antinociceptiva (Marques *et al.*, 2023), auxiliando no tratamento de doenças como diabetes (Lira *et al.*, 2023), obesidade, depressão, doenças hepáticas e atuando também no sistema imunológico (Holanda *et al.*, 2021; Lira *et al.*, 2020). Além disso, o teor de vitamina C no fruto in natura supre a necessidade humana diária. Portanto, o fruto da pitia se destaca devido às características organolépticas, nutricionais e principalmente pelo potencial funcional (Freitas *et al.*, 2021).

Além do consumo humano, os frutos das espécies do gênero *Selenicereus* são matérias-primas muito atrativas para a indústria alimentícia por duas razões principais: primeiro, as cascas perfazem cerca de 30% do peso dos frutos e, pode ser obtido um rendimento de pectina de 15% a 30% (Nur Izalin *et al.*, 2013; Thu Dao *et al.*, 2021); em segundo lugar, cascas e polpas são fontes de corantes naturais, nomeadamente betalaínas, que inclui as betacianinas vermelhas e betaxantinas amarelas (Chen *et al.*, 2023; Lira *et al.*, 2020).

Há uma ascensão de estudos relatados com pitia nos últimos anos (Ferreira *et al.*, 2023), mas a maioria tem maior foco na polpa do que na casca dos frutos, possivelmente em razão da sua maior utilização no consumo popular e nas

formulações alimentícias (Freitas *et al.*, 2021). Porém, devido ao alto preço do fruto da pitia, a casca é um resíduo que necessita ser estudada por meio da determinação das características funcionais, consequentemente ter um destino útil, uma vez que é o principal subproduto gerado durante o processamento. Além do mais, a variedade “Branca Comum” (*S. undatus*) se destaca como a mais estudada em todo o mundo, por ser uma das espécies pioneiras a se espalhar pelo mundo, porém está sendo substituída agronomicamente devido às limitações na polinização e por ser susceptível ao centro gelatinoso dos frutos (Trindade *et al.*, 2023), o que gera demanda por estudos com variedades em ascensão no mercado.

Apesar das pesquisas com caracterizações dos frutos de pitia já relatadas, para o progresso da investigação neste domínio em detalhe, é necessário comparar o teor de compostos bioativos e nutricionais da casca e polpa de mais variedades importantes no mercado, uma vez que a maioria dos estudos somente mencionam a espécie e possivelmente há grande variabilidade mesmo entre variedades de uma mesma espécie. Com este trabalho, objetivou-se determinar a caracterização de sete variedades de pitia ‘Costa Rica’ “Roxa do Pará” (CR), ‘Nicarágua’ “Orejona” (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G) quanto a físico-química da polpa e propriedades bioquímicas e nutricionais da casca e polpa.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Material vegetal

Os frutos de pitia de sete variedades (Figura 1): ‘Costa Rica’ “Roxa do Pará” *Selenicereus costaricensis* (Weber), ‘Nicarágua’ “Orejona” *Selenicereus guatemalensis*, ‘Purple Haze’ *Selenicereus guatemalensis* X *Selenicereus undatus*, ‘Physical Graffiti’ *Selenicereus guatemalensis* X *Selenicereus undatus*, ‘Imperial’ *Selenicereus setaceus* (Rizz.), ‘Connie Mayer’ *Selenicereus stenopterus* X *Selenicereus undatus* e ‘Golden de Israel’ *Selenicereus undatus* (Haw.) foram colhidos pela manhã em um pomar comercial localizado no município de Indaiatuba, São Paulo, Brasil (latitude 23°5'21,24" S, longitude 47°13'35,16" W e 624 m de altitude). As plantas foram cultivadas no mesmo local, na mesma época e com as mesmas condições agrônomicas. A colheita foi realizada no período entre o 34° e 38° dia após

a antese floral, considerado entre os dias adequados para colheita, quanto à coloração, aparência e composição físico-química, segundo Magalhães *et al.*, (2019).

Figura 1 – Imagens externas e internas das variedades de pitaia utilizadas na caracterização físico-química, bioquímica e nutricional

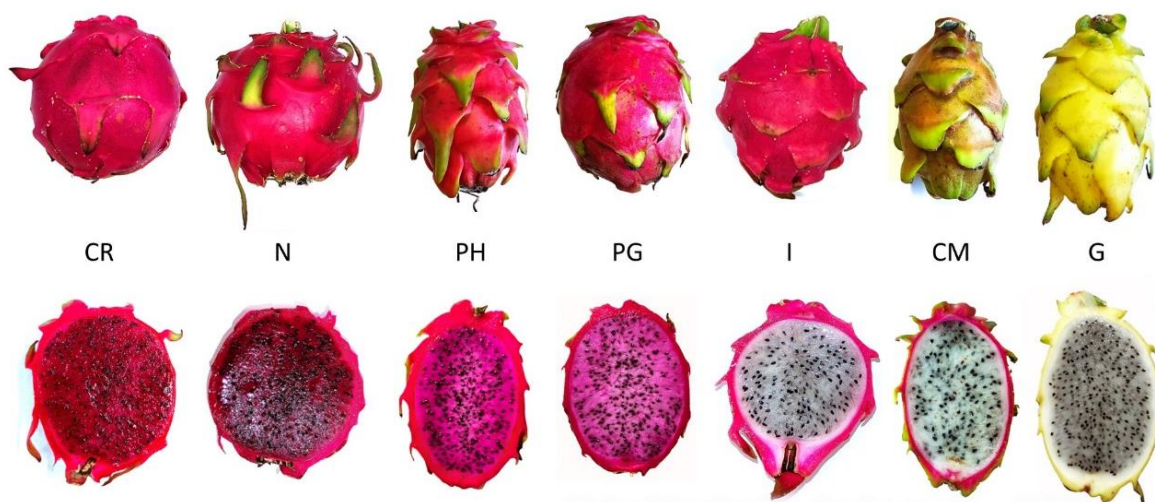


Foto: Vander Rocha Lacerda – 2021

Imagens externas e internas após corte longitudinal dos frutos de pitaia das variedades 'Costa Rica' "Roxa do Pará" (CR), 'Nicarágua' "Orejona" (N), 'Purple Haze' (PH), 'Physical Graffiti' (PG), 'Imperial' (I), 'Connie Mayer' (CM) e 'Golden de Israel' (G).

Os frutos foram acondicionados em caixas plásticas e transportados para o laboratório de Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças do Departamento de Produção Vegetal da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu-SP.

2.2.2 Análises físico-químicas e bioquímicas

Para a determinação do peso dos frutos, foi utilizada uma balança semi-analítica (marca Owa labor) com carga máxima 2000 g e divisão de 10 mg.

Foram determinadas as seguintes análises (da mesma forma que o capítulo 1): da polpa dos frutos foram determinados o pH, sólidos solúveis, acidez titulável, índice de maturação (Ratio) e açúcar redutor; da casca e polpa, separadamente, foram determinados a cor (luminosidade, chroma e °hue), betalaínas totais (betacianinas e betaxantinas), flavonoides, compostos fenólicos, atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS⁺ e FRAP.

2.2.3 Determinação do teor de nutrientes

Foi determinado o teor de nutrientes da casca e da polpa, separadamente. A casca e a polpa dos frutos foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 h. Após a secagem, as amostras foram pesadas para obtenção da matéria seca e moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 1 mm. Esta porção triturada foi utilizada para a determinação do teor de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Zn e Mn, de acordo com a metodologia de Malavolta *et al.*, (1997). Os resultados foram expressos em g/kg⁻¹ para os macronutrientes, mg/kg⁻¹ para os micronutrientes e em mg 100g⁻¹ para a soma dos macros e micronutrientes.

2.2.4 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk utilizando o software GraphPad Prism versão 8.0.1 (San Diego, CA, EUA). Com a normalidade dos erros experimentais, os dados foram submetidos à análise de variância, One-way ANOVA para caracterização físico-química das variedades e Two-way ANOVA, 2x7, para caracterização bioquímica e nutricional da casca e polpa das sete variedades. Em seguida, quando detectado diferença significativa, foi realizado o teste LSD de comparação múltipla de médias ($p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$). As análises foram realizadas pelo software Sisvar (versão 5.6) e os gráficos com médias ($n=3$) e desvio padrão foram gerados pelo GraphPad Prism (versão 8.2.1). Os dados da caracterização bioquímica juntamente com a cor, e a análise nutricional, foram submetidos às análises multivariadas. Utilizou-se a análise hierárquica de Cluster com agrupamento pelo método Ward bidirecional (Two-way) (utilizando o método de ligação completa entre grupos - vizinho mais distante) calculada pela distância euclidiana (SOKAL; ROHLF, 1962). E a análise de componentes principais (PCA) com base na sobreposição vetorial de sua matriz de correlação simétrica, após análise da variância conjunta, conforme as pontuações e cargas apresentadas nos gráficos gerados pelo software estatístico JMP 10 (SAS Institute Inc., EUA).

2.3 RESULTAS E DISCUSSÃO

A análise de variância (ANOVA) do fator variedades de frutos de pitaia 'Costa Rica' (CR), 'Nicarágua' (N), 'Purple Haze' (PH), 'Physical Graffiti' (PG), 'Imperial' (I), 'Connie Mayer' (CM) e 'Golden de Israel' (G), fator partes do fruto (casca e polpa) e a

interação entre esses fatores, mostrou diferença significativa para todos os parâmetros avaliados (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise de variância (One-Way e Two-Way ANOVA) dos frutos das variedades de pitaiá, partes dos frutos (casca e polpa) e a interação entre esses fatores através das análises de caracterização físico-química da polpa, bioquímica e nutricional da casca e polpa dos frutos.

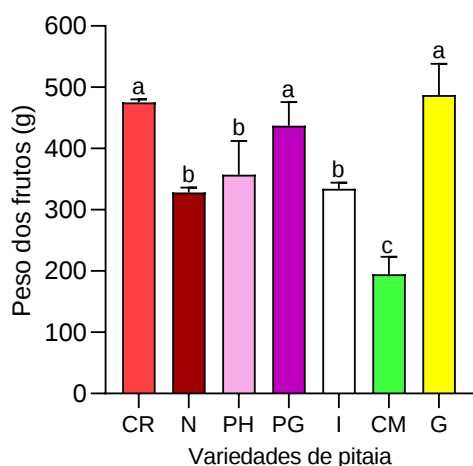
Análises	Variedades		Partes (casca e polpa)		Variedades x Partes	
	Fc	p	Fc	p	Fc	p
Peso dos frutos (g)	27,283	0,000**	-	-	-	-
pH	182,267	0,000**	-	-	-	-
Sólidos solúveis (°Brix)	17,856	0,000**	-	-	-	-
Acidez titulável (% AM)	22,394	0,000**	-	-	-	-
Índice de maturação (SS/AT)	64,996	0,000**	-	-	-	-
Açúcar redutor (%)	10,738	0,000**	-	-	-	-
Luminosidade casca	174,483	0,000**	-	-	-	-
Croma casca	89,662	0,000**	-	-	-	-
°Hue casca	344,725	0,000**	-	-	-	-
Luminosidade polpa	52,960	0,000**	-	-	-	-
Croma polpa	92,245	0,000**	-	-	-	-
°Hue polpa	3865,270	0,000**	-	-	-	-
Betalaínas totais (mg/100g)	2050,771	0,000**	877,996	0,000**	1064,515	0,000*
Betacianina (mg/100g)	1486,510	0,000**	722,818	0,000**	663,609	0,000**
Betaxantina (mg/100g)	2555,901	0,000**	804,101	0,000**	1703,872	0,000**
Flavonoides (mg RU/100g)	52,891	0,000**	82,105	0,000**	63,016	0,000**
Compostos fenólicos (mg/100g)	36,454	0,000**	191,140	0,000**	122,328	0,000**
Atividade antioxidante (% DPPH)	137,285	0,000**	1776,957	0,000**	151,991	0,000**
ABTS ⁺ (mg Trolox/100g)	9,282	0,000**	10,061	0,026*	18,730	0,000**
FRAP (µg FeSO ₄ /100g)	25,038	0,000**	89,867	0,000**	36,356	0,000**
N (mg/100g)	13,741	0,000**	2575,201	0,000**	8,295	0,000**
P (mg/100g)	17,293	0,000**	333,724	0,000**	21,924	0,000**
K (mg/100g)	32,744	0,000**	2771,597	0,000**	14,694	0,000**
Ca (mg/100g)	14,865	0,000**	4950,568	0,000**	9,827	0,000**
Mg (mg/100g)	53,070	0,000**	902,662	0,000**	17,731	0,000**
S (mg/100g)	5,772	0,000**	1288,976	0,000**	26,156	0,000**
B (mg/100g)	66,794	0,000**	2327,315	0,000**	11,407	0,000**
Cu (mg/100g)	11,744	0,000**	7,549	0,010**	25,165	0,000**
Fe (mg/100g)	590,533	0,000**	1036,623	0,000**	202,820	0,000**
Mn (mg/100g)	30,330	0,000**	4011,141	0,000**	13,031	0,000**
Zn (mg/100g)	12,412	0,000**	21,458	0,000**	18,320	0,000**

* ns representa não significativo; * representa $p \leq 0.05$ e ** representa $p \leq 0.01$.

2.3.1 Análises físico-químicas

Houve diferença significativa para o peso dos frutos das variedades (Figura 2). O peso dos frutos das variedades G, CR e PG foi superior que o peso de PH, I e N, seguidos por CM com menor peso. Esses resultados estão de acordo com Carmen *et al.*, (2023) ao relatarem que o fruto de *S. costaricensis* tem de 250 a 600g e *S. undatus* tem fruto de 300 a 800g. A característica genética é o fator principal que limita o peso do fruto da pitiaia, além das práticas agrônômicas no cultivo da planta e a polinização. A polinização ocorre quando os grãos de pólen caem sobre o estigma e germinam, surgindo um tubo polínico que cresce dentro do estilete em direção ao ovário da flor (Taiz *et al.*, 2017). Quanto mais óvulos fertilizados, mais sementes serão formadas, consequentemente maiores serão os frutos da pitiaia (Trindade *et al.*, 2023).

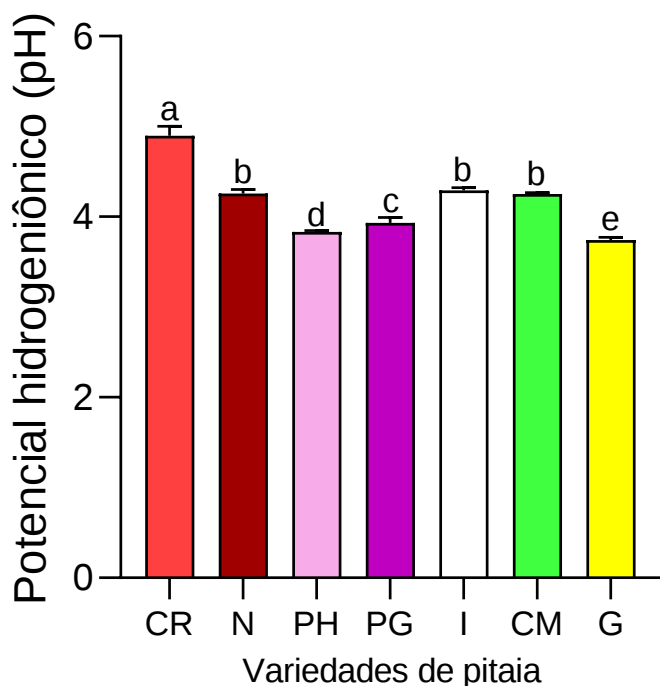
Figura 2. Peso dos frutos (g) de pitiaia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)



Letras acima das barras diferem significativamente os valores pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Houve diferença significativa para o pH da polpa dos frutos das variedades (Figura 3). Os valores com pH mais alcalino foram da variedade CR, seguida de I, N e CM, depois PG. O menor pH foi da variedade G seguida de PH. Semelhantemente em estudo anterior (Arivalagan *et al.*, 2021), foi relatado valor de pH entre 4,8 e 5,4 em *S. undatus* e *S. monacanthus*.

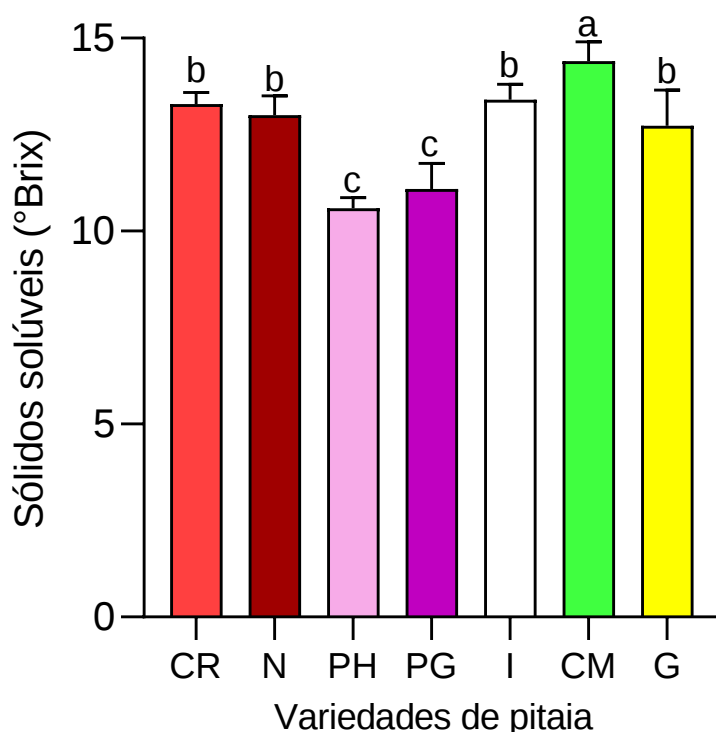
Figura 3. pH da polpa dos frutos de pitaia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)



Letras acima das barras diferem significativamente as variedades pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Houve diferença significativa no teor de sólidos solúveis (SS) da polpa dos frutos das variedades (Figura 4). O maior teor (14,4 °Brix) foi encontrado na variedade CM, seguida de CR, N, I e G e por último PH e PG. Corroborando com este trabalho (Lata *et al.*, 2023) encontrou valores semelhantes de 13,20 °Brix no teor de SS na pitaia de polpa branca *S. undatus* e de 13,73 °Brix na pitaia de polpa vermelha *S. monacanthus*. Os frutos da pitaia de casca amarela com espinhos e polpa branca *S. megalanthus* 'Palora', do Equador e 'Amarela Colombiana' são altamente aceitos pelos consumidores, apresentando alto teor de SS (22 °Brix) e peso entre 200 e 500 g (Trindade *et al.*, 2023).

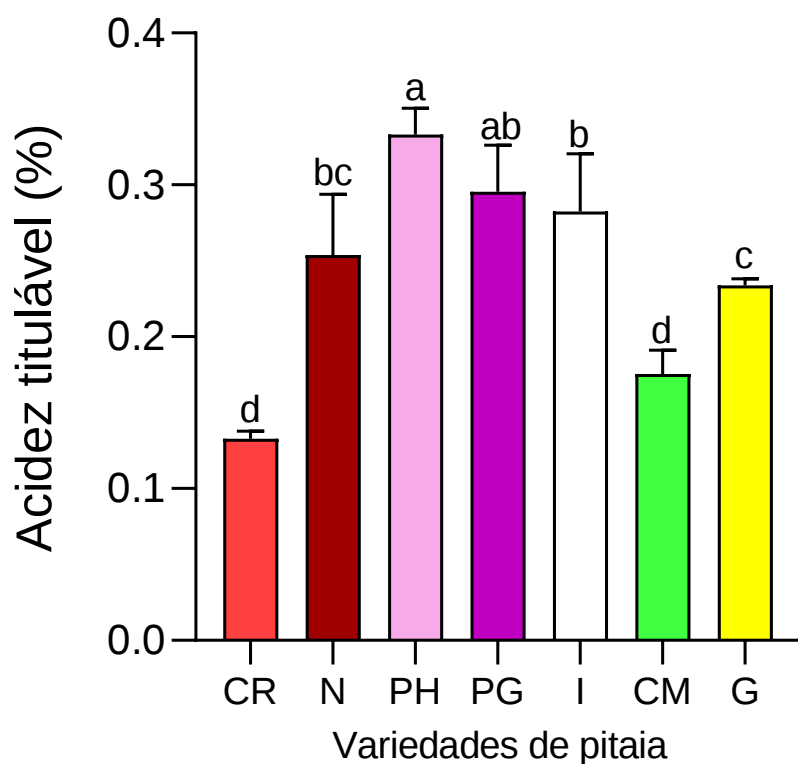
Figura 4. Sólidos solúveis (°Brix) da polpa dos frutos de pitaia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)



Letras acima das barras diferem significativamente as variedades pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Para a acidez titulável (AT), houve diferença significativa entre as variedades (Figura 5). Os frutos com mais AT foram PH, PG, I e N, seguidos de G, CM e CR. De acordo com Mercado-Silva, (2018) e Verona-Ruiz *et al.*, (2020), o sabor presente na polpa da pitaia está relacionado ao valor de AT, que varia entre 2,4 a 3,0% de ácido málico nas variedades agridoces e de 0,62 a 0,5% nas variedades doces. Além disso, em outro estudo foi relatado AT nos frutos de pitaia de polpa branca (0,3) e de pitaia de polpa vermelha (0,25%) (Lata *et al.*, 2023).

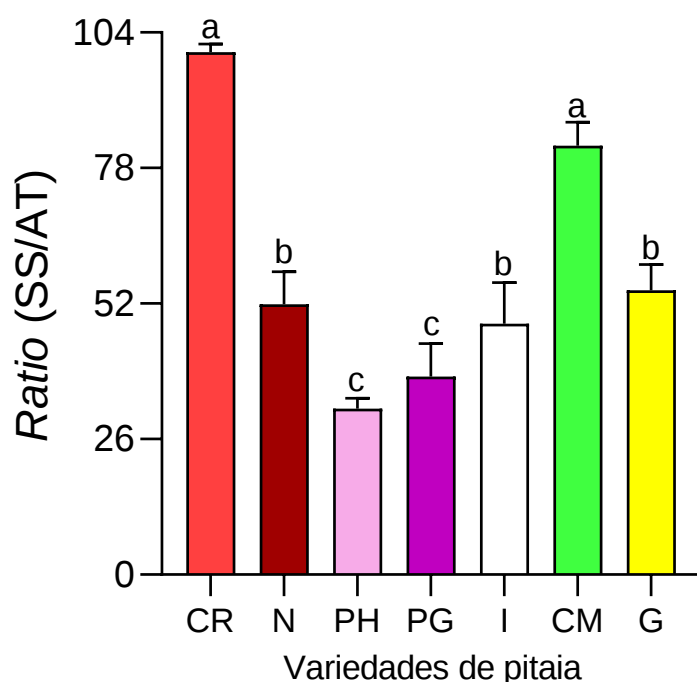
Figura 5. Acidez titulável (% ácido málico) da polpa dos frutos de pitaia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)



Letras acima das barras diferem significativamente as variedades pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Para o índice de maturação, houve diferença significativa entre as variedades (Figura 6). As variedades CR e CM apresentaram os maiores índices de maturação, as variedades N, I e G com intermediárias e PH e PG com os menores valores. O índice de maturação é definido pela razão entre o nível de açúcares, determinando a doçura, e os ácidos orgânicos, determinando a acidez (Dos Santos *et al.*, 2022). Desta forma, como a AT da pitaia é muito baixa, mesmo se os SS não forem tão altos, o índice de maturação resulta em ser alto.

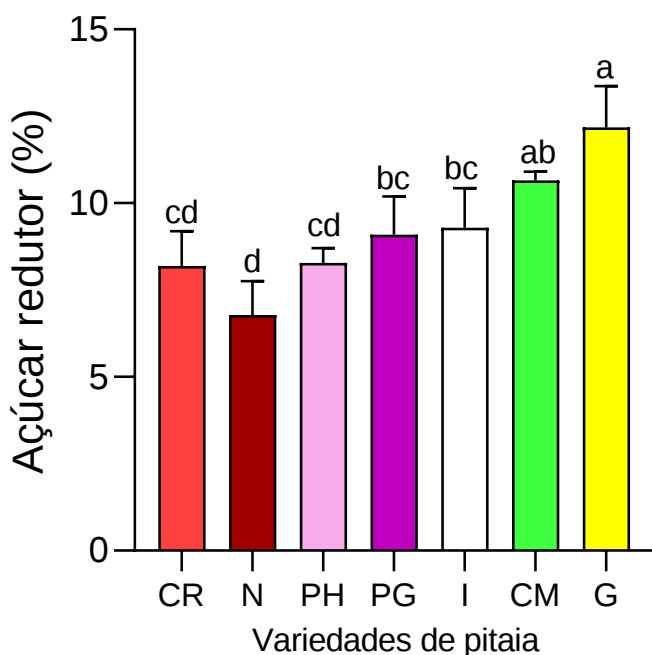
Figura 6. Índice de maturação (ratio SS/AT) da polpa dos frutos de pitaia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)



Letras acima das barras diferem significativamente as variedades pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Houve diferença significativa para o açúcar redutor (%) entre as variedades (Figura 7). A variedade G apresentou teor superior (12,17%), porém não diferiu significativamente de CM, seguidas de I, PG, PH, CR e por último a variedade N (6,78%). Os conteúdos de carboidratos (sacarose, glicose, xilose, frutose, açúcares totais) foram quantificados por (Attar *et al.*, 2022) em frutos de duas espécies de pitaia, *S. monacanthus* ‘Siyam’ de polpa vermelha e *S. undatus* ‘Vietnam Jaina’ de polpa branca), já no presente trabalho foi encontrado apenas os açúcares redutores (glicose e frutose). Eles ainda conseguiram mensurar o teor de açúcar da espécie de polpa vermelha com glicose (7,52%) superior à frutose (3,70%) e xilose (0,03%).

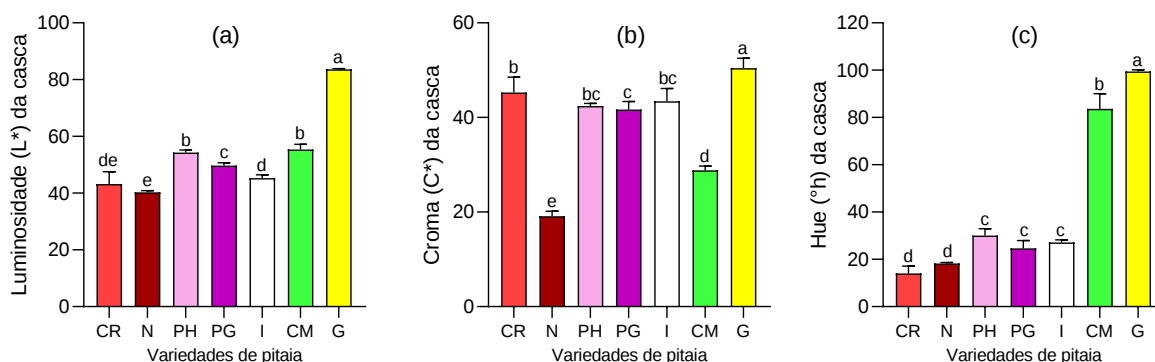
Figura 7. Açúcar redutor (%) da polpa dos frutos de pitaia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)



Letras acima das barras diferem significativamente as variedades pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

A luminosidade (0%= preto e 100%= branco) da casca mostrou que a pitaia G foi a mais clara, seguida de CM e PH (Figura 8a). A menor luminosidade, das variedades CR, N e I, certamente é devido a cor mais escura da casca desses frutos (Figura 1). A intensidade da cor, verificada através do croma da casca, foi maior na pitaia G, o que demonstra a pureza da cor amarela da casca desta variedade (Figura 8b). Por outro lado, a pitaia N com menor croma, provavelmente tem em conjuntos diferentes tonalidades de vermelho. O ângulo hue (tonalidade 0° vermelho, 90° amarelo, 180° verde e 270° azul) variou do menor valor da pitaia CR (14,06°) com tonalidade vermelha, ao maior valor da pitaia G (99,42°) com tonalidade amarela, seguida de CM (83,65°) com tonalidade próxima a cor laranja (Figura 8c). As variedades PH, PG e I não diferiram significativamente entre si, mantendo o ângulo vermelho alaranjado.

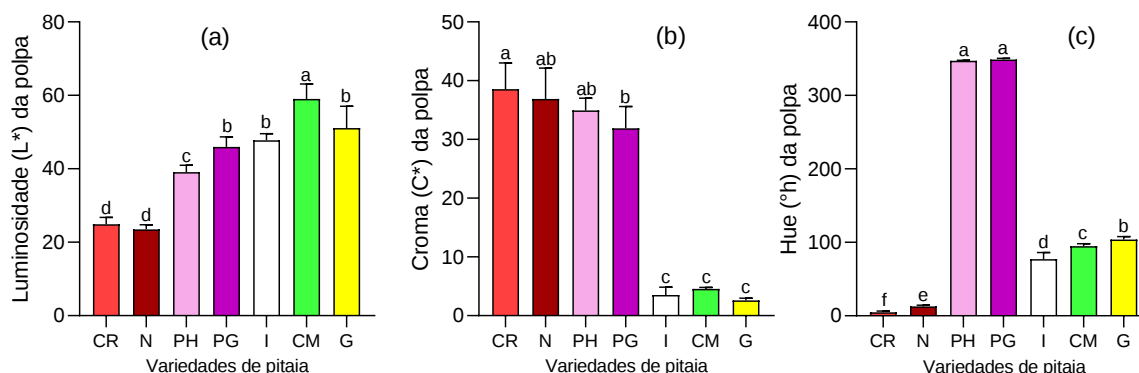
Figura 8. Cor da casca dos frutos de pitáia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)



Letras acima das barras diferem significativamente as variedades pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Para a cor da polpa, houve um acréscimo linear da luminosidade em função das cores da polpa (Figura 9a), de cor vermelha (CR e N), a cor púrpura (PH e PG) e branca (I, CM e G) com maiores luminosidades. Por outro lado, o contrário ocorreu com o croma, devido à tendência de decréscimo linear em função das cores (Figura 9b), com maior intensidade nas variedades de polpa vermelha e menor intensidade na polpa branca. O ângulo hue da polpa (Figura 9c), indicou que a pitáia CR possui cor vermelha escura ($4,75^\circ$), seguida de N com um vermelho menos escuro ($12,87^\circ$). A variedade G possui cor branca com leve tonalidade amarelo esverdeado ($103,95^\circ$), CM com cor branca ($94,83^\circ$), e I com branca com discreta tonalidade amarela ($77,04^\circ$). As variedades PH e PH não diferiram, apresentando tonalidade púrpura avermelhada (348°). Em estudo anterior (Santos *et al.*, 2020), com resultados semelhantes ao presente estudo, foi avaliado a cor da polpa da pitáia de casca e polpa vermelha *S. monacanthus* e relatado luminosidade de 30,97, a^* 18,71 e b^* 8,67, ou seja, vermelho alaranjado.

Figura 9. Cor da polpa dos frutos de pitiaia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)

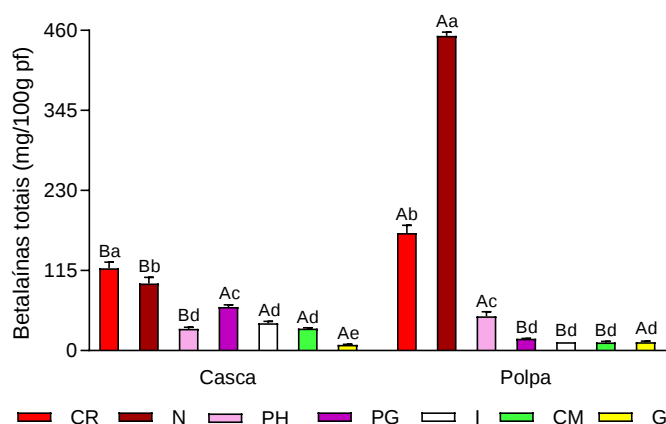


Letras acima das barras diferem significativamente as variedades pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

2.3.2 Análises bioquímicas

As pitaias de casca e polpa vermelha (CR e N) apresentaram os maiores teores de betalaínas (Figura 10). A polpa da pitiaia CR e a casca da pitiaia N se destacaram com maiores teores nessas partes dos frutos. Houve maior teor na polpa de CR, N e PH em comparação com a casca, o contrário ocorreu para PG, I e CM com maior teor na casca. Na casca e polpa da variedade G não houve diferença significativa. Na polpa das pitaias de polpa branca (I, CM e G) o teor de betalaínas foi insignificante, corroborando com estudos anteriores (Kiranmai, 2022; LATA *et al.*, 2023). Também corroborando com este estudo (Sen; Baruah, 2023), foi relatado que a quantidade de betacianina na casca da espécie *S. costaricensis* ‘Costa Rica’ ($21,8 \pm 0,95$ mg/100g) foi inferior à da polpa ($28,6 \pm 1,25$ mg/100g).

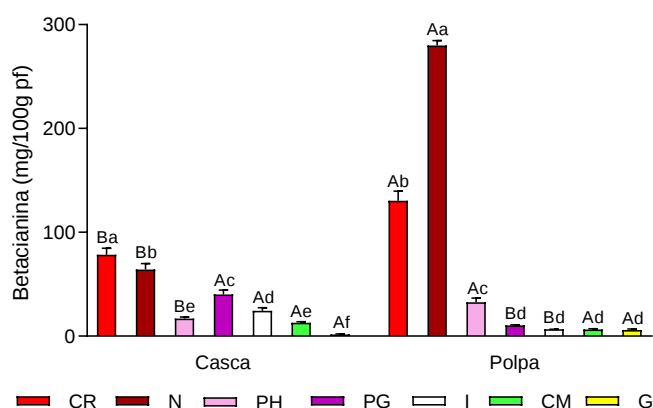
Figura 10. Betalaínas totais da casca e polpa dos frutos de pitaia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)



Letras minúsculas diferem as variedades e letras maiúsculas diferem a casca e polpa de uma única variedade, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Para a betacianina na casca, PH e CM apresentaram os menores teores e não foi detectada na casca da pitaia G (Figura 11). Para a variedade CM não houve diferença significativa entre casca e polpa. (Ramli *et al.*, 2014) relatou maior teor de betacianina na polpa (82,79 mg/100g ps) em comparação com a casca (18,67) da pitaia de casca e polpa vermelha.

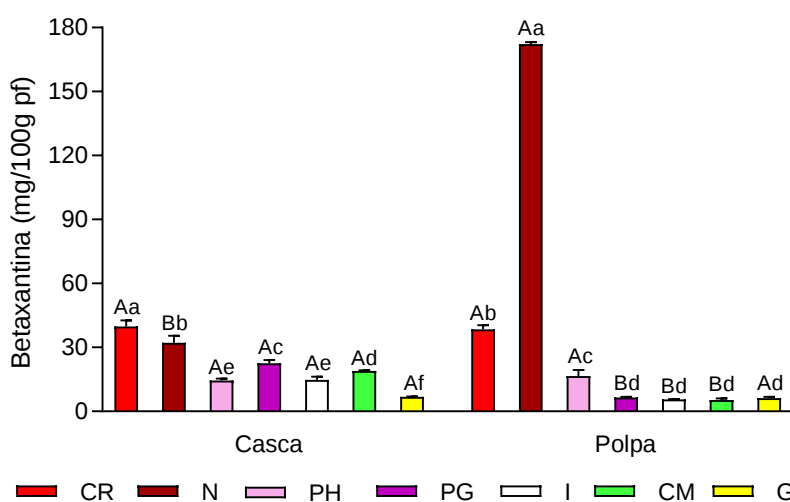
Figura 11. Betacianina da casca e polpa dos frutos de pitaia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)



Letras minúsculas diferem as variedades e letras maiúsculas diferem a casca e polpa de uma única variedade, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Diferentemente da betacianina, para betaxantina não houve diferença significativa entre casca e polpa nas variedades CR e PH (Figura 12). Houve maior teor na casca de CM em comparação com a polpa. Houve maiores teores de betaxantinas na casca de CM (19,01) e G (6,84), em comparação com betacianinas (CM: 12,77 e G: não detectada).

Figura 12. Betaxantina da casca e polpa dos frutos de pitáia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)

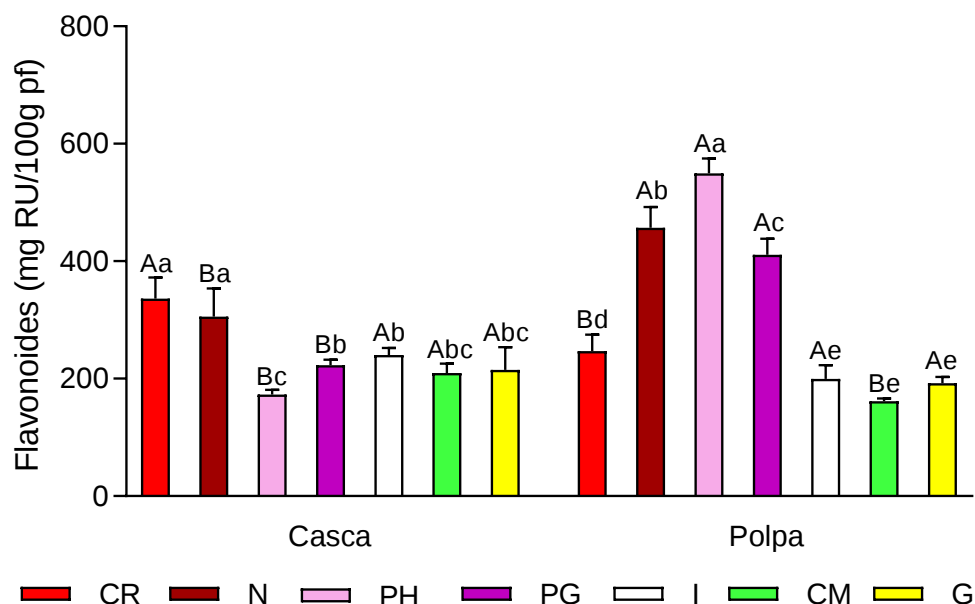


Letras minúsculas diferem as variedades e letras maiúsculas diferem a casca e polpa de uma única variedade, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Para os flavonoides (Figura 13), houve maior teor na casca dos frutos das variedades de polpa vermelha (CR e N), seguidas de I, PG, CM e G, e PH com menor teor. A variedade CR apresentou o dobro de teor na casca que a variedade PH, porém na polpa ocorreu o inverso, com a variedade PH contendo o dobro que CR. As variedades de polpa branca (I, CM e G) apresentaram os menores teores de flavonoides na polpa, com média de 184, e não diferiram entre si. Na comparação entre polpa e casca, houve maior teor na casca para CR e CM, maior teor na polpa em N, PH e PG, e para I e G não houve diferença. (Ramli *et al.*, 2014) relatou maior teor de flavonoides na polpa (510,69 mgRU/100g ps) em comparação com a casca (145,88) da pitáia de casca e polpa vermelha. Compostos orgânicos de estruturas de flavonoides e compostos fenólicos ligados aos carboidratos como o ácido elágico 4-

arabinosídeo, quercetina-3-glucosídeo são encontrados em pitáia de casca e polpa vermelha *S. monacanthus* (Macias-Ceja *et al.*, 2016).

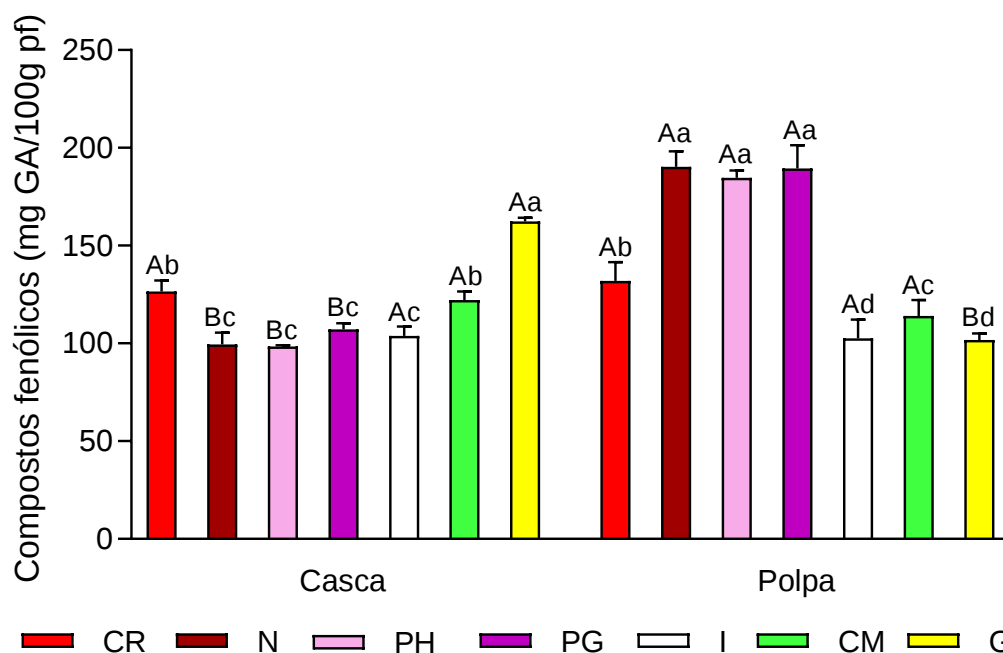
Figura 13. Flavonoides da casca e polpa dos frutos de pitáia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)



Letras minúsculas diferem as variedades e letras maiúsculas diferem a casca e polpa de uma única variedade, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Houve maior teor de compostos fenólicos na polpa das pitaias N, PH e PG em comparação com a casca, em contrapartida, na pitáia G houve maior teor na casca (Figura 14). Para as pitaias CR, I e CM não houve diferença entre casca e polpa. Segundo Jiang *et al.*, (2021), a casca da pitáia apresenta maior teor de compostos fenólicos que a polpa, porém pode variar dependendo da diversidade das espécies. (Lata *et al.*, 2023) encontrou que os compostos fenólicos foram duas vezes maiores nos frutos de polpa vermelha *S. monacanthus* (102,59 mg/100 g) em comparação aos de polpa branca *S. undatus* (50,63 mg/100 g), corroborando com o presente estudo para a polpa dos frutos, com exceção da pitáia CR.

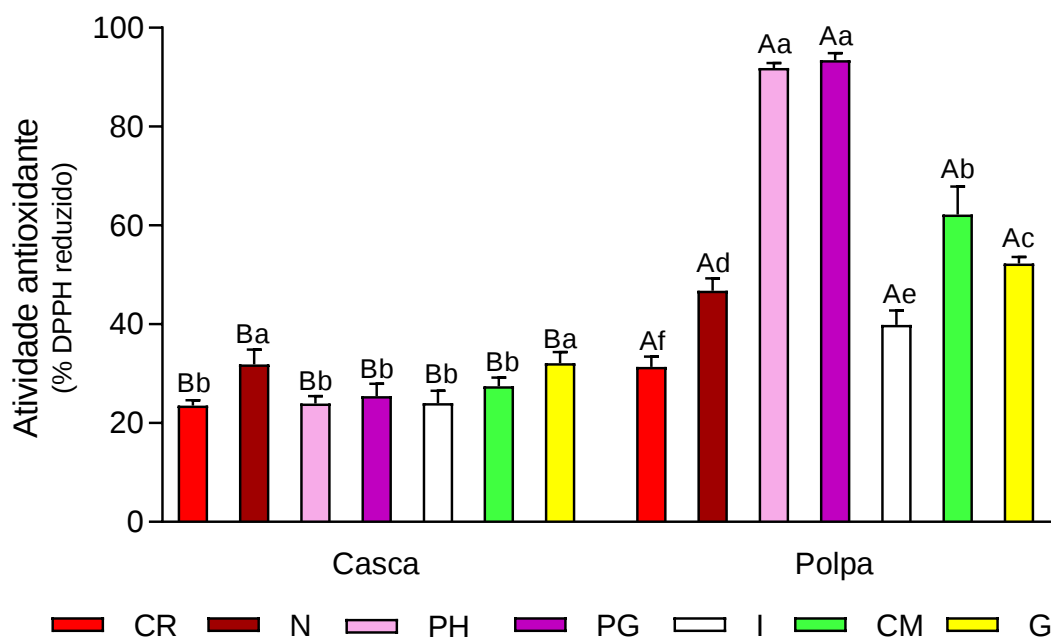
Figura 14. Compostos fenólicos da casca e polpa dos frutos de pitiaia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)



Letras minúsculas diferem as variedades e letras maiúsculas diferem a casca e polpa de uma única variedade, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Houve maior atividade antioxidante pelo método DPPH na casca das pitaias N e G, seguida das demais variedades (Figura 15). Na polpa houve mais variações, com maior atividade nas variedades PH e PG, que não diferiram mutuamente, seguidas de CM, G, N, I e CR em ordem decrescente, todas diferentes entre si. Na comparação entre polpa e casca, houve maior atividade na polpa para todas as variedades, corroborando com (Vizzotto *et al.*, 2016), por relatar que atividade antioxidante da polpa apresentou valores superiores à casca independente da espécie analisada, pitiaia de casca vermelha e polpa branca e pitiaia de casca e polpa vermelha. Dentre os compostos que possuem atividade antioxidante e poder redutor estão os ácidos orgânicos, como os fenólicos, de forma que a avaliação da atividade antioxidante das frutas pode ser influenciada pelos efeitos sinérgicos ou antagônicos destes compostos (Tomas *et al.*, 2023).

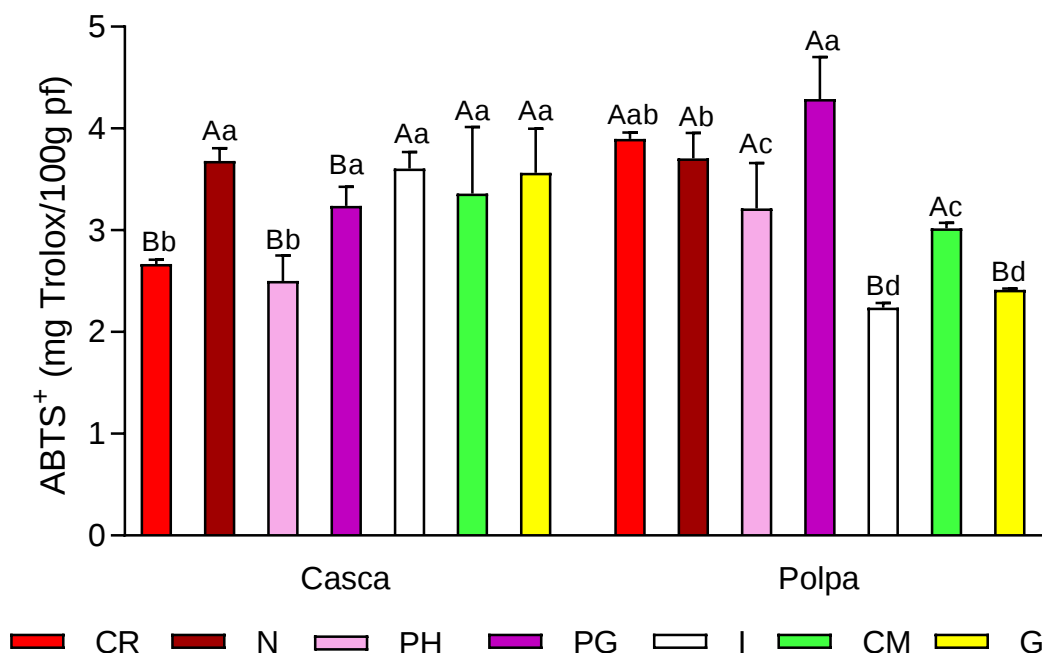
Figura 15. Atividade antioxidante pelo método DPPH da casca e polpa dos frutos de pitaia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)



Letras minúsculas diferem as variedades e letras maiúsculas diferem a casca e polpa de uma única variedade, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Para a atividade de eliminação de radicais ABTS⁺ (2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)), houve maior teor na casca das variedades N, PG, I, CM e G, seguidas de CR e PH (Figura 16). Na polpa, houve maior teor na variedade PG, CR e N, seguidas de PH e CM, e I e G com menores teores. Ao comparar casca e polpa, I e G mostraram maior teor na casca, CR, PH e PG maior teor na polpa e para N e CM não houve diferença.

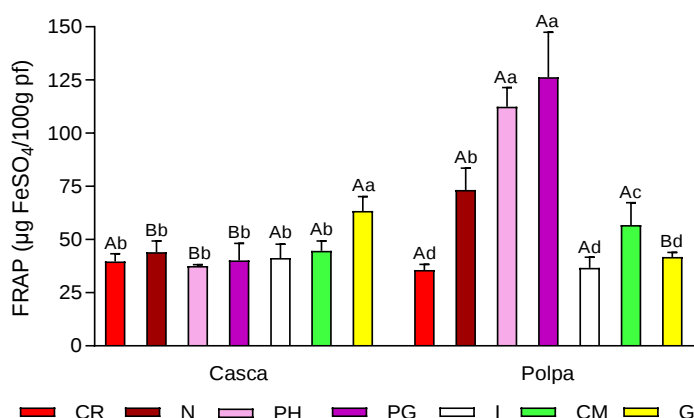
Figura 16. Atividade de eliminação de radicais ABTS⁺ da casca e polpa dos frutos de pitiaia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)



Letras minúsculas diferem as variedades e letras maiúsculas diferem a casca e polpa de uma única variedade, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

Para a casca dos frutos das variedades, a pitiaia G apresentou a maior FRAP (capacidade de redução férrica do plasma), e as demais variedades não diferiram uma a outra (Figura 17). Em relação a polpa, as variedades de cor púrpura apresentaram valores superiores, seguidas de N, posteriormente CM e por último CR, I e G, não diferindo mutuamente. Ao comparar a casca e polpa, para G houve maior FRAP na casca, N, PH e PG superior na polpa e para CR, I e CM não houve diferença. Semelhante ao presente estudo (Ramli *et al.*, 2014), relatou maior FRAP e maior atividade de eliminação de radicais ABTS⁺ (609,17 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$ peso seco; 5,73% respectivamente) na polpa da pitiaia de casca e polpa vermelha em comparação com a casca (200,83; 3,04% respectivamente).

Figura 17. FRAP (capacidade de redução férrica do plasma) da casca e polpa dos frutos de pitáia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)



Letras minúsculas diferem as variedades e letras maiúsculas diferem a casca e polpa de uma única variedade, pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

A análise de componentes principais (PCA) de onze parâmetros avaliados na casca dos frutos de pitáia de sete variedades, permitiu a observação geral dos dados em menor dimensão, agrupados de acordo com as variedades e os parâmetros em diferentes quadrantes (Figura 18). A variabilidade foi explicada por três componentes principais (PC) $p \leq 0,01$, mas apenas dois foram considerados suficientes e importantes por apresentarem maiores autovalores $\geq 2,0$. Esses dois PCs significativos (PC1 e PC2) acumularam 78,47% da variação total.

Figura 18. Análise de componentes principais das onze análises bioquímicas e cor da casca dos frutos de pitaia de sete variedades

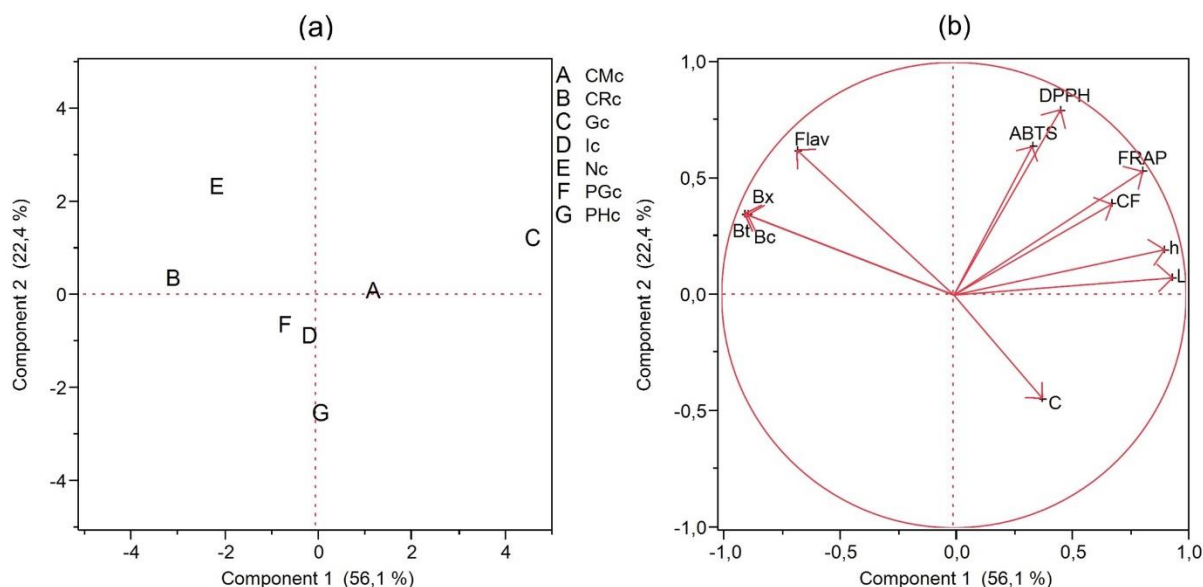


Gráfico de pontuação (a): ‘Costa Rica’ (B CRc), ‘Nicarágua’ (E Nc), ‘Purple Haze’ (G PHc), ‘Physical Graffiti’ (F PGc), ‘Imperial’ (D Ic), ‘Connie Mayer’ (A CMc) e ‘Golden de Israel’ (C Gc)

Gráfico da matriz de carga (b): L (luminosidade), C (croma), h (°hue), Bt (Betalaínas), Bc (Betacianina), Bx (Betaxantina), Flav (Flavonóides), CF (compostos fenólicos), DPPH (atividade antioxidante), ABTS (atividade de eliminação de radicais), FRAP (capacidade de redução)

O PC1 foi responsável por 56,1% da variação total, sendo eficaz para separar principalmente as variedades de casca e polpa vermelha CR (B) e N (E) nos escores negativos, das variedades CM (A) e Golden (C) nos escores positivos (Figura 18a). As variedades I (D), PG (F) e PH (G) apareceram em escore neutro, com efeito discreto. A análise das cargas de PC1 (Figura 18b) sugere que esta separação se deve principalmente às análises de FRAP, CF, °h e L que estão representando as cargas positivas mais fortes ($\geq 0,6$), em que a variedade Golden (C) se destacou. E às análises Flav, Bt, Bc e Bx com fortes cargas negativas na PCA ($\leq -0,6$), em que as variedades CR (B) e N (E) se destacaram. As cargas do PC1 apresentaram-se de forma mais discreta para as análises DPPH e ABTS, que se correlacionaram positivamente, e C (croma).

O PC2 representou 22,4% da variação total. E no gráfico de pontuação (Figura 18a) foi importante principalmente para separar as variedades N (E) e Golden (C), uma vez que para essas houve pontuações positivas em comparação às demais. As

variedades CM (A) e CR (B) apareceram em escore neutro, como também I (D) e PG (F). A pitaia PH (G), apresentou pontuação negativa. Portanto, a análise de componentes principais foi eficiente na confirmação dos resultados aqui apresentados.

A diferença na capacidade antioxidante entre as variedades de pitaia geralmente é atribuída ao conteúdo de betalaínas, flavonoides e compostos fenólicos (García-Cruz *et al.*, 2017). Semelhante ao presente estudo (Esquivel *et al.*, 2007) aplicaram o ensaio de capacidade antioxidante juntamente com a determinação espectrofotométrica de betalaínas para investigar a capacidade antioxidante de cinco variedades de pitaia ('Lisa', 'Rosa', 'San Ignacio', 'Orejona' e 'Nacional'), e constatou-se que 'Lisa' possui a maior capacidade antioxidante, devido ao seu alto teor de compostos fenólicos e betalaínas (Huang; Zhao, 2023).

A análise de componentes principais (PCA) de dezessete parâmetros físico-químicas, bioquímicas e cor da polpa dos frutos de pitaia de sete variedades, permitiu a observação geral dos dados em menor dimensão, agrupados de acordo com as variedades e as análises em diferentes quadrantes (Figura 19). A variabilidade foi explicada por seis componentes principais (PC) que acumularam 100% da variação total, mas apenas dois foram considerados suficientes e importantes por apresentarem maiores autovalores $\geq 6,0$. Esses dois PCs significativos (PC1 e PC2) acumularam 78,36% da variação total.

Figura 19. Análise de componentes principais das dezessete análises físico-químicas, bioquímicas e cor da polpa dos frutos de pitaia de sete variedades

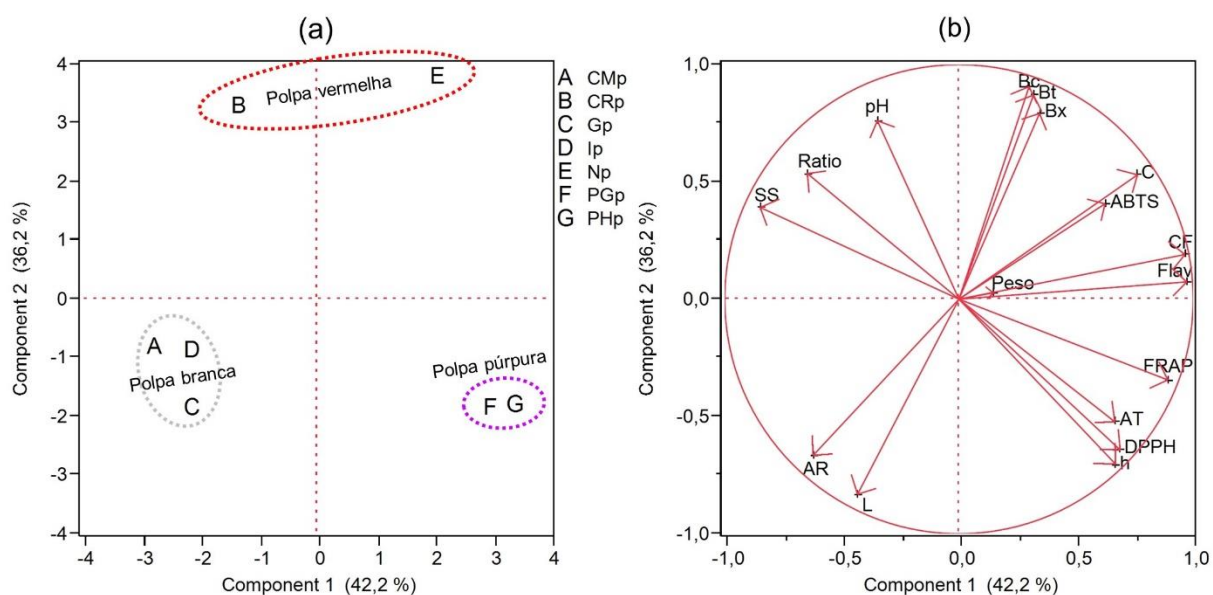


Gráfico de pontuação (a): ‘Costa Rica’ (B CRp), ‘Nicarágua’ (E Np), ‘Purple Haze’ (G PHp), ‘Physical Graffiti’ (F PGp), ‘Imperial’ (D Ip), ‘Connie Mayer’ (A CMp) e ‘Golden de Israel’ (C Gp)

Gráfico da matriz de carga (b): Peso (peso dos frutos), pH (potencial hidrogeniônico), SS (sólidos solúveis), AT (acidez titulável), Ratio (índice de maturação), AR (açúcar redutor), L (luminosidade), C (croma), h (°hue), Bt (Betalaínas), Bc (Betacianina), Bx (Betaxantina), Flav (Flavonóides), CF (compostos fenólicos), DPPH (atividade antioxidante), ABTS (atividade de eliminação de radicais), FRAP (capacidade de redução)

O PC1 foi responsável por 42,2% da variação total, sendo eficaz para separar principalmente as variedades de polpa branca CM (A), I (D) e Golden (C) nos escores negativos, das variedades de polpa púrpura PG (F) e PH (G) nos escores positivos (Figura 19a). A análise das cargas de PC1 (Figura 19b) sugere claramente que esta separação das variedades se deve principalmente ao conjunto das análises da cor da polpa (L, C e °h), às análises de AR e L em que as variedades de polpa branca se destacaram com maiores valores, à FRAP, AT, DPPH e °h em que as variedades de polpa púrpura se destacaram com maiores valores e às análises ratio, pH, Bt, Bc e Bx em que as variedades de polpa vermelha se destacaram com maiores valores. A carga dos PCs apresentou-se de forma mais discreta para o peso dos frutos devido à curta linha do vetor. Além disso, as análises Flav, CF e ABTS se correlacionaram

positivamente. A presença destes fenólicos e flavonoides conferem as propriedades antioxidantes e nutracêuticas dos frutos de pitaia (Sen; Baruah, 2023).

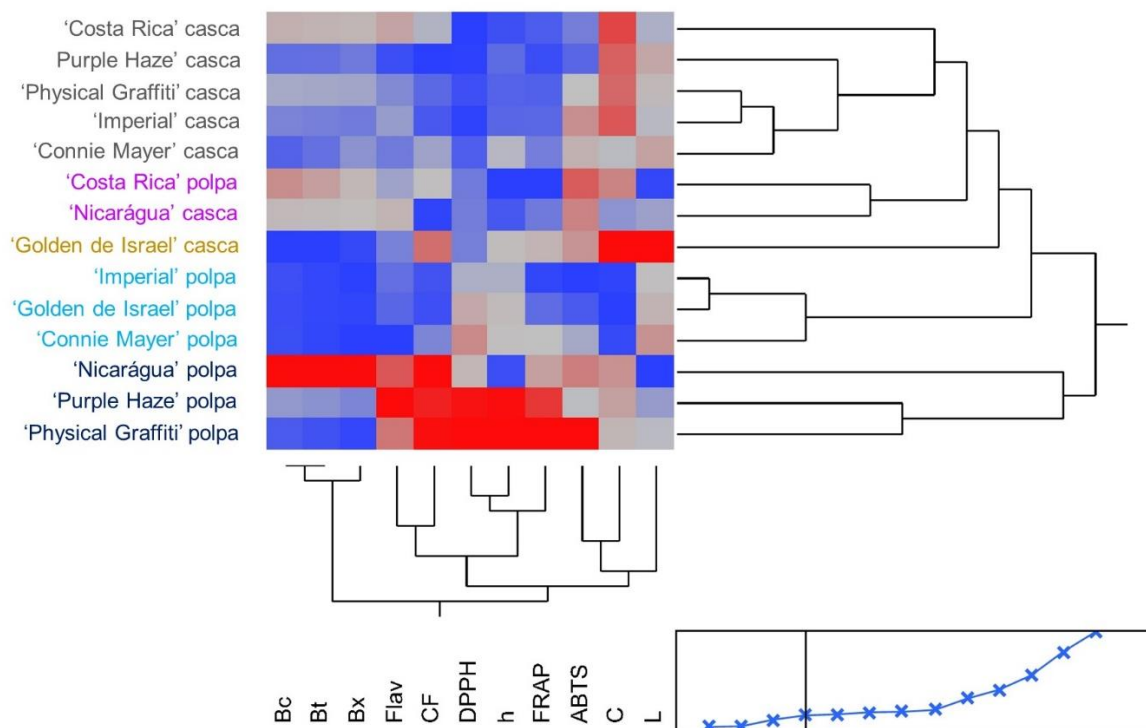
O PC2 representou 36,2% da variação total. E no gráfico de pontuação (Figura 19a) foi importante principalmente para separar as variedades de polpa vermelha CR (B) e N (E), uma vez que para essas houve pontuações positivas em comparação às demais, CM (A), Golden (C), I (D), PG (F) e PH (G) com pontuações negativas. Portanto, a análise de componentes principais foi eficiente na confirmação dos resultados aqui apresentados.

A análise de agrupamento hierárquico do perfil bioquímico e da cor da casca e polpa dos frutos de sete variedades de pitaia mostrou que houve heterogeneidade entre as variedades (Figura 20). Isto pode refletir uma semelhança/diferença em relação a bioquímica e cor subjacente geral entre os vários frutos da pitaia, considerando casca e polpa separadamente. O coeficiente de correlação cofenética do dendrograma revelou elevado ajuste entre a representação gráfica dos agrupamentos entre a casca e polpa das variedades e a matriz de distância da caracterização, o que justifica que sejam realizadas inferências por meio da avaliação visual da Figura 20, dividida em seis grupos.

O grupo 1 reuniu as cascas das variedades 'Costa Rica', 'Purple Haze', 'Physical Graffiti', 'Imperial' e 'Connie Mayer', devido a essas variedades apresentarem menores valores de atividade antioxidante (DPPH), FRAP, °hue (com exceção da 'Connie Mayer') e maiores valores de croma (com exceção da 'Connie Mayer' que foi menos significativa no grupo). O grupo 2 foi composto por 'Costa Rica' polpa e 'Nicarágua' casca, por apresentarem os mesmos valores de atividade antioxidante pelo método DPPH (31%) e ABTS 3,7 e 3,9, respectivamente. O grupo 3 foi formado apenas pela casca da variedade 'Golden de Israel', por possuir a casca com menor teor de betalaínas, betacianinas e betaxantinas, maior teor de compostos fenólicos, croma e luminosidade. O grupo 4 reuniu a polpa de 'Imperial', 'Golden de Israel' e 'Connie Mayer', devido aos menores teores de betalaínas, betacianinas, betaxantinas, flavonoides, compostos fenólicos e croma. O grupo 5 apenas a polpa da pitaia 'Nicarágua', com maior teor betalaínas, betacianinas, betaxantinas e compostos fenólicos, e menor teor de °hue e luminosidade. E o grupo 6 formado pelas polpas de 'Purple Haze' e 'Physical Graffiti', com menores teores de betalaínas, betacianinas e betaxantinas, e maiores teores de flavonoides, compostos fenólicos,

atividade antioxidante pelo método DPPH, °hue e FRAP, além de 'Physical Graffiti' se destacar com maior ABTS.

Figura 20. Análise de agrupamento hierárquico bidirecional (Two-way) das onze análises bioquímicas e cor da casca e polpa dos frutos de pitaia de sete variedades, gerados pelo método Ward



Análises realizadas: L (luminosidade), C (croma), h (°hue), Bt (Betalaínas), Bc (Betacianina), Bx (Betaxantina), Flav (Flavonóides), CF (compostos fenólicos), DPPH (atividade antioxidante), ABTS (atividade de eliminação de radicais), FRAP (capacidade de redução). A cor azul representa menores valores das análises e vermelho maiores valores.

Semelhante ao que ocorreu neste estudo para a casca da variedade 'Golden de Israel' (casca amarela), (Paško *et al.*, 2021) relatou que a pitaia de casca amarela *S. megalanthus* agrupou individualmente no dendrograma, e que isso foi relacionado à cor amarela da casca, característica que a distingue do restante dos frutos, além de destacar a alta atividade citotóxica desta espécie.

2.3.3 Teor de nutrientes

Houve maior teor dos macronutrientes P, S, N na polpa, e na casca maior teor de Mg, Ca, K para todas as variedades (Tabela 2). A casca das pitaias PH e PG se destacaram com maior teor de K, não diferindo mutuamente, e em relação a polpa houve maior semelhança entre as variedades, embora a pitia PH tenha apresentado teor de K superior que as variedades CR, I e G.

Tabela 2 – Macronutrientes vegetais da casca e polpa das variedades de pitia

	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
	Casca					
CR c	8,0±0,48 Bb	2,9±0,23 Bab	60,0±4,20 Abc	9,0±0,81 Ab	4,9±0,25 Ac	0,9±0,05 Bbc
N c	9,0±0,27 Bb	2,7±0,16 Bb	59,1±2,36 Abc	9,1±0,45 Ab	4,8±0,14 Acd	1,0±0,06 Bb
PH c	6,3±0,35 Bc	2,2±0,12 Bc	73,6±4,05 Aa	8,3±0,27 Ac	5,3±0,29 Ab	0,9±0,04 Bc
PG c	10,2±0,62 Ba	3,1±0,19 Ba	76,2±4,57 Aa	10,1±0,30 Aa	7,1±0,43 Aa	1,0±0,02 Bb
I c	8,0±0,24 Bb	2,8±0,08 Bb	61,1±2,44 Ab	8,0±0,24 Ac	4,7±0,24 Acd	1,2±0,04 Ba
CM c	10,4±0,21 Ba	2,8±0,06 Bb	56,5±1,13 Ac	10,1±0,51 Aa	4,5±0,09 Ade	1,3±0,05 Ba
G c	10,3±0,31 Ba	2,1±0,06 Bc	50,5±2,53 Ad	8,0±0,24 Ac	4,2±0,29 Ae	1,2±0,04 Ba
	Polpa					
CR p	20,1±0,80 Ad	3,3±0,13 Ac	20,1±1,20 Bcd	2,0±0,08 Bab	2,7±0,14 Bde	1,8±0,07 Abc
N p	22,2±1,32 Ab	3,0±0,18 Ad	25,0±1,13 Bab	2,1±0,12 Bab	3,0±0,21 Bcd	1,9±0,10 Ab
PH p	21,8±0,96 Abc	4,1±0,18 Aa	27,2±1,50 Ba	1,8±0,08 Bab	3,7±0,13 Ba	1,9±0,08 Ab
PG p	24,6±0,99 Aa	3,9±0,16 Aa	24,2±0,97 Bab	1,8±0,07 Bab	3,5±0,07 Bab	2,1±0,08 Aa
I p	21,0±1,26 Abcd	3,2±0,19 Acd	21,0±0,42 Bbcd	2,1±0,12 Bab	3,2±0,10 Bbc	1,7±0,10 Acd
CM p	21,1±1,26 Abcd	3,6±0,11 Ab	23,5±1,41 Babc	2,3±0,05 Ba	2,9±0,17 Bcd	1,7±0,10 Ac
G p	20,4±0,82 Acd	3,3±0,07 Ac	19,4±0,78 Bd	1,7±0,07 Bb	2,5±0,18 Be	1,6±0,06 Ad

Letras maiúsculas diferem as partes do fruto (casca e polpa) de uma única variedade, e letras minúsculas diferem as variedades em uma única parte do fruto (casca ou polpa), pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). 'Costa Rica' (CR c), 'Nicarágua' (N c), 'Purple Haze' (PH c), 'Physical Graffiti' (PG c), 'Imperial' (I c), 'Connie Mayer' (CM c) e 'Golden de Israel' (G c); 'Costa Rica' (CR p), 'Nicarágua' (N p), 'Purple Haze' (PH p), 'Physical Graffiti' (PG p), 'Imperial' (I p), 'Connie Mayer' (CM p) e 'Golden de Israel' (G p).

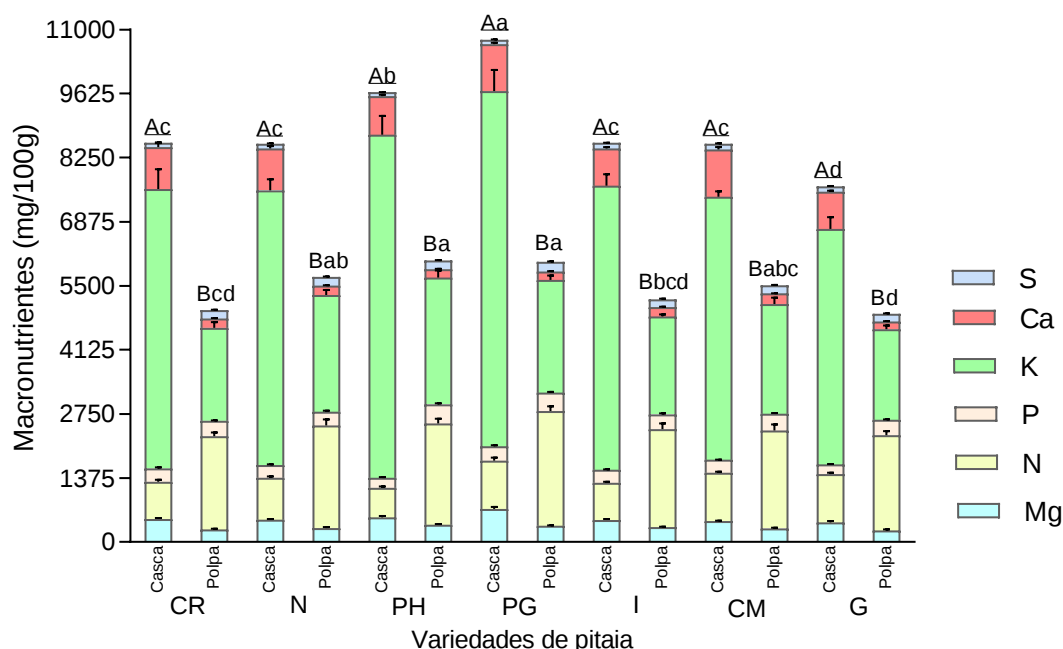
Em estudo anterior com caracterização do corante vermelho-púrpura microfiltrado da pitia *S. monacanthus* (Lima *et al.*, 2020), os minerais encontrados foram potássio (14,31 g kg⁻¹), fósforo (1,02 g kg⁻¹), cálcio (0,10 g kg⁻¹), magnésio (1,48 g kg⁻¹), sódio (0,22 g kg⁻¹), cobre (3 mg kg⁻¹), ferro (10 mg kg⁻¹), zinco (8 mg kg⁻¹) e manganês (6 mg kg⁻¹). Dentre esses minerais, o potássio esteve presente em maior concentração. Importante para a saúde humana, este mineral reduz a pressão arterial e os riscos de doenças cardiovasculares, acidente vascular cerebral e doenças

coronárias em adultos (Aburto *et al.*, 2013). A Organização Mundial da Saúde (Who, 2012) recomenda a ingestão de potássio de pelo menos 3,51 g/dia para adultos. Mesmo que a concentração de potássio seja elevada em algumas variedades, ultrapassando esta recomendação, os frutos são consumidos ou utilizados em alimentos em pequenas concentrações, portanto tem pouco impacto na qualidade mineral do subproduto ao qual é utilizado.

Dentre os macronutrientes, o potássio é o mineral com maior abundância (Figura 21, Tabela 2), corroborando com (Khalili *et al.*, 2006) por relatar 56,96 mg/100g de potássio na pitia de casca e polpa vermelha *Selenicereus* sp.. Ainda esses autores, encontraram significativamente maior conteúdo mineral (mg/100g) na pitia em comparação com goiaba, mamão e abacaxi, nos teores de fósforo (23,0), magnésio (28,30), potássio (56,96), ferro (3,40) e zinco (13,87). Isso demonstra a importância nutricional dos frutos de pitia. Cálcio, fósforo e magnésio são macronutrientes com ingestões diárias de >100 mg recomendadas para adultos (Chitturi *et al.*, 2015), quantidade que pode ser atingida com o consumo de pequenas porções dos frutos ou subprodutos de pitia. Semelhante ao presente estudo, em relato anterior com caracterização nutricional da polpa da romã ‘Comum’ (Dos Santos *et al.*, 2022), o teor da composição mineral apontou que entre os macronutrientes o potássio (K) e o nitrogênio (N) foram mais abundantes, já para os micronutrientes, o ferro (Fe) foi o mais abundante. O maior teor de ferro na polpa da pitia Imperial (*S. setaceus*) corrobora com (Tomas *et al.*, 2023), por realizar a caracterização nutricional da casca e polpa da pitia *S. setaceus*. Devido ao teor de minerais (principalmente o ferro), às betalainas, ácidos orgânicos e tocoferóis, trabalhos anteriores relatam que o extrato da pitia tem propriedades anti-hemolítica, antianêmica com aumento da hemoglobina e nível dos eritrócitos, antibacterianos, e sem hepatotoxicidade (Rahmawati *et al.*, 2019; Roriz *et al.*, 2022; Widyaningsih *et al.*, 2017).

Trabalhos agrônômicos com caracterização de pitias mostram que a exportação de nutrientes e produtividade das espécies *S. undatus* e *S. monacanthus*, a partir da determinação dos teores de nutrientes e da matéria seca da polpa, ocorre na seguinte ordem: K>N>P>Ca>Mg> e Mn>Fe>Cu>Zn>B (Rabelo *et al.*, 2020). Portanto, o potássio (K) é o nutriente mais exportado e influência na produtividade e qualidade dos frutos. Pomares de pitia que atingem alta produtividade necessitam de maior quantidade de nutrientes, devido ao aumento da exportação pelos frutos (Fernandes *et al.*, 2018).

Figura 21. Soma dos macronutrientes (Mg, N, P, K, Ca, e S) da casca e polpa dos frutos de pitaia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)



Houve maior teor de B e Mn na casca de todas as variedades em comparação com a polpa, por outro lado houve maior teor de Fe na polpa (Tabela 3). Para Cu e Zn houve variações entre polpa e casca das variedades.

Tabela 3 – Micronutrientes vegetais da casca e polpa das variedades de pitaia

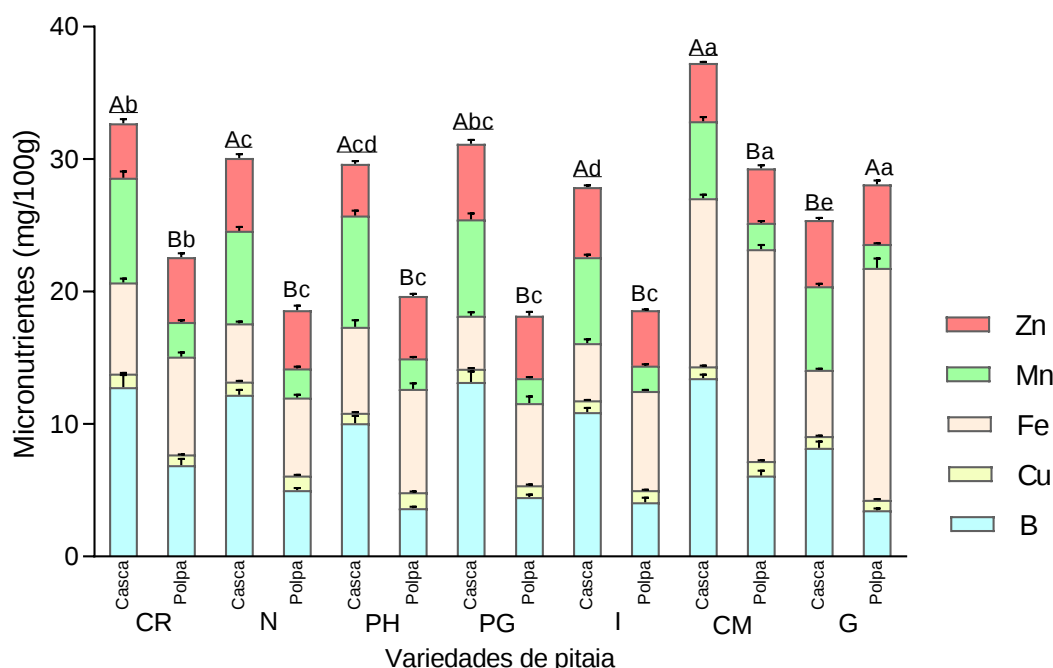
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg kg ⁻¹ -----					
Casca					
CR c	128,0±8,96 Aab	10,0±0,60 Aa	69,0±2,76 Ab	79,0±4,74 Ab	41,0±3,28 Bcd
N c	122,0±3,66 Ab	10,0±0,70 Ba	44,0±1,32 Bd	70,0±2,80 Ac	55,0±2,75 Aa
PH c	100,5±5,53 Ad	8,0±0,44 Bc	65,0±5,01 Bb	84,0±3,70 Aa	39,0±2,15 Bd
PG c	131,7±7,90 Aa	10,0±0,60 Aa	40,0±2,80 Bd	73,0±4,38 Ac	57,0±2,85 Aa
I c	109,1±3,27 Ac	9,0±0,27 Ab	43,0±3,01 Bd	65,0±1,95 Ad	53,0±1,06 Aab
CM c	134,6±2,69 Aa	9,0±0,45 Bb	127,0±2,54 Ba	58,0±3,19 Ae	44,0±0,88 Ac
G c	82,0±4,92 Ae	9,0±0,27 Ab	50,0±0,75 Bc	63,0±1,89 Ad	50,0±1,50 Bb
Polpa					
CR p	68,9±4,83 Ba	8,0±0,24 Bd	74,0±2,96 Ac	26,0±1,30 Ba	49,0±2,94 Aa
N p	50,1±1,80 Bc	11,0±0,66 Ab	59,0±2,12 Ad	22,0±1,32 Babc	44,0±3,34 Bbc

PH p	36,6±0,88 Be	12,0±0,53 Aa	78,0±4,21 Ac	23,0±1,01 Bab	47,0±1,60 Aab
PG p	44,8±1,79 Bcd	9,0±0,36 Bc	62,0±4,96 Ad	19,0±0,76 Bbc	47,0±2,82 Bab
I p	40,9±3,28 Bde	9,0±0,54 Ac	75,0±0,75 Ac	19,0±1,14 Bbc	42,0±0,42 Bc
CM p	61,0±3,66 Bb	11,0±0,66 Ab	160,0±3,20 Ab	20,0±1,20 Bbc	41,0±2,46 Ac
G p	34,9±1,39 Be	8,0±0,44 Bd	175,0±7,00 Aa	18,0±0,72 Bc	45,0±2,97 Aabc

Letras maiúsculas diferem as partes do fruto (casca e polpa) de uma única variedade, e letras minúsculas diferem as variedades em uma única parte do fruto (casca ou polpa), pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). 'Costa Rica' (CR c), 'Nicarágua' (N c), 'Purple Haze' (PH c), 'Physical Graffiti' (PG c), 'Imperial' (I c), 'Connie Mayer' (CM c) e 'Golden de Israel' (G c); 'Costa Rica' (CR p), 'Nicarágua' (N p), 'Purple Haze' (PH p), 'Physical Graffiti' (PG p), 'Imperial' (I p), 'Connie Mayer' (CM p) e 'Golden de Israel' (G p).

A soma dos micronutrientes em mg contidos em uma porção de 100g da casca ou polpa mostra que o ferro, o boro e o manganês se destacam em comparação aos demais minerais (Figura 22), corroborando com relatos anteriores do teor de minerais da pitáia de casca e polpa vermelha *S. monacanthus* (Cordeiro *et al.*, 2015; Ramli *et al.*, 2014). Ferro, cobre, zinco, iodo e manganês são oligoelementos e sua ingestão diária recomendada é <100 mg (Tarik Attar, 2020).

Figura 22. Soma dos micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) da casca e polpa dos frutos de pitáia das variedades 'Costa Rica' (CR), 'Nicarágua' (N), 'Purple Haze' (PH), 'Physical Graffiti' (PG), 'Imperial' (I), 'Connie Mayer' (CM) e 'Golden de Israel' (G)



A análise de componentes principais (PCA) de onze nutrientes minerais avaliados na casca e polpa dos frutos de pitia de sete variedades, permitiu a observação geral dos dados em menor dimensão, agrupados de acordo com as variedades e os nutrientes em diferentes quadrantes (Figura 23). A variabilidade foi explicada por cinco componentes principais (PC) $p \leq 0,05$, mas apenas dois foram considerados suficientes e importantes por apresentarem autovalores $\geq 1,0$. Esses dois PCs significativos (PC1 e PC2) acumularam 80,21% da variação total.

Figura 23. Análise de componentes principais dos nutrientes minerais (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Zn e Mn) da casca e polpa dos frutos de pitia das variedades ‘Costa Rica’ (CR), ‘Nicarágua’ (N), ‘Purple Haze’ (PH), ‘Physical Graffiti’ (PG), ‘Imperial’ (I), ‘Connie Mayer’ (CM) e ‘Golden de Israel’ (G)

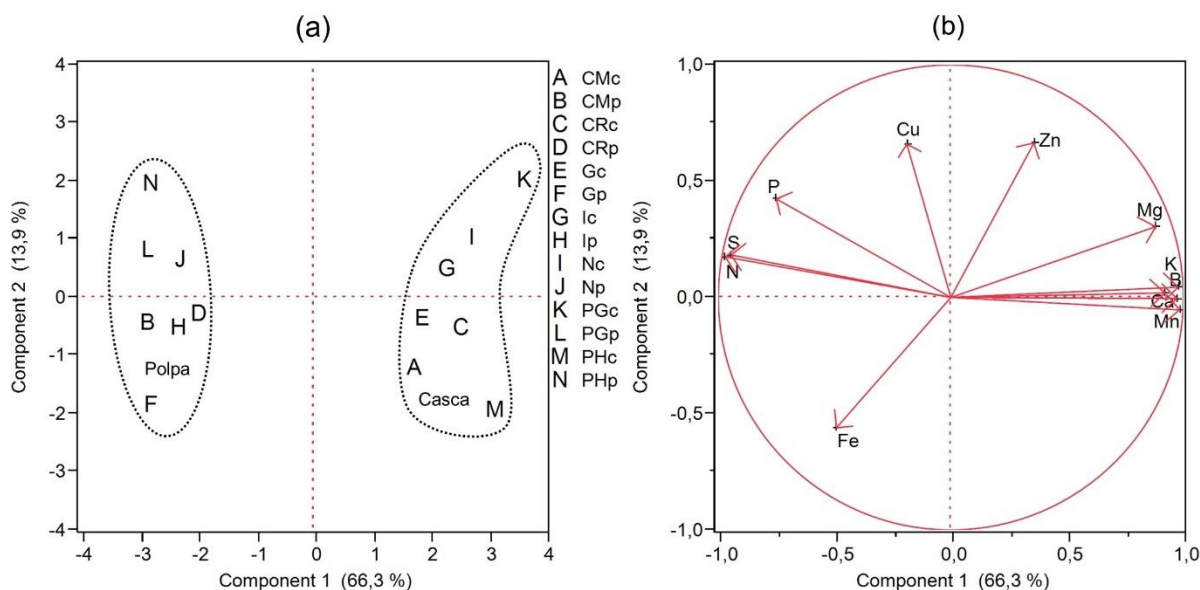


Gráfico de pontuação (a): ‘Connie Mayer’ casca (A CMc), ‘Connie Mayer’ polpa (B CMp) ‘Costa Rica’ casca (C CRc), ‘Costa Rica’ polpa (D CRp), ‘Golden de Israel’ casca (E Gc), ‘Golden de Israel’ polpa (F Gp), ‘Imperial’ casca (G Ic), ‘Imperial’ polpa (H Ip), ‘Nicarágua’ casca (I Nc), ‘Nicarágua’ polpa (J Np), ‘Physical Graffiti’ casca (K PGc), ‘Physical Graffiti’ polpa (L PGp), ‘Purple Haze’ casca (M PHc) e ‘Purple Haze’ polpa (N PHp).

Gráfico da matriz de carga (b): N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Zn e Mn

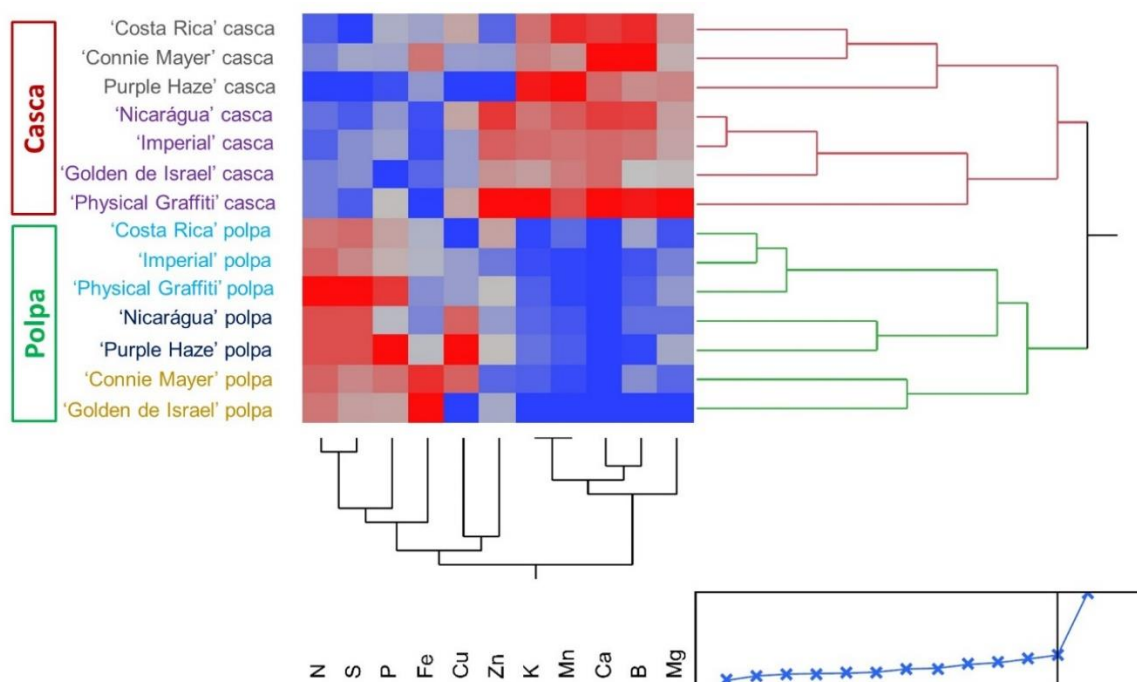
O PC1 foi responsável por 63,3% da variação total, sendo eficaz para separar a polpa nos escores negativos, da casca nos escores positivos, para todas as variedades (Figura 23a). A análise das cargas de PC1 (Figura 23b) sugere que esta separação entre casca e polpa se deve principalmente ao maior teor na polpa dos

macronutrientes P, S, N e do micronutriente Fe, como também devido ao maior teor na casca dos macronutrientes Mg, Ca, K e dos micronutrientes B e Mn. A carga dos PCs apresentou-se de forma menos significativa para o Cu. Além disso, houve correlação negativa entre Zn e Fe.

O PC2 representou 13,9% da variação total, e no gráfico de pontuação (Figura 23a), foi importante principalmente para separar as variedades PG (L), N (J) e PH (N) quanto a polpa e as variedades PG (K), N (I) e I (G) quanto a casca, uma vez que para essas, houve pontuações positivas em comparação às demais quanto a polpa de CM (B), I (H), CR (D) e G (F) e casca de CM (A), CR (C), G (E) e PH (M) com pontuações negativas. Portanto, a análise de componentes principais foi eficiente na confirmação dos resultados aqui apresentados, corroborando com a ANOVA e teste de médias.

A análise de agrupamento hierárquico do perfil nutricional da casca e polpa dos frutos de sete variedades de pitáia indicou que houve dissimilaridade entre as variedades (Figura 24). Assim como na análise de componentes principais (Figura 23), houve claramente a separação entre casca e polpa, porém houve visibilidade da heterogeneidade entre as variedades em uma única parte do fruto (casca ou polpa), que foram identificadas em conjuntos específicos no dendrograma em cinco grupos. O grupo 1 reuniu as cascas das variedades 'Costa Rica', 'Connie Mayer' e 'Purple Haze', devido à ocorrência em comum dos menores teores de N, S e Zn e maiores teores de Mn, Ca e B. O grupo 2 foi composto pelas cascas de 'Nicarágua' 'Physical Graffiti', 'Imperial' e 'Golden de Israel', caracterizados com menores teores de N, S e Fe e maiores teores de Zn, K, Mn, Ca e B. Os demais grupos referem-se a polpa das variedades, o grupo 3 foi formado por 'Costa Rica', 'Physical Graffiti' e 'Imperial', com maiores teores de N, S e P e menores teores de K, Mn, Ca, B e Mg. O grupo 4 reuniu 'Nicarágua' e 'Purple Haze', com maiores teores de N, S e Cu e menores teores de K, Mn, Ca e B. E o grupo 5 'Connie Mayer' e 'Golden de Israel', com maiores teores de N e Fe e menores teores de K, Mn, Ca e Mg. O agrupamento ocorreu devido às semelhanças na composição nutricional das variedades e corroborando com a ANOVA e teste de média.

Figura 24. Agrupamento hierárquico bidirecional (Two-way) dos onze nutrientes minerais da casca e polpa dos frutos de pitaia de sete variedades, gerados pelo método Ward



Nutrientes minerais analisados: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Zn e Mn. A cor azul representa menores valores das análises e vermelho maiores valores.

A diversidade de frutos de pitaia dentro do mesmo gênero ou da mesma espécie, oferece uma boa oportunidade para identificar características físico-químicas, bioquímicas e nutricionais que podem distinguir no nível de açúcares, compostos bioativos e nutrientes. Esses aspectos podem ser importantes na indicação das espécies e variedades que valem a pena cultivar, especialmente enquanto muitos programas agrícolas são direcionados à seleção da melhor pitaia com os mais elevados valores nutricionais e medicinais (Paško *et al.*, 2021).

2.4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados, pode-se concluir que os frutos das variedades de pitaia apresentam características físico-químicas, bioquímicas e nutricionais importantes para o consumo *in natura*, destacando-se pelo alto índice de maturação devido principalmente ao baixo teor de acidez e mediano teor de sólidos solúveis, que proporciona um excelente sabor. Os frutos das variedades de polpa vermelha, Costa

Rica e Nicarágua, possuem maiores teores de betalaínas, enquanto as variedades com polpa de cor púrpura, Purple Haze e Physical Graffiti, possuem maiores teores de compostos fenólicos, flavonoides e maior atividade antioxidante. Tanto a polpa como a casca dos frutos das variedades de pitaiá apresentam excelentes perfis minerais para o consumo humano com valores significativos de potássio e ferro, principalmente nas cascas das pitaias Physical Graffiti, com maior teor de macronutrientes, e Connie Mayer com maior teor de micronutrientes. Assim, a inclusão desses frutos nas dietas alimentares pode contribuir para o aumento da ingestão de minerais e compostos bioativos antioxidantes. A inclusão desses frutos na alimentação pode elevar a ingestão de minerais e compostos antioxidantes. O resíduo do processamento (casca) também apresenta potencial como matéria-prima na extração de compostos funcionais de interesse.

REFERÊNCIAS

- ABURTO, N. J.; HANSON, S.; GUTIERREZ, H.; HOOPER, L.; ELLIOTT, P.; CAPPUCCIO, F. P. Effect of increased potassium intake on cardiovascular risk factors and disease: systematic review and meta-analyses. **BMJ**, [s. l.], v. 346, n. apr03 3, p. f1378–f1378, 2013. Disponível em: <https://www.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bmj.f1378>.
- AL-MEKHLAFI, N. A.; MEDIANI, A.; ISMAIL, N. H.; ABAS, F.; DYMERSKI, T.; LUBINSKA-SZCZYGEŁ, M.; VEARASILP, S.; GORINSTEIN, S. Metabolomic and antioxidant properties of different varieties and origins of Dragon fruit. **Microchemical Journal**, [s. l.], v. 160, n. September 2020, 2021.
- ARAÚJO, C. da S.; CORRÊA, J. L. G.; DEV, S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; RODRIGUES DE OLIVEIRA, C.; PIO, L. A. S. Influence of pretreatment with ethanol and drying temperature on physicochemical and antioxidant properties of white and red pulp pitayas dried in foam mat. **Drying Technology**, [s. l.], v. 40, n. 3, p. 484–493, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07373937.2020.1809446>.
- ARIVALAGAN, M.; KARUNAKARAN, G.; ROY, T. K.; DINSHA, M.; SINDHU, B. C.; SHILPASHREE, V. M.; SATISHA, G. C.; SHIVASHANKARA, K. S. Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus species*). **Food Chemistry**, [s. l.], v. 353, p. 129426, 2021.
- ATTAR, Ş. H.; GÜNDEŞLİ, M. A.; URÜN, I.; KAFKAS, S.; KAFKAS, N. E.; ERCISLI, S.; GE, C.; MLCEK, J.; ADAMKOVA, A. Nutritional Analysis of Red-Purple and White-Fleshed Pitaya (*Hylocereus*) Species. **Molecules**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 808, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/3/808>.
- CARMEN, F.; FRANCES, C.; BARTHE, L. Trends on valorization of pitaya fruit biomass through value-added and green extraction technology – A critical review of advancements and processes. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 138, p. 339–354, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224423001863>.
- CHEN, J.; SABIR, I. A.; QIN, Y. From challenges to opportunities: Unveiling the secrets of pitaya through omics studies. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 321, p. 112357, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423823005265>.
- CHITTURI, R.; BADDAM, V. R.; PRASAD, L.; PRASHANTH, L.; KATTAPAGARI, K. A review on role of essential trace elements in health and disease. **Journal of Dr. NTR University of Health Sciences**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 75, 2015. Disponível em: <http://www.jdrntruhs.org/text.asp?2015/4/2/75/158577>.
- CORDEIRO, M. H. M.; DA SILVA, J. M.; MIZOBUTSI, G. P.; MIZOBUTSI, E. H.; DA MOTA, W. F. Physical, chemical and nutritional characterization of pink pitaya of red pulp. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 20–26, 2015.

DOS SANTOS, J. A.; ACEVEDO, A. F. G.; LACERDA, V. R.; VIEITES, R. L. Caracterização físico-química, nutricional e compostos bioativos de romã. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. e18511222777, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/22777>.

ESQUIVEL, P.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Phenolic Compound Profiles and their Corresponding Antioxidant Capacity of Purple Pitaya (*Hylocereus* sp.) **Genotypes. Zeitschrift für Naturforschung C**, [s. l.], v. 62, n. 9–10, p. 636–644, 2007. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/znc-2007-9-1003/html>.

FERNANDES, D. R.; MOREIRA, R. A.; CRUZ, M. do C. M. da; RABELO, J. M.; OLIVEIRA, J. De. Improvement of production and fruit quality of pitayas with potassium fertilization. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [s. l.], v. 40, n. 1, p. 35290, 2018. Disponível em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=128488521&site=eds-live>.

FERREIRA, V. C.; AMPESE, L. C.; SGANZERLA, W. G.; COLPINI, L. M. S.; FORSTER-CARNEIRO, T. An updated review of recent applications and future perspectives on the sustainable valorization of pitaya (*Hylocereus* spp.) by-products. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, [s. l.], v. 33, p. 101070, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352554123001043>.

FREITAS, B. A. G.; RIBEIRO, J. S.; VIANA, E. B. M.; DE SOUZA, C. C. E.; ZANUTO, M. E. Aspectos químicos, fitoquímicos e funcionais das pitaias *Hylocereus undatus*, *Hylocereus monacanthus* e *Hylocereus megalanthus*: Uma revisão / Chemical, phytochemical and functional aspects of pitayas *Hylocereus undatus*, *Hylocereus monacanthus* and *Hylocereus*. **Brazilian Journal of Health Review**, [s. l.], v. 4, n. 5, p. 19986–20024, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34119/bjhrv4n5-123>.

GARCÍA-CRUZ, L.; DUEÑAS, M.; SANTOS-BUELGAS, C.; VALLE-GUADARRAMA, S.; SALINAS-MORENO, Y. Betalains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (*Stenocereus* spp.) fruit from two species (*S. Pruinosus* and *S. stellatus*). **Food Chemistry**, [s. l.], v. 234, p. 111–118, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617307628#f0015>. Acesso em: 3 jun. 2019.

HOLANDA, M. O.; LIRA, S. M.; SILVA, J. Y. G. da; MARQUES, C. G.; COELHO, L. C.; LIMA, C. L. S.; COSTA, J. T. G.; SILVA, G. S. da; SANTOS, G. B. M.; ZOCOLO, G. J.; DIONÍSIO, A. P.; GUEDES, M. I. F. Intake of pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (F.A.C. Weber) Britton & Rose) beneficially affects the cholesterolemic profile of dyslipidemic C57BL/6 mice. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 42, p. 101181, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212429221003060>.

HUANG, M.; ZHAO, J. Recent advances in postharvest storage and preservation technology of pitaya (dragon fruit). The **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, [s. l.], p. 1–15, 2023. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14620316.2023.2263757>.

JIANG, H.; ZHANG, W.; LI, X.; SHU, C.; JIANG, W.; CAO, J. Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus* spp.) peels: **A comprehensive review**. Trends in Food Science & Technology, [s. l.], v. 116, p. 199–217, 2021.

JIANG, H.; ZHANG, W.; PU, Y.; CHEN, L.; CAO, J.; JIANG, W. Development and characterization of a novel active and intelligent film based on pectin and betacyanins from peel waste of pitaya (*Hylocereus undatus*). **Food Chemistry**, [s. l.], v. 404, p. 134444, 2023.

KHALILI, R. M. A.; NORHAYATI, A. H.; ROKIAH, M. Y.; ASMAH, R.; NASIR, M. T. M.; SITI MUSKINAH, M. Proximate composition and selected mineral determination in organically grown red pitaya (*Hylocereus* sp.). **Journal of Tropical Agricultural and Foods Science**, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 269–275, 2006. Disponível em: [http://jtafs.mardi.gov.my/jtafs/34-2/Red Pitaya.pdf](http://jtafs.mardi.gov.my/jtafs/34-2/Red%20Pitaya.pdf).

KIRANMAI, M. Review of exotic fruit: Nutritional composition, nutraceutical properties and food application of Dragon fruit (*Hylocereus* spp.). **The Pharma Innovation Journal**, [s. l.], v. 11, n. 6, p. 613–622, 2022. Disponível em: <https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue7/PartH/11-6-348-307.pdf>.

KOROTKOVA, N.; BORSCH, T.; ARIAS, S. A phylogenetic framework for the Hylocereeae (Cactaceae) and implications for the circumscription of the genera. **Phytotaxa**, [s. l.], v. 327, n. 1, p. 1–46, 2017.

KOROTKOVA N.; AQUINO D.; ARIAS S.; EGGLI U. Cactaceae at Caryophyllales.org – a dynamic online species-level taxonomic backbone for the family. **Willdenowia**, [s. l.], v. 51, n. 2, p. 251–270, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3372/wi.51.51208>. Acesso em: 28 fev. 2023.

LATA, D.; NARAYANA, C. K.; ANAND, A.; RAO, S.; RANJITHA, K.; AZEEZ, S.; KARUNAKARAN, G. Effect of Ambient Storage on Postharvest Quality and Shelf Life of White Pulp (*Hylocereus undatus*) and Red Pulp Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*). **Erwerbs-Obstbau**, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s10341-023-00930-8>.

LIMA, A. C. V. de; DIONÍSIO, A. P.; ABREU, F. A. P. de; SILVA, G. S. da; LIMA JUNIOR, R. D.; MAGALHÃES, H. C. R.; GARRUTI, D. dos S.; ARAÚJO, I. M. da S.; ARTUR, A. G.; TANIGUCHI, C. A. K.; RODRIGUES, M. do C. P.; ZOCCOLO, G. J. Microfiltered red–purple pitaya colorant: UPLC-ESI-QTOF-MSE-based metabolic profile and its potential application as a natural food ingredient. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 330, p. 127222, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814620310840>.

LIRA, S. M.; DIONÍSIO, A. P.; HOLANDA, M. O.; MARQUES, C. G.; SILVA, G. S. da; CORREA, L. C.; SANTOS, G. B. M.; DE ABREU, F. A. P.; MAGALHÃES, F. E. A.; REBOUÇAS, E. de L.; GUEDES, J. A. C.; OLIVEIRA, D. F. de; GUEDES, M. I. F.; ZOCCOLO, G. J. Metabolic profile of pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (F.A.C. Weber) Britton & Rose) by UPLC-QTOF-MSE and assessment of its toxicity and anxiolytic-like effect in adult zebrafish. **Food Research International**, [s. l.], v. 127,

p. 108701, 2020. Disponível em:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996919305873>.

LIRA, S. M.; HOLANDA, M. O.; SILVA, J. Y. G. da; MARQUES, C. G.; COELHO, L. C.; LIMA, C. L. S.; COSTA, J. T. G.; DANTAS, J. B.; MACIEL, G. L.; SILVA, G. S. da; SANTOS, G. B. M.; ZOCOLO, G. J.; DIONÍSIO, A. P.; GUEDES, M. I. F. Pitaya [*Hylocereus polyrhizus* (F.A.C. Weber) Britton & Rose] effect on glycemia and oxidative stress in aloxan-induced diabetic mice. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 43, 2023. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612023000100526&tlng=en.

MACIAS-CEJA, D. C.; COSÍN-ROGER, J.; ORTIZ-MASIÁ, D.; SALVADOR, P.; HERNÁNDEZ, C.; CALATAYUD, S.; ESPLUGUES, J. V.; BARRACHINA, M. D. The flesh ethanolic extract of *Hylocereus polyrhizus* exerts anti-inflammatory effects and prevents murine colitis. **Clinical Nutrition**, [s. l.], v. 35, n. 6, p. 1333–1339, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261561416000704>.

MAGALHÃES, D. S.; DA SILVA, D. M.; RAMOS, J. D.; SALLES PIO, L. A.; PASQUAL, M.; VILAS BOAS, E. V. B.; GALVÃO, E. C.; DE MELO, E. T. Changes in the physical and physico-chemical characteristics of red-pulp dragon fruit during its development. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 253, p. 180–186, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423819303048>.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 1997.

MARQUES, C. G.; VAN TILBURG, M. F.; PEREIRA, E. P. V.; LIRA, S. M.; RIBEIRO, P. R. V.; REBOUÇAS, E. de L.; HOLANDA, M. O.; SANTOS, G. B. M.; DA SILVA, J. Y. G.; ZOCOLO, G. J.; DIONÍSIO, A. P.; GUEDES, M. I. F.; RABELO, C. A. F. Chemical profile, in vitro bioactivities, and antinociceptive effect of Red Pitaya extracts on zebrafish. **South African Journal of Botany**, [s. l.], v. 162, p. 432–442, 2023. Disponível em:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0254629923005665>.

MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, P.; GUERRERO-RUBIO, M. A.; HENAREJOS-ESCUERO, P.; GARCÍA-CARMONA, F.; GANDÍA-HERRERO, F. Health-promoting potential of betalains in vivo and their relevance as functional ingredients: A review. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 122, p. 66–82, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224422000681>.

MERCADO-SILVA, E. M. **Pitaya—*Hylocereus undatus* (Haw)**. [S. l.]: Elsevier Inc., 2018. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00045-9>.

NERD, A.; MIZRAHI, Y. Reproductive biology of cactus fruit crops. **Horticultural Reviews**, [s. l.], v. 18, p. 321–346, 1997.

NUR IZALIN, M. Z.; MUHAMMAD, K.; BAKAR, J.; MOHD ADZAHAN, N. OPTIMIZATION OF PECTIN EXTRACTION FROM DRAGON FRUIT PEEL. **Acta**

Horticulturae, [s. l.], n. 1012, p. 1443–1450, 2013. Disponível em: https://www.actahort.org/books/1012/1012_195.htm.

PAŠKO, P.; GALANTY, A.; ZAGRODZKI, P.; KU, Y. G.; LUKSIRIKUL, P.; WEISZ, M.; GORINSTEIN, S. Bioactivity and cytotoxicity of different species of pitaya fruits – A comparative study with advanced chemometric analysis. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 40, p. 100888, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212429221000134>.

RABELO, J. M.; CRUZ, M. do C. M.; SANTOS, N. C.; ALVES, D. de A.; LIMA, J. E.; SILVA, E. de B. Increase of nutrients export and production of pitaya whit potassium fertilization. **Comunicata Scientiae**, [s. l.], v. 11, p. e3276, 2020. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/3276>.

RAHMAWATI, M. A.; SUPRIYANA; DJAMIL, M. Potential Effect of Pitaya Fruit Juice (*Hylocereus Polyrhizus*) As an Anti-anemic Agent for Postpartum Anemia. **Indonesian Journal of Medicine**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 293–299, 2019.

RAMLI, N. S.; ISMAIL, P.; RAHMAT, A. Influence of Conventional and Ultrasonic-Assisted Extraction on Phenolic Contents, Betacyanin Contents, and Antioxidant Capacity of Red Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*). **The Scientific World Journal**, [s. l.], v. 2014, p. 1–7, 2014. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/964731/>.

RORIZ, C. L.; HELENO, S. A.; ALVES, M. J.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; PINELA, J.; DIAS, M. I.; CALHELHA, R. C.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R.; BARROS, L. Red pitaya (*Hylocereus costaricensis*) peel as a source of valuable molecules: Extraction optimization to recover natural colouring agents. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 372, n. September 2021, 2022.

SANTOS, G. B. M.; DIONÍSIO, A. P.; MAGALHÃES, H. C. R.; ABREU, F. A. P. de; LIRA, S. M.; LIMA, A. C. V. de; SILVA, G. S. da; GUEDES, J. A. C.; DA SILVA ARAUJO, I. M.; ARTUR, A. G.; PONTES, D. F.; ZOCOLO, G. J. Effects of processing on the chemical, physicochemical, enzymatic, and volatile metabolic composition of pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (F.A.C. Weber) Britton & Rose). **Food Research International**, [s. l.], v. 127, p. 108710, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996919305964>.

SANTOS, D. N.; PIO, L. A. S.; FALEIRO, F. G. **Pitaya: uma alternativa frutífera**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 2022. 2022.v. 1. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/232364/1/livropitaya-versaofinalweb.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2023.

SEN, R.; BARUAH, A. M. Phenolic profile and pigment stability of *Hylocereus* species grown in North-East India. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s. l.], v. 116, p. 105078, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889157522006962>.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. THE COMPARISON OF DENDROGRAMS BY OBJECTIVE METHODS. **TAXON**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 33–40, 1962. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2307/1217208>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. max; MURPHY, A. **Plant Physiology and Development**. Sunderland: [s. n.], 2017. 2017.v. 6 ed. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=PpO4DQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=taiz+e+zeiger&ots=7RIhrRIUPg&sig=M3-cfeDUloefodOTLNPdcylJc#v=onepage&q=taiz+e+zeiger&f=false>.

TARIK ATTAR. A mini-review on importance and role of trace elements in the human organism. **Chemical Review and Letters**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 117–130, 2020. Disponível em: https://www.chemrevlett.com/article_108029_efd9f35445a9ca70c07c0f8380986373.pdf.

THU DAO, T. A.; WEBB, H. K.; MALHERBE, F. Optimization of pectin extraction from fruit peels by response surface method: Conventional versus microwave-assisted heating. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 113, p. 106475, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X20328496>.

TOMAS, M. da G.; RODRIGUES, L. J.; ALMEIDA LOBO, F. de; TAKEUCHI, K. P.; DE PAULA, N. R. F.; PINTO, D. M.; NHANTUMBO, N.; PIZZATTO, M.; OUALMAKRAN, Y.; MACHADO, G. G. L.; BOAS, E. V. de B. V. Physicochemical characteristics and volatile profile of pitaya (*Selenicereus setaceus*). **South African Journal of Botany**, [s. l.], v. 154, p. 88–97, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0254629923000194>.

TRINDADE, A. R.; PAIVA, P.; LACERDA, V.; MARQUES, N.; NETO, L.; DUARTE, A. Pitaya as a New Alternative Crop for Iberian Peninsula: Biology and Edaphoclimatic Requirements. **Plants**, [s. l.], v. 12, n. 18, p. 3212, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/18/3212>.

VERONA-RUIZ, A.; URCIA-CERNA, J.; PAUCAR-MENACHO, L. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. *Scientia Agropecuaria*, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 439–453, 2020. Disponível em: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/3062>.

VIZZOTTO, M.; SCHIAVON, M. V.; PEREIRA, E. dos S.; MUNHOZ, P. C.; FONSECA, L. X.; FERRI, N. M. L.; KROLOW, A. C. R. **Physicochemical Characterization, Mineral Composition and Bioactive Compounds in Two Species of Pitayas from the Southern Region of Brazil**. Embrapa, [s. l.], v. 1, n. 234, p. 1 – 28, 2016.

WHO. **Potassium intake for adults and children**. Geneva, Switzerland: World Health Organization (WHO), 2012. 2012. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241504829>.

WIDYANINGSIH, A.; SETIYANI, O.; UMAROH, U.; SOFRO, M. A. U.; AMRI, F. EFFECT OF CONSUMING RED DRAGON FRUIT (*HYLOCEREUS COSTARICENSIS*) JUICE ON THE LEVELS OF HEMOGLOBIN AND ERYTHROCYTE AMONG PREGNANT WOMEN. **Belitung Nursing Journal**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 255–264, 2017. Disponível em: <https://www.belitungraya.org/BRP/index.php/bnj/article/view/97>.

CAPÍTULO 3

EXTRAÇÃO SUPERCRÍTICA DE BETALAÍNAS DA CASCA DE DIFERENTES ESPÉCIES DE PITAIA

RESUMO

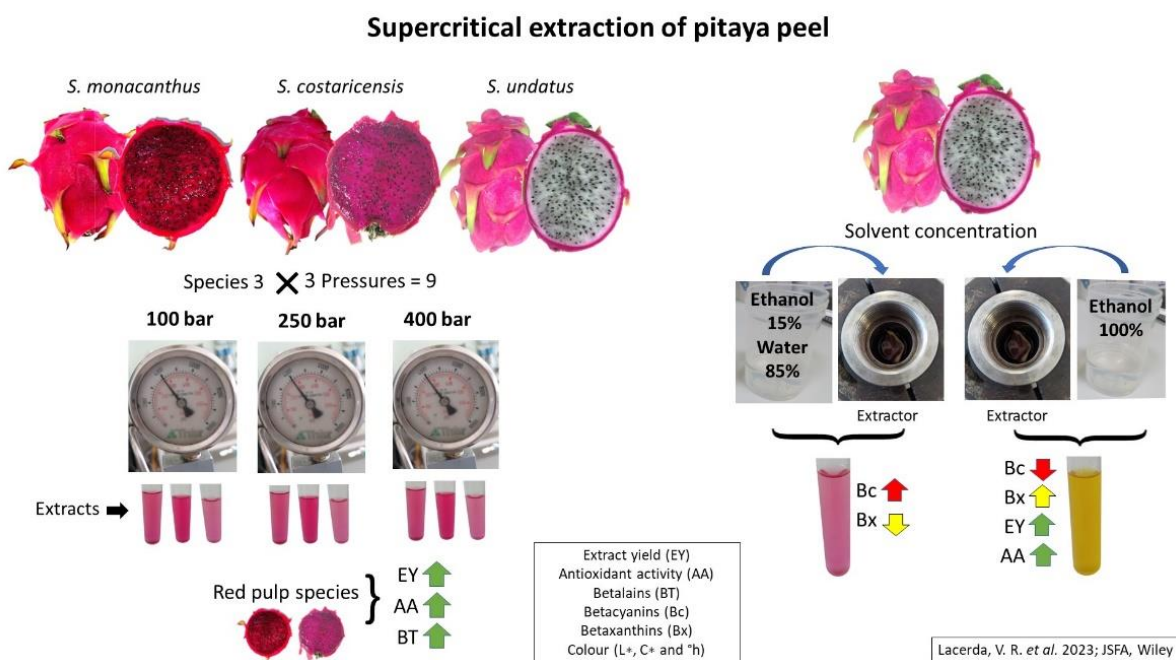
FUNDAMENTOS: A pitia é uma fruta que vem conquistando o mercado pela grande aceitação pelo consumidor e pelos benefícios à saúde, principalmente pelo teor de betalaínas tanto na polpa quanto na casca, que geralmente é descartada. Porém, o potencial destes subprodutos em diferentes campos apontou o interesse na recuperação de seus constituintes. Este trabalho teve como objetivo obter extratos bioativos ricos em betalaínas a partir da casca seca de frutos de pitia das espécies *Selenicereus monacanthus* (Lem.), *Selenicereus costaricensis* W. e *Selenicereus undatus* H. utilizando fluidos supercríticos em diferentes pressões (100, 250 e 400 bar) utilizando etanol/água 15% v/v como co-solvente, além de comparar este co-solvente com etanol 100%. Foram avaliados o rendimento de extração, atividade antioxidante, cor (luminosidade, croma e °hue) e teor de betalaínas totais (betacianinas e betaxantinas).

RESULTADOS: A pressão influenciou principalmente a capacidade antioxidante do extrato, favorecendo em geral a obtenção de extratos ricos em betalaína em pressões mais elevadas, principalmente nas espécies *S. monacanthus* e *S. costaricensis*. Porém, o desempenho da extração do sequenciamento aumentando o co-solvente orgânico de 15 para 100% foi o fator mais influente, fornecendo mais frações bioativas e conseguindo uma boa separação de betacianina e betaxantina.

CONCLUSÃO: O método de extração supercrítica pode superar o desafio de extrair eficientemente os diversos compostos da casca da pitia, devido à presença de compostos bioativos de grande polaridade.

Palavras-chave: *Selenicereus* spp.; fruta dragão; atividade antioxidante; betacianinas.

RESUMO GRÁFICO



3.1 INTRODUÇÃO

A pitia é uma planta nativa do México e da América do Sul e Central (1). Recentemente, os frutos da família Cactaceae, como a pitia, têm sido considerados como uma fonte rica em compostos bioativos. As cascas destas espécies são utilizadas na indústria alimentícia por conterem níveis significativos de vários nutrientes essenciais, tais como açúcar, polissacáridos, pectina, lipídeos, aminoácidos, minerais, fibra dietética, alimentos funcionais e fortificantes nutricionais (2). As espécies *S. costaricensis* e *S. monacanthus* possuem frutos com casca e polpa vermelhas e se destacam por conter maior teor de betalaínas quando comparadas à espécie *S. undatus*, que possui casca vermelha e polpa branca (3,4). No entanto, a pitia *S. undatus* é uma das espécies pioneiras distribuídas em todo o mundo (5). Recentemente, alguns estudos *in vitro* e *in vivo* demonstraram os potentes efeitos benéficos das cascas de pitia ou dos seus extratos para a saúde humana, incluindo propriedades antioxidantes, antimicrobianas, anticancerígenas, anti-obesogénicas, antidiabéticas, ansiolíticas, anti-inflamatórias, anti-envelhecimento, branqueadoras, fotoprotectoras e melhoradoras da ALD (6).

O CO₂ supercrítico é uma técnica verde seletiva geralmente utilizada para recuperar compostos polares, como os óleos essenciais (7). No entanto, a

combinação de CO₂ com diferentes proporções de co-solventes orgânicos, como o etanol, permite a obtenção de compostos de diferentes polaridades, trabalhando em diferentes regimes supercríticos, desde a extração melhorada até à extração por líquido pressurizado (8). Através da variação dos parâmetros de pressão e temperatura, a polaridade do CO₂ ou da mistura pode ser modulada, favorecendo a obtenção de diferentes compostos. Além disso, a pressão elevada pode afetar a difusão do solvente nos poros da matéria-prima, aumentando o contacto do composto-alvo com o líquido extrator (9,10). A presença de compostos bioativos de grande polaridade dificulta a utilização de um método único e seletivo para a extração eficiente de todos os compostos (11).

O perfil bioativo da casca da pitiaia foi estudado por outros autores empregando diferentes técnicas de extração, como a extração aquosa (12,13), mas é um método simples com algumas desvantagens, como tempo e baixo rendimento de extração (14). A extração assistida por ultrassons (15,16), tem um efeito mecânico que melhora a penetração do solvente na matriz da amostra (17), mas as ondas ultrassónicas podem estar associadas a efeitos químicos indesejáveis, como a produção de radicais livres (18). A extração com fluidos supercríticos (19-22), com várias vantagens em relação aos métodos convencionais, uma vez que utiliza soluções de extração não tóxicas e não explosivas, que são fáceis de remover do extrato final e não provocam alterações químicas significativas nos compostos, baixa temperatura de extração, fluxo contínuo de fluido fresco, rápida transferência de massa e elevada seletividade (9,23). No entanto, o emprego desta técnica em diferentes espécies não tem sido extensivamente explorado, concentrando-se principalmente na recuperação de betalaínas da espécie *Selenicereus monacanthus* numa condição de extração fixa.

Com este trabalho, objetivou-se a obtenção de extratos ricos em betalaínas com propriedades bioativas a partir da casca seca de frutos de pitiaia das espécies *Selenicereus monacanthus* (Lem.), *Selenicereus costaricensis* W. e *Selenicereus undatus* H., com uma extração por solvente com etanol/água 15% v/v a diferentes condições de pressão (100, 250 e 400 bar), uma vez que a pressão foi relatada como o fator mais influente na recuperação de extratos ricos em betalaínas (20). Em seguida, realizar extração subsequente das diferentes betalaínas da espécie *S. undatus* por duas extrações consecutivas, utilizando uma mistura pouco polar (CO₂+100% etanol) e uma mistura ternário-polar (CO₂+15% mistura hidroalcoólica) como co-solvente.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Material vegetal

Os frutos das espécies de pitiaia, 'Tesoro' (*Selenicereus monacanthus* L.), 'Costa Rica' (*Selenicereus costaricensis* W.) e 'Common White' (*Selenicereus undatus* H.), foram colhidos na província de Málaga, Espanha (Figura 1). Os frutos foram descascados manualmente e a polpa foi separada da casca. A casca foi seca numa estufa a 42 °C, com circulação de ar, durante 48 h. Para obter amostras homogêneas para o processo de extração, a casca seca foi triturada num misturador até atingir um tamanho de partícula de aproximadamente 1 mm.



Figura 1. Espécies de pitaias utilizadas na extração supercrítica. (A) "Tesoro" (*Selenicereus monacanthus* L.), (B) "Costa Rica" (*Selenicereus costaricensis* W.) e (C) "Common White" (*Selenicereus undatus* H.).

3.2.2 Extração supercrítica

As extrações foram efetuadas em modo descontínuo utilizando um extrator de alta pressão de 100 ml fornecido pela Thar Technologies (Pittsburg, PA, EUA, modelo SF100). A figura 2 apresenta uma representação esquemática. Quase 10 g da amostra foram pesados num cartucho de papel de filtro e introduzidos no extrator contendo 65 ml de etanol/água 15% v/v, de acordo com relato anterior (20). O CO₂ foi bombeado a 10 g min⁻¹ até se atingir a pressão de funcionamento definida (100, 250 ou 400 bar). Todas as experiências foram realizadas a 35 °C e padronizado em 75 minutos de tempo de extração.

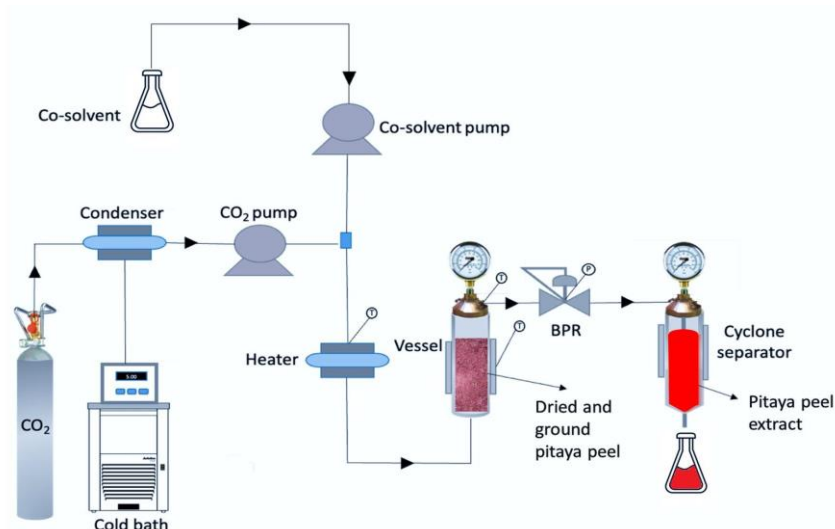


Figura 2. Diagrama da extração supercrítica de cascas secas de pitaiá.

Para melhorar a bioatividade das fracções, foi realizada uma extração subsequente de *S. undatus* utilizando etanol a 100% + CO₂ antes da extração com a mistura ternária etanol/água 15% v/v + CO₂. Esta extração subsequente foi utilizada a 250 bar e 75 °C, sendo uma delas desenvolvida a 75 min.

3.2.3 Rendimento dos extratos

Em todas as experiências, o rendimento da extração foi calculado de acordo com a Equação 1.

$$\text{Rendimento de extração (\%)} = W / W_0 \times 100 \quad [1]$$

onde W é o peso do extrato seco, e W_0 é o peso inicial da casca de pitaiá seca.

A análise foi efetuada em triplicata.

3.2.4 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi determinada utilizando 2,2-Difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) como radical livre de acordo com o método proposto por Brand-Williams *et al.* (24). 3,5 mL de 6×10^{-5} M DPPH foram contactados com 0,5 mL do extrato em diferentes concentrações (0,5 a 2 mg/ml). O decréscimo da absorvância a 515 nm foi medido com um espectrofotómetro UV-Vis (Cary UV-Vis, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA) após 3,30 h de incubação à temperatura ambiente e no escuro, quando atingiu um estado estável. 0,5 ml de solução hidroalcoólica a 15% adicionada a 3,5 ml de solução de DPPH foi utilizada como amostra em branco. A percentagem de inibição segue a Equação 2:

$$\text{Inibição (\%)} = (A_0 - A_i) / A_0 \times 100 \quad [2]$$

onde A_0 é a absorbância inicial de DPPH e A_i é a absorbância após 3:30 h.

3.2.5 Conteúdo de betalaínas

Os teores de betalaínas dos extratos de pitáia foram medidos de acordo com o método de Wybraniec *et al.* (25). Os teores de betacianinas, betaxantinas e betalaínas totais (mg 100 g⁻¹ de casca seca) foram determinados por espectrofotômetro UV-Vis (Cary UV-Vis, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA), calculados pela seguinte equação 3:

$$B = (A_{538} \text{ ou } A_{483} \times DF \times W \times V \times 100) / (\epsilon \times P \times L) \quad [3]$$

em que A_{538} nm é a absorbância das betacianinas; A_{483} nm é a absorbância das betaxantinas; DF é o fator de diluição, W é a massa molecular (550 g/mol para a betanina e 308 g/mol para a indicaxantina); V é o volume do extrato (ml); ϵ é o coeficiente de extinção molar (60 000 L/mol/cm para a betacianina e 48 000 L/mol/cm para a betaxantina) e L é o comprimento da célula (1 cm). P é o peso do extrato seco (g). Todas as determinações foram efetuadas em triplicata.

3.2.6 Determinação dos parâmetros da cor dos extratos

Os parâmetros de cor dos extratos foram determinados diretamente sobre os extratos colocados num cubo de passagem ótica de 1 mm, e a absorbância foi medida com um espectrofotômetro UV-Vis (Cary UV-Vis, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA). As coordenadas CIELAB, luminosidade (L^*), cromaticidade (C^*) e °hue (°h), foram determinadas de acordo com o método de Ayala *et al.* (26).

3.2.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk utilizando o software GraphPad Prism versão 8.0.1 (San Diego, CA, EUA). Os dados foram submetidos à análise de variância Two-Way ANOVA para extração supercrítica, e teste de médias LSD ($p \leq 0,05$) pelo software Sisvar (versão 5.6). Foram aplicadas correlações lineares entre as variáveis e obtido o coeficiente de correlação de Pearson (r), sendo as correlações consideradas significativas com $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$. Foi utilizado o software estatístico JMP 10 (SAS Institute Inc., USA). Para o teste da concentração do solvente, foi realizado o teste t não pareado.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Estudo das variações de pressão nas propriedades de composição

Os resultados da ANOVA de duas vias com as espécies de pitaia (*Selenicereus monacanthus* L., *Selenicereus costaricensis* W. e *Selenicereus undatus* H.), as pressões (100, 250 e 400 bar) e a interação entre estes fatores para todos os parâmetros avaliados dos extratos de casca de fruta obtidos por extração supercrítica são apresentados na tabela 1. Todos os parâmetros apresentaram diferenças significativas e interação entre os fatores.

Tabela 1. Resultados da análise de variância (Two-Way ANOVA) pelo teste F para verificar diferenças entre as cascas das espécies dos frutos de pitaia, as pressões e a interação entre esses fatores em relação aos parâmetros avaliados.

Variação	Gl	Re	AA	L	C	h°	Bc	Bx	BT
Espécies	2	0.000***	0.000***	0.000***	0.000***	0.006**	0.000***	0.000***	0.000***
Pressão (bar)	2	0.025*	0.030*	0.000***	0.000***	0.049*	0.000***	0.000***	0.000***
Espécies × Pressão	4	0.000***	0.000***	0.000***	0.000***	0.017*	0.000***	0.000***	0.000***
Erro	9								
Total	17								

Gl (Grau de liberdade), Re (Rendimento do extrato), AA (Atividade antioxidante), L (Luminosidade), C (Croma), h° (Ângulo hue), Bc (Betacianina), Bx (Betaxantina), BT (Betalaínas totais). * Valor p pelo teste F: ns não significativo, * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ e *** $p \leq 0,001$.

A Figura 3a e a Tabela 1 mostram os resultados experimentais do rendimento de extração (%) para as três pressões e espécies de pitaia estudadas. Em relação à pressão, verificou-se que há diferença significativa apenas na espécie *S. monacanthus*, sendo a pressão de 400 bar a que proporcionou o maior rendimento (4,96 %). Para *S. costaricensis* o rendimento de extração foi de 3,10 % enquanto para *S. undatus* foi de 2,16 %. (21) verificaram que os extratos das cascas de *S. monacanthus* e *S. undatus*, obtidos por extração supercrítica com dióxido de carbono a 300 bar e 40°C durante 60 min sem utilização de co-solvente, apresentaram rendimentos de 1,81% e 1,25%, respectivamente, sendo níveis inferiores aos deste caso. (19) obtiveram um rendimento de extração inferior (3,91 %) da casca de pitaia *S. monacanthus* utilizando a extração supercrítica a 250 bar e 50°C durante 1,5h com solução etanólica 5 % v/v como co-solvente. Em geral, os rendimentos de extração mais elevados encontrados neste trabalho podem estar relacionados com dois fatores

principais. Um deles, à maior densidade de CO₂ utilizada (700-972 kg m⁻³), que aumenta o seu poder solvente, e o outro, à utilização de co-solventes que melhoram a extração de compostos com uma grande variedade de polaridades.

Ao comparar as três espécies, observou-se que *S. undatus* apresentou um rendimento inferior ao das outras espécies testadas (1,77 a 2,38 %). (4) relata a diferença de rendimento à menor concentração de betacianinas na casca de *S. undatus* em relação a *S. monacanthus*.

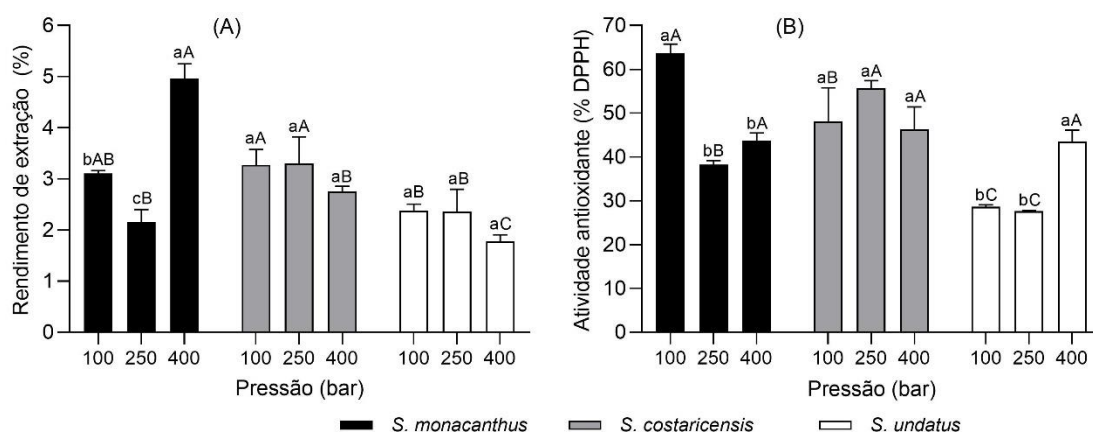


Figura 3. Rendimento de extração (A), atividade antioxidante (B) das três espécies de pitaya às três pressões. As letras minúsculas indicam diferenças significativas nas pressões dentro da mesma espécie e as letras maiúsculas indicam a influência das espécies dentro da mesma pressão.

A Figura 3b apresenta os resultados da atividade antioxidante. Em relação à pressão, verificou-se que houve um efeito significativo apenas nas espécies *S. monacanthus* e *S. undatus*, entre as pressões de 100 e 400 bar. Maiores porcentagens de inibição foram encontradas a 100 bar em *S. monacanthus*, enquanto para *S. undatus* foram encontradas a 400 bar. *S. costaricensis* apresentou bioatividade intermédia e forneceu extratos antioxidantes semelhantes em todas as pressões estudadas. Ao comparar as três espécies, observou-se que *S. undatus* apresentou menor porcentagem de inibição que as demais espécies nas pressões de 100 e 250 bar. A 400 bar não houve diferença entre as espécies. Num estudo anterior (21), extraíram-se as cascas de pitaya das espécies *S. monacanthus* e *S. undatus* por extração supercrítica a 300 bar e 40°C sem co-solvente, obtendo-se valores de IC₅₀ de 0,83 e 0,91 mg/mL respectivamente. O menor valor de IC₅₀ indica uma maior atividade antioxidante, pelo que estes resultados estão relacionados com o presente

estudo, onde se obteve uma maior inibição com *S. monacanthus* do que com *S. undatus*.

A Figura 4 mostra os resultados para betaxantinas, betacianinas e betalaínas totais (soma das betaxantinas e betacianinas), sendo que as três variáveis apresentaram proporcionalmente o mesmo comportamento estatístico das médias obtidas. As espécies apresentaram conjuntamente respostas diferentes às três diferentes condições de pressão. Especificamente, *S. costaricensis* apresentou o maior teor de betalaínas, seguido por *S. monacanthus* e *S. undatus*. Para além disso, cada espécie apresentou sensibilidades distintas à pressão: *S. monacanthus* e *S. costaricensis* foram mais sensíveis a pressões de 400 bar, seguidas de 100 e 250 bar, enquanto *S. undatus* apresentou a maior sensibilidade a pressões de 400, 250 e 100 bar, respetivamente.

Em geral, o nível de pressão elevado (400 bar) poderia promover a extração de betalaínas, uma vez que pode ter permitido uma solubilização e extração eficazes de betalaínas, betacianinas e betaxantinas (27). Embora tenha sido relatada uma possível degradação dos pigmentos quando se aumentam os níveis de pressão (28), este não foi o caso neste estudo, uma vez que apenas foram obtidos baixos níveis de betalaínas na espécie pitaia de polpa branca, como esperado.

Em relação às espécies de pitaia, os frutos de polpa vermelha (*S. costaricensis* e *S. monacanthus*) foram caracterizados por um maior teor de betalaínas quando comparados à espécie de polpa branca (*S. undatus*) (3). De acordo com estudo anterior realizado com extração convencional da casca de pitaia liofilizada, o teor de betalaínas de *S. monacanthus* foi superior ao de *S. undatus* (4). Teores de betalaínas semelhantes aos obtidos no presente estudo foram relatados por (22), que quantificou 30,67 mg/100 g de betalaínas totais em extratos da casca de *S. monacanthus* obtidos a 250 bar e 40 °C, utilizando uma mistura de 50% de etanol/água (v/v) como co-solvente.

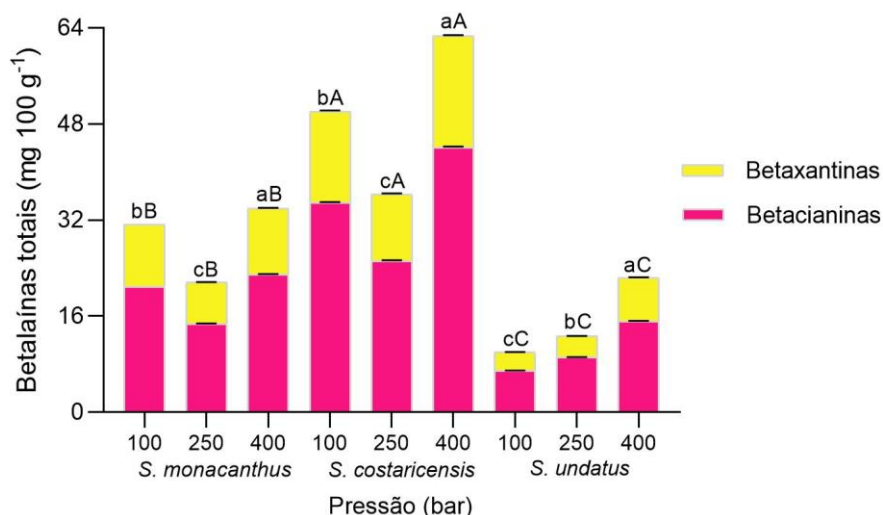


Figura 4. Betalaínas totais, betacianinas e betaxantinas dos extratos de casca das três espécies de pitaias às três pressões. Letras minúsculas indicam diferenças significativas no teor de betalaínas nas condições de pressão dentro da mesma espécie, e letras maiúsculas indicam diferenças significativas no teor de betalaínas entre as espécies dentro das mesmas condições de pressão.

Em um estudo com extração assistida por ultrassons em pitaias *S. monacanthus* (29), verificou-se que a atividade antioxidante e o poder redutor estavam fracamente correlacionados com o teor de betacianina, estando mais relacionados com a presença de outros compostos bioativos, tais como compostos fenólicos e flavonoides, o que explicaria a tendência dos resultados deste estudo. Da mesma forma, de acordo com (22) a tecnologia de fracionamento supercrítico da casca de pitaias vermelhas pode aumentar significativamente a capacidade antioxidante das frações, que foi altamente correlacionada com as concentrações de outros compostos bioativos, compostos fenólicos totais e polissacarídeos totais.

As variáveis de cor (L, C e °hue) dos extratos também foram influenciadas pelo nível de pressão e pela espécie de pitaias, bem como pela interação de ambos os fatores (Figura 5). A luminosidade (L) variou de 39,5 a 83,6 (Figura 5A), com os valores classificados em ordem decrescente em *S. undatus*, *S. monacanthus* e *S. costaricensis*, mostrando uma tendência oposta ao teor de betalaínas em todos os níveis de pressão, e diretamente relacionada ao Croma (Figura 5B). Para as espécies *S. monacanthus* e *S. costaricensis*, as pressões que causaram maior efeito na luminosidade foram 250 bar, seguidas de 100 e 400 bar, enquanto para *S. undatus* o maior efeito foi a 100 bar, seguido de 250 e 400 bar. Assim, os extratos pigmentares das cascas das pitaias de polpa vermelha (*S. monacanthus* e *S. costaricensis*) caracterizaram-se por uma cor mais escura em comparação com os extratos das

cascas das pitaias de polpa branca (*S. undatus*), com extratos menos luminosos e de cor mais viva, como se pode observar mesmo a olho nu (Figura 5D). O croma (C), indicador da intensidade ou pureza da cor, variou de 19,1 a 63,3 (Figura 5B), com os valores mais elevados para *S. costaricensis*, seguido de *S. monacanthus* e *S. undatus*. E para cada espécie, os valores de C foram mais elevados a 400 bar, do que a 100 e 250 bar. O ângulo de tonalidade ($^{\circ}h$) variou ligeiramente de 34,2 a 35,6 $^{\circ}$ (Figura 5C), dentro da gama de cores vermelhas (19 a 54 $^{\circ}$). Os resultados mostram que o $^{\circ}h$ dos extratos de *S. monacanthus* é inferior ao das outras espécies a 100 bar. Os outros valores desta análise não diferiram significativamente.

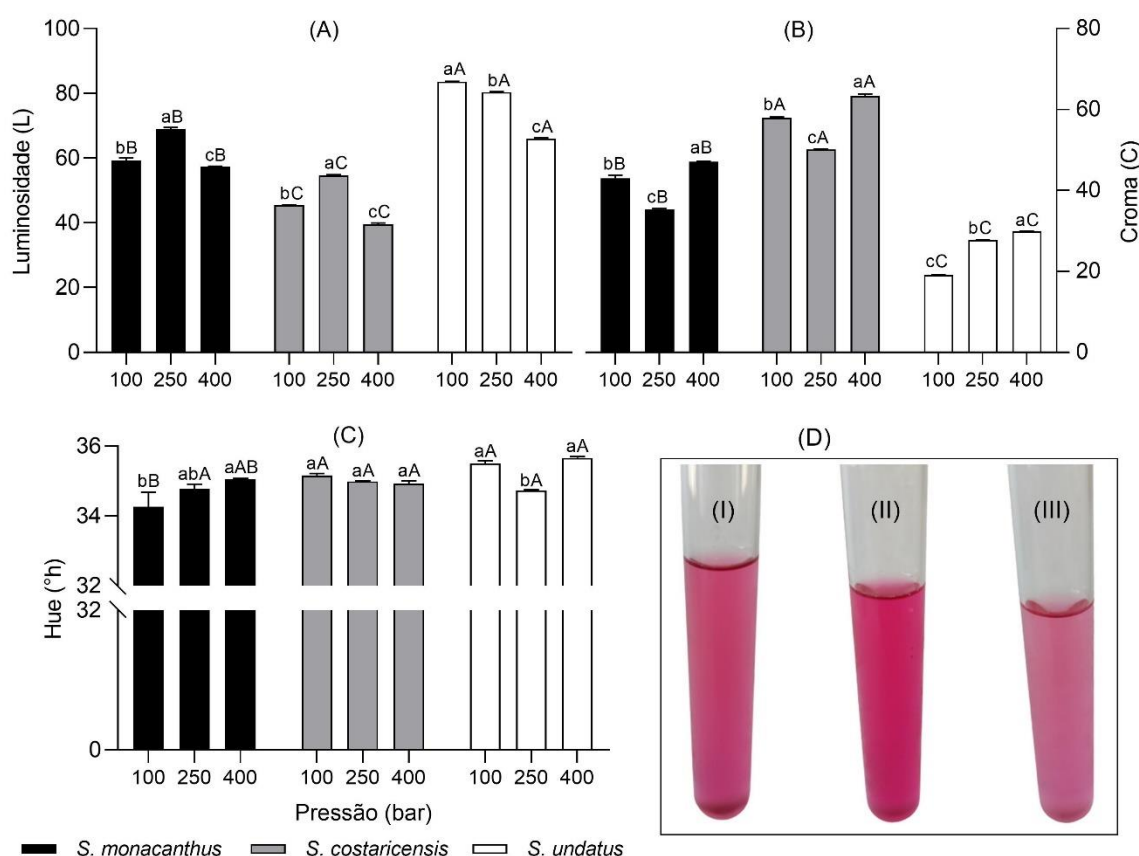


Figura 5. Luminosidade (A), Croma (B) e Ângulo Hue (C) dos extratos de casca das três espécies de pitaya nos três níveis de pressão. As letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os níveis de pressão dentro da mesma espécie. As letras maiúsculas indicam diferenças entre as espécies dentro do mesmo nível de pressão. A fotografia (D) dos extratos de *S. monacanthus* (I), *S. costaricensis* (II) e *S. undatus* (II) obtidos a 250 bar de pressão.

A correlação de Pearson da extração supercrítica em diferentes pressões para cada espécie de pitaiá é mostrada na Tabela 2, entre as análises de rendimento de extração (Re), atividade antioxidante (AA), luminosidade (L), croma (C), matiz ($^{\circ}$ h), betacianinas (Bc), betaxantinas (Bx) e betalaínas totais (BT). Para a espécie *S. monacanthus*, o rendimento da extração não se correlacionou com a atividade antioxidante. Esta correlação foi negativa para a espécie *S. undatus*. Neste caso, os compostos antioxidantes presentes foram provavelmente degradados quando as amostras foram desidratadas nas condições utilizadas. Foi observada uma correlação positiva entre o rendimento do extrato e as betalaínas para a espécie *S. monacanthus*, o que indica que o elevado rendimento encontrado nesta espécie, especialmente a uma pressão de 400 bar (Figura 3a), é constituído principalmente por betalaínas que possivelmente apresentam uma boa estabilidade (30), o que não se verificou para as outras espécies. Para a espécie *S. costaricensis*, o rendimento do extrato correlacionou-se positivamente com a atividade antioxidante, certamente, os compostos bioativos desta espécie têm melhor estabilidade (31). Por outro lado, a atividade antioxidante desta espécie correlacionou-se negativamente com as betalaínas, mas correlacionou-se positivamente com as outras espécies. Para a espécie *S. undatus*, o rendimento da extração correlacionou-se positivamente apenas com a luminosidade, pois seus componentes sólidos proporcionam brilho, o que também ocorreu para a espécie *S. costaricensis*. Houve correlação negativa entre o rendimento do extrato e a tonalidade apenas para *S. undatus*, indicando uma cor vermelha mais clara para esta espécie em relação às demais. Embora esta variável ($^{\circ}$ h) tenha apresentado pequenas diferenças (Figura 5c).

Tabela 2. Coeficiente de correlação de Pearson das análises efetuadas para cada espécie de pitaiá sob influência entre as diferentes pressões nas condições de extração.

<i>Selenicereus monacanthus</i>							
	Re	AA	L	C	$^{\circ}$ h	Bc	Bx
AA	0.02 ^{ns}						
L	-0.85***	-0.53**					
C	0.93***	0.36*	-0.98***				
$^{\circ}$ h	0.51**	-0.84***	-0.00 ^{ns}	0.18 ^{ns}			
Bc	0.89***	0.46*	-0.99***	0.99***	0.07 ^{ns}		
Bx	0.83***	0.56**	-0.99***	0.97***	-0.03 ^{ns}	0.99***	

BT	0.87***	0.50**	-0.99***	0.98***	0.04 ^{ns}	0.99***	0.99***
<i>Selenicereus costaricensis</i>							
	Re	AA	L	C	°h	Bc	Bx
AA	0.68**						
L	0.82***	0.97***					
C	-0.83***	-0.97***	-0.99***				
°h	0.65**	-0.11 ^{ns}	0.10 ^{ns}	-0.12 ^{ns}			
Bc	-0.81***	-0.94***	-0.94***	0.99***	-0.21 ^{ns}		
Bx	-0.85***	-0.96***	-0.99***	0.99***	-0.17 ^{ns}	0.99***	
BT	-0.87***	-0.95***	-0.99***	0.99***	-0.20 ^{ns}	0.99***	0.99***
<i>Selenicereus undatus</i>							
	Re	AA	L	C	°h	Bc	Bx
AA	-0.99***						
L	0.99***	-0.97***					
C	-0.68**	0.61**	-0.77**				
°h	-0.60**	0.67**	-0.48*	-0.16 ^{ns}			
Bc	-0.97***	0.95***	-0.99***	0.82***	0.41*		
Bx	-0.99***	0.98***	-0.99***	0.73**	0.54**	0.98***	
BT	-0.98***	0.96***	-0.99***	0.79**	0.45*	0.99***	0.99***

Re (Rendimento de Extração), AA (Atividade Antioxidante), L (Luminosidade), C (Croma), °h (hue), Bc (Betacianinas), Bx (Betaxantinas) BT (Betalaínas Totais), ns não significativo, * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ e *** $p \leq 0,001$.

O fracionamento supercrítico dos extratos de pitaia vermelha pode aumentar significativamente a capacidade antioxidante das frações, promovendo a recuperação de compostos mais ativos (22). Em estudos anteriores (32,33), foi demonstrada uma forte correlação entre a presença de cargas nas betaxantinas, derivadas de amins secundárias, e a redução do poder antioxidante. Os dados disponíveis sugerem que, do ponto de vista estrutural, as betacianinas são candidatas a ter um maior potencial antioxidante do que as betaxantinas. Assim, o isolamento dos dois componentes, betaxantinas e betalaínas, poderia melhorar a sua bioatividade. Para tal, a extração subsequente de *S. undatus*, com menor teor de betalaínas e menor bioatividade, foi realizada a 250 bar e 75 °C, aumentando a proporção de etanol do co-solvente de 15% para 100% de etanol.

3.3.2 Extração subsequente das betacianinas

A adição de um co-solvente para alterar a natureza não polar do CO₂ supercrítico é necessária para melhorar a sua afinidade por compostos polares, como

as betalaínas (8,9). Os extratos de *S. undatus* nas diferentes condições de co-solvente são apresentados na Figura 6. A diferença nas composições dos pigmentos é evidentemente visível, sendo o etanol a 100% mais apropriado para a recuperação da betaxantina amarela. As betacianinas são pigmentos polares que variam de cor entre a púrpura e o vermelho. Estas moléculas contêm uma ligação glicosídica e um cromóforo com nitrogênio, que lhes confere a sua cor característica. As betaxantinas são também pigmentos polares que contêm uma ligação glicosídica e um cromóforo azotado, tal como as betacianinas. No entanto, contêm também um grupo metoxi ou hidroxí, o que as torna menos polares que as betacianinas, sendo mais solúveis em etanol e CO₂ (34,35). (21), obtiveram extratos amarelo-pálido das cascas das espécies *S. monacanthus* e *S. undatus* por extração com dióxido de carbono supercrítico, o que indicaria a natureza mais apolar destes compostos.

Nestas condições, a razão entre betacianina e betaxantina encontrada em *S. undatus* foi de 2,55. Resultados semelhantes, com maior quantidade de betacianina do que de betaxantina (proporção de 2,93), foram encontrados por (22), na quantificação de betalaínas em extratos de casca de *S. monacanthus* obtidos por extração supercrítica a 250 bar e 40 °C, utilizando como co-solvente uma mistura de 50% de etanol/água (v/v). De acordo com (36), a separação de betacianinas e betaxantinas com tecnologias tradicionais foi efetuada utilizando água acidificada ou metanol/etanol (0,4%-1,0% HCl, 50 mM ácido cítrico, 0,25% ácido ascórbico ácido) para precipitar betacianinas, e a subsequente adição de etanol aquoso (95%) para produzir betaxantinas (37).



Figura 6. Extratos da espécie *S. undatus* a 250 bar de pressão, co-solvente etanol a 15% (A) e co-solvente etanol a 100% (B).

A Figura 7 mostra a caracterização de ambas as frações, que apresentam diferenças significativas em todas as variáveis. O solvente etanol puro (100 %) apresentou superioridade significativa no rendimento do extrato (Figura 7a), na atividade antioxidante (Figura 7b) e no teor de betalaínas, betacianinas e betaxantinas (Figura 7c). No entanto, com 15% de etanol, o teor de betacianina foi superior ao de betaxantina e, com 100% de etanol, ocorreu o contrário. O aumento do teor de etanol altera o índice de polaridade, atua como um fator de equilíbrio e melhora a solubilidade de compostos como a betaxantina (38). Além disso, foi relatado que o teor de betacianina é muito influenciado pela concentração de etanol (39). Num estudo anterior (19), o teor de betacianina no extrato foi superior ao de betaxantina quando a concentração da solução de etanol foi reduzida de 100% para 50%, o que pode ser explicado pela hidrofiliicidade das betacianinas. Quanto aos resultados de inibição do DPPH, observou-se uma inibição 4 vezes maior quando se utilizou etanol puro, em comparação com etanol a 15%, certamente devido à sua capacidade de dissolver mais compostos de natureza diferente, como os flavonoides. Por outro lado, em estudos anteriores com *S. costaricensis*, os extratos obtidos com solventes naturais eutéticos profundos e com etanol não foram estatisticamente diferentes quanto à atividade antioxidante (40).

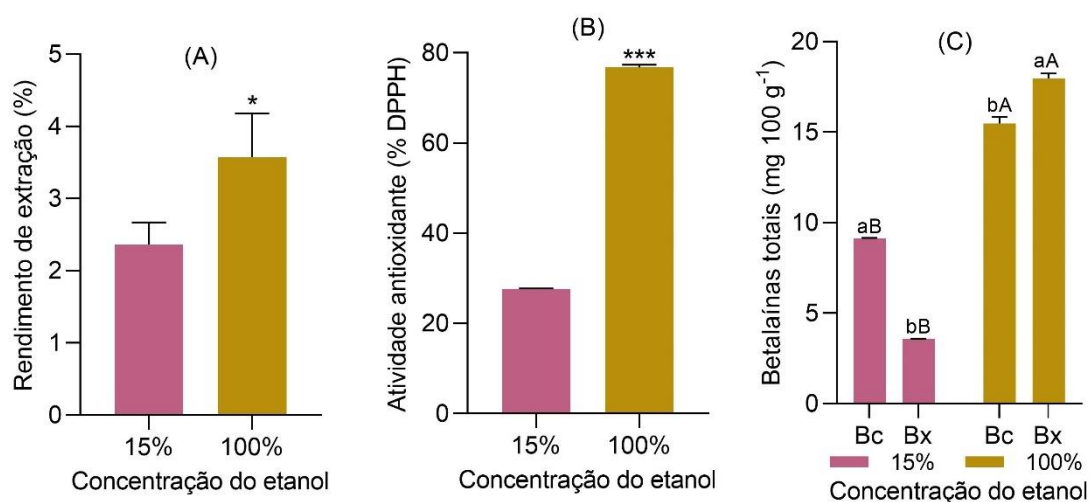


Figura 7. Rendimento do extrato (A), atividade antioxidante (B) e betalaínas totais, betacianinas Bc e betaxantinas Bx (C) de extratos de *S. undatus* com pressão de 250 bar e concentração alternada de solvente a 15% de etanol: 85% de água (Figura 6A) e 100% de etanol (Figura 6B); ns não significativo, * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ e *** $p \leq 0,001$ para o teste t não pareado. As letras minúsculas indicam uma diferença significativa entre o teor de Bc e Bx, e as letras minúsculas indicam uma diferença significativa entre as concentrações de solvente.

Para os parâmetros de cor, o extrato produzido com etanol 15% v/v apresentou maior luminosidade (Figura 8A), enquanto o produzido com etanol puro apresentou maior cromaticidade (Figura 8B), relacionada com uma concentração significativamente elevada do extrato. Os valores de °hue também foram significativamente diferentes ($p \leq 0,001$) (Figura 8C), e permaneceram na faixa de vermelho a laranja para o extrato produzido com etanol 15% v/v devido à maior concentração de betacianinas (Figura 7C) e de laranja a amarelo para o extrato produzido com etanol puro devido à maior concentração de betaxantinas, como esperado. Quando as betaxantinas são dissolvidas em etanol, podem interagir através de forças de Van der Waals com as moléculas de etanol, o que ajuda a estabilizar o pigmento e a mantê-lo em solução (34,41,42).

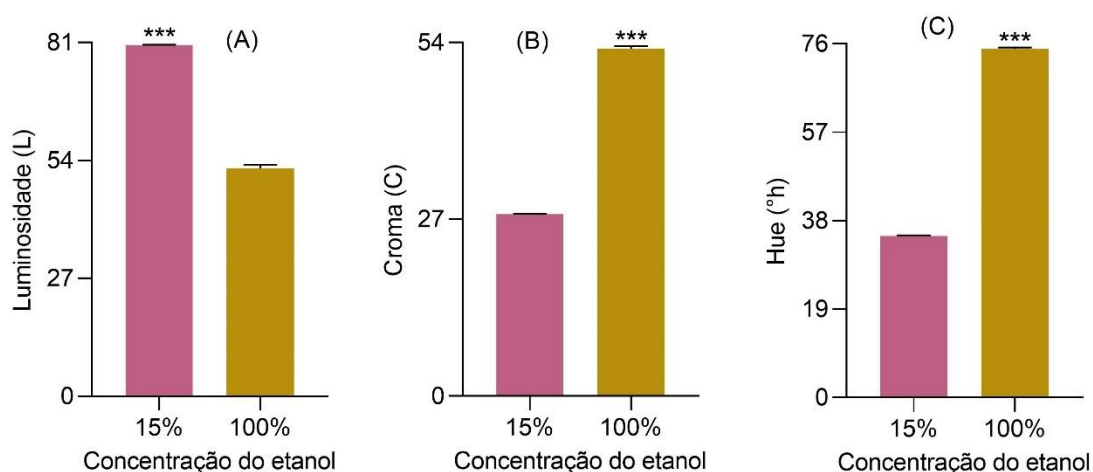


Figura 8. Parâmetros de cor, luminosidade (A), croma (B) e °hue (C) dos extratos de *S. undatus* a 250 bar de pressão e concentração alternada de solvente a 15% de etanol: 85% de água (Figura 6A) e 100% de etanol (Figura 6B); ns não significativo, * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$ e *** $p \leq 0,001$ para o teste t não pareado.

3.4 CONCLUSÕES

A recuperação de compostos bioativos da casca de pitaiá utilizando uma extração por solventes melhorada com uma mistura ternária CO₂/etanol/água permite obter extratos com bom rendimento e capacidade antioxidante a todas as pressões estudadas, especialmente para as espécies de polpa vermelha (*S. monacanthus* e *S. costaricensis*). A pressão não parece ser um fator significativo em termos de rendimento de extração, parecendo ter mais influência na capacidade antioxidante e na recuperação de betacianinas dos extratos, oferecendo extratos com uma mistura

de betalaínas de diferentes tipos. No entanto, a extração sequencial da casca de pitáia, variando o co-solvente, de uma fase orgânica elevada (etanol a 100%) seguida de uma fase mais baixa (etanol a 15%), fornece fracções separadas de betaxantina e betacianina, o que indica a conveniência da utilização da extração subsequente como estratégia de purificação dos pigmentos da casca de pitáia e a potencial utilização das fracções na indústria alimentar.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Consejería de Economía, Conocimiento, Empresas y Universidad (Espanha) e à Universidad de Cádiz pelo estágio de investigação concedido ao primeiro autor. A Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado (AUIP) pela bolsa de estudos concedida ao primeiro autor. Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES)-Código de Financiamento 001.

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os dados que suportam os resultados deste estudo estão disponíveis com o autor correspondente, mediante solicitação.

INFORMAÇÕES DE APOIO

As informações de apoio podem ser encontradas na versão online deste artigo.

REFERÊNCIAS

1. Mizrahi Y, Nerd A, Nobel PS. Cacti as crops. *Hortic Rev (Am Soc Hortic Sci)*. 1997;18:291–320.
2. Carmen F, Frances C, Barthe L. Trends on valorization of pitaya fruit biomass through value-added and green extraction technology – A critical review of advancements and processes. *Trends Food Sci Technol [Internet]*. 2023 Aug;138:339–54. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224423001863>
3. Paško P, Galanty A, Zagrodzki P, Ku YG, Luksirikul P, Weisz M, *et al*. Bioactivity and cytotoxicity of different species of pitaya fruits – A comparative study with advanced chemometric analysis. *Food Biosci [Internet]*. 2021 Apr;40:100888. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212429221000134>

4. Liaotrakoon W, De Clercq N, Lewille B, Dewettinck K. Physicochemical properties , glass transition state diagram and colour stability of pulp and peel of two dragon fruit varieties (*Hylocereus* spp.) as affected by freeze-drying. 2012;19(2):743–50.
5. Trindade AR, Paiva P, Lacerda V, Marques N, Neto L, Duarte A. Pitaya as a New Alternative Crop for Iberian Peninsula: Biology and Edaphoclimatic Requirements. *Plants* [Internet]. 2023 Sep 8;12(18):3212. Available from: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/18/3212>
6. Jiang H, Zhang W, Li X, Shu C, Jiang W, Cao J. Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus* spp.) peels: A comprehensive review. *Trends Food Sci Technol*. 2021 Oct;116:199–217.
7. Ahangari H, King JW, Ehsani A, Yousefi M. Supercritical fluid extraction of seed oils – A short review of current trends. *Trends Food Sci Technol* [Internet]. 2021 May;111:249–60. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224421001734>
8. Garcia-Mendoza M del P, Espinosa-Pardo FA, Baseggio AM, Barbero GF, Maróstica Junior MR, Rostagno MA, *et al.* Extraction of phenolic compounds and anthocyanins from juçara (*Euterpe edulis* Mart.) residues using pressurized liquids and supercritical fluids. *J Supercrit Fluids* [Internet]. 2017 Jan;119:9–16. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0896844616302583>
9. Miranda PHS, Santos AC dos, Freitas BCB de, Martins GA de S, Vilas Boas EV de B, Damiani C. A scientific approach to extraction methods and stability of pigments from Amazonian fruits. *Trends Food Sci Technol* [Internet]. 2021 Jul;113:335–45. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224421003071>
10. Cheah ELC, Heng PWS, Chan LW. Optimization of supercritical fluid extraction and pressurized liquid extraction of active principles from *Magnolia officinalis* using the Taguchi design. *Sep Purif Technol* [Internet]. 2010 Mar 10;71(3):293–301. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S138358660900505X>
11. Mokrani A, Madani K. Effect of solvent, time and temperature on the extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity of peach (*Prunus persica* L.) fruit. *Sep Purif Technol* [Internet]. 2016 Apr 13 [cited 2019 May 28];162:68–76. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586616300430#b0105>
12. de Carvalho Alves JN, Oliveira NL, de Oliveira Meira ACF, Pio LAS, de Resende JV. Valorization of the Peel of Pitaya's Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Producing Betalain-Rich Freeze-Dried Microparticles. *Waste and Biomass Valorization* [Internet]. 2023 Jul 27; Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s12649-023-02234-0>

13. Lin X, Gao H, Ding Z, Zhan R, Zhou Z, Ming J. Comparative Metabolic Profiling in Pulp and Peel of Green and Red Pitayas (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*) Reveals Potential Valorization in the Pharmaceutical and Food Industries. Formanowicz D, editor. Biomed Res Int [Internet]. 2021 Mar 12;2021:1–12. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2021/6546170/>
14. Song J, Yang Q, Huang W, Xiao Y, Li D, Liu C. Optimization of trans lutein from pumpkin (*Cucurbita moschata*) peel by ultrasound-assisted extraction. Food Bioprod Process [Internet]. 2018 Jan;107:104–12. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960308517301414>
15. Zaid RM, Mishra P, Siti Noredyani AR, Tabassum S, Ab Wahid Z, Mimi Sakinah AM. Proximate characteristics and statistical optimization of ultrasound-assisted extraction of high-methoxyl-pectin from *Hylocereus polyrhizus* peels. Food Bioprod Process [Internet]. 2020 Sep;123:134–49. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960308520304466>
16. Zaid RM, Mishra P, Tabassum S, Wahid ZA, Sakinah AMM. High methoxyl pectin extracts from *Hylocereus polyrhizus*'s peels: Extraction kinetics and thermodynamic studies. Int J Biol Macromol [Internet]. 2019 Dec;141:1147–57. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813019339959>
17. Koubaa M, Barba FJ, Grimi N, Mhemdi H, Koubaa W, Boussetta N, et al. Recovery of colorants from red prickly pear peels and pulps enhanced by pulsed electric field and ultrasound. Innov Food Sci Emerg Technol [Internet]. 2016 Oct;37:336–44. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1466856416300753>
18. Zhu Z, Guan Q, Koubaa M, Barba FJ, Roohinejad S, Cravotto G, et al. HPLC-DAD-ESI-MS2 analytical profile of extracts obtained from purple sweet potato after green ultrasound-assisted extraction. Food Chem [Internet]. 2017 Jan;215:391–400. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814616311906>
19. Fathordoobady F, Mirhosseini H, Selamat J, Manap MYA. Effect of solvent type and ratio on betacyanins and antioxidant activity of extracts from *Hylocereus polyrhizus* flesh and peel by supercritical fluid extraction and solvent extraction. Food Chem [Internet]. 2016 Jul 1 [cited 2019 Jun 3];202:70–80. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814616301200>
20. Fathordoobady F, Manap MY, Selamat J, Singh AP. Development of supercritical fluid extraction for the recovery of betacyanins from red pitaya fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel: A source of natural red pigment with potential antioxidant properties. Int Food Res J [Internet]. 2019;26(3):1023–34. Available from: [http://www.ifrj.upm.edu.my/26 \(03\) 2019/32 - IFRJ171194.R1-Final.pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/26%20(03)%202019/32%20-%20IFRJ171194.R1-Final.pdf)
21. Luo H, Cai Y, Peng Z, Liu T, Yang S. Chemical composition and in vitro evaluation of the cytotoxic and antioxidant activities of supercritical carbon

dioxide extracts of pitaya (dragon fruit) peel. Chem Cent J [Internet]. 2014 Dec 3;8(1):1. Available from: <https://bmcchem.biomedcentral.com/articles/10.1186/1752-153X-8-1>

22. Yu ZR, Weng YM, Lee HY, Wang BJ. Partition of bioactive components from red pitaya fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peels into different fractions using supercritical fluid fractionation technology. Food Biosci [Internet]. 2023 Feb;51:102270. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212429222007295>

23. Belwal T, Chemat F, Venskutonis PR, Cravotto G, Jaiswal DK, Bhatt ID, *et al.* Recent advances in scaling-up of non-conventional extraction techniques: Learning from successes and failures. TrAC Trends Anal Chem [Internet]. 2020 Jun;127:115895. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165993620301242>

24. Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Sci Technol [Internet]. 1995;28(1):25–30. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643895800085>

25. Wybraniec S, Mizrahi Y. Fruit Flesh Betacyanin Pigments in *Hylocereus Cacti*. J Agric Food Chem [Internet]. 2002 Oct 1;50(21):6086–9. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf020145k>

26. Ayala F, Echávarri JF, Negueruela AI. A New Simplified Method for Measuring the Color of Wines. I. Red and Rosé Wines. Am J Enol Vitic [Internet]. 1997;48(3):357–63. Available from: <http://www.ajevonline.org/lookup/doi/10.5344/ajev.1997.48.3.357>

27. da Silva RPFF, Rocha-Santos TAP, Duarte AC. Supercritical fluid extraction of bioactive compounds. TrAC Trends Anal Chem [Internet]. 2016 Feb;76:40–51. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165993615300625>

28. Pereira CG, Meireles MAA. Supercritical Fluid Extraction of Bioactive Compounds: Fundamentals, Applications and Economic Perspectives. Food Bioprocess Technol [Internet]. 2010 Jun 3;3(3):340–72. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s11947-009-0263-2>

29. Ramli NS, Ismail P, Rahmat A. Influence of Conventional and Ultrasonic-Assisted Extraction on Phenolic Contents, Betacyanin Contents, and Antioxidant Capacity of Red Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*). Sci World J [Internet]. 2014;2014:1–7. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/964731/>

30. Hua Q, Chen C, Tel Zur N, Wang H, Wu J, Chen J, *et al.* Metabolomic characterization of pitaya fruit from three red-skinned cultivars with different pulp colors. Plant Physiol Biochem [Internet]. 2018 May 1 [cited 2019 Jun 3];126:117–25.

Available from:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942818301037#bib39>

31. VELLANO P, MORAIS R, SOARES C, SOUZA AR de, SANTOS A dos, MARTINS GA, *et al.* Extraction and stability of pigments obtained from pitaya bark flour (*Hylocereus costaricensis*). Food Sci Technol [Internet]. 2022;42. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612022000100947&tlng=en
32. Gandía-Herrero F, Escribano J, García-Carmona F. Structural implications on color, fluorescence, and antiradical activity in betalains. Planta [Internet]. 2010 Jul 14;232(2):449–60. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00425-010-1191-0>
33. Martínez-Rodríguez P, Guerrero-Rubio MA, Henarejos-Escudero P, García-Carmona F, Gandía-Herrero F. Health-promoting potential of betalains in vivo and their relevance as functional ingredients: A review. Trends Food Sci Technol [Internet]. 2022 Apr;122:66–82. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224422000681>
34. Kumorkiewicz-Jamro A, Świergosz T, Sutor K, Spórna-Kucab A, Wybraniec S. Multi-colored shades of betalains: recent advances in betacyanin chemistry. Nat Prod Rep [Internet]. 2021;38(12):2315–46. Available from: <http://xlink.rsc.org/?DOI=D1NP00018G>
35. Sadowska-Bartosz I, Bartosz G. Biological Properties and Applications of Betalains. Molecules [Internet]. 2021 Apr 26;26(9):2520. Available from: <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/9/2520>
36. Coy-Barrera E. Analysis of betalains (betacyanins and betaxanthins). In: Recent Advances in Natural Products Analysis [Internet]. Elsevier; 2020. p. 593–619. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128164556000172>
37. Delgado-Vargas F, Jiménez AR, Paredes-López O. Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains — Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability. Crit Rev Food Sci Nutr [Internet]. 2000 May;40(3):173–289. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408690091189257>
38. Cuevas-Valenzuela J, González-Rojas Á, Wisniak J, Apelblat A, Pérez-Correa JR. Solubility of (+)-catechin in water and water-ethanol mixtures within the temperature range 277.6–331.2K: Fundamental data to design polyphenol extraction processes. Fluid Phase Equilib [Internet]. 2014 Nov;382:279–85. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378381214005287>
39. Jiang H, Zhang W, Pu Y, Chen L, Cao J, Jiang W. Development and characterization of a novel active and intelligent film based on pectin and betacyanins

from peel waste of pitaya (*Hylocereus undatus*). Food Chem. 2023 Mar 15;404:134444.

40. Pires IV, Sakurai YCN, Ferreira NR, Moreira SGC, da Cruz Rodrigues AM, da Silva LHM. Elaboration and Characterization of Natural Deep Eutectic Solvents (NADESs): Application in the Extraction of Phenolic Compounds from pitaya. Molecules [Internet]. 2022 Nov 29;27(23):8310. Available from: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/23/8310>

41. Kuszczewicz B, Mróz M, Koss-Mikołajczyk I, Namieśnik J. Comparative evaluation of different methods for determining phytochemicals and antioxidant activity in products containing betalains – Verification of beetroot samples. Food Chem [Internet]. 2021 Nov;362:130132. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814621011389>

42. Mohd Hazli UHA, Abdul-Aziz A, Mat-Junit S, Chee CF, Kong KW. Solid-liquid extraction of bioactive compounds with antioxidant potential from *Alternanthera sesilis* (red) and identification of the polyphenols using UHPLC-QqQ-MS/MS. Food Res Int [Internet]. 2019 Jan;115:241–50. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996918307099>

CAPÍTULO 4

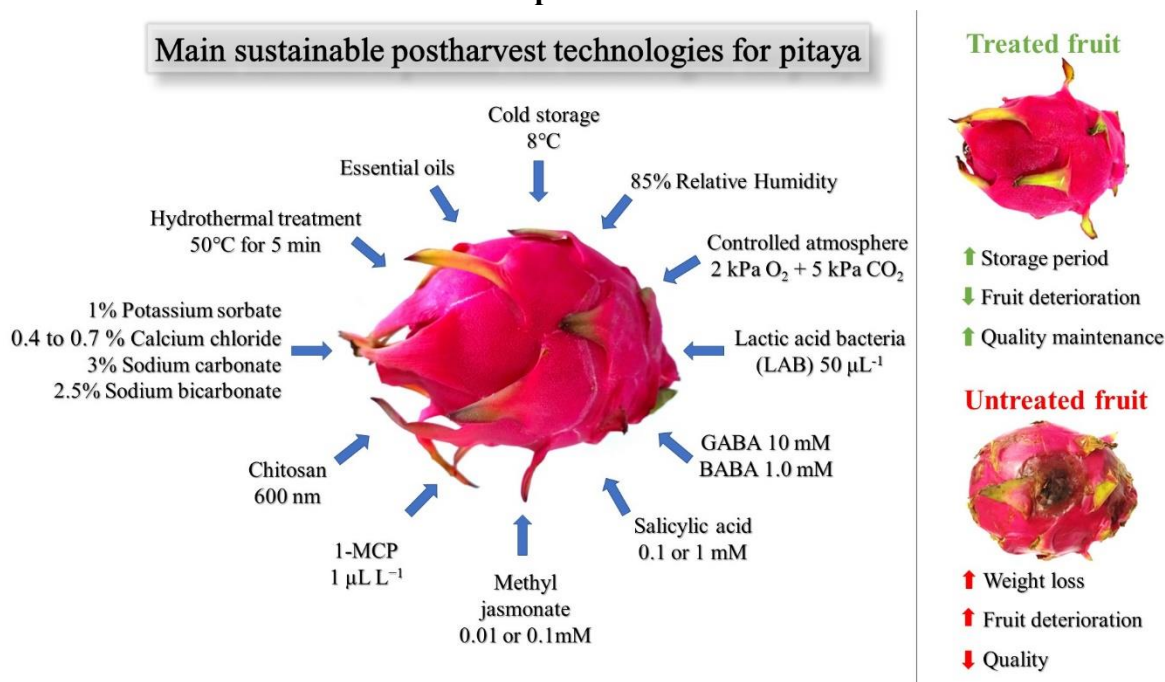
SUSTAINABLE POSTHARVEST TREATMENTS AND STORAGE CONDITIONS FOR PITAYA: A REVIEW

Abstract

Pitaya is on the rise worldwide due to its high consumer acceptance associated with health benefits. It is a non-climacteric fruit with a short post-harvest storage and shelf life. The use of conventional phytosanitary treatments can eventually improve the conservation of the fruit, but it is harmful to health, compromising food safety and the good acceptance of the fruit on the market, and can lead to microbial resistance, making it difficult to control pathogens over time. Thus, there is a growing need to study more sustainable methods to improve the conservation and shelf life of pitaya fruit. The purpose of this review is to discuss the main post-harvest technologies and storage conditions for pitaya fruit. It is essential to have a grasp of the consolidated technologies used in traditional fruit and analyze their applicability to pitaya. Storage conditions and methods include refrigeration during storage and transport, humidity control and packaging, the use of salts associated with hydrothermal treatment, essential oils, chitosan, modified or controlled atmosphere, and salicylic acid, among others. Innovative sustainable methods with consumer acceptance are described, such as biological control with antagonists of phytopathogenic fungi, bacteriocins, new essential oils with antimicrobial activities and kaolin with hygroscopic properties. In this way, sustainable methods applied correctly provide food safety, are environmentally friendly and economically viable for companies and organisations on a large scale. In addition, they are selective, alternative, and practical methods for small pitaya producers and marketers.

Keywords: *Selenicereus* spp.; Dragon fruit; Technologies; Shelf life; Conservation.

Graphical abstract



4.1 Introduction

The pitaya is a cactus native to the rainforest regions of Mexico, Central America, and South America, which has spread to all continents (Rojas-Sandoval and Praciak, 2022). Although the taxonomy of pitayas has been the subject of many controversies and changes, today all pitayas are classified within the genus *Selenicereus* (Korotkova N. et al., 2021) although this classification is not consensual (Tel-Zur, 2022).

This fruit has aroused great interest on the part of producers due to its great acceptance in the export market, providing highly compensatory economic gains, in addition to being an excellent source of nutrients (Moraes et al., 2021) and being a functional food with several health benefits. However, there are still few studies on technologies, treatments, and recommended postharvest conditions, aiming to extend the fruit storage and shelf life, which is important for the national market and especially for export. Under ambient conditions, pitaya deteriorates within a few days. As a result, the time between harvest and commercialization is short, with a shelf life of approximately five to seven days at room temperature ($25 \pm 3^\circ\text{C}$ and $60 \pm 5\%$ RH), without any kind of treatment (Lata et al., 2023) and a conservation period of 20 days in cold storage ($5 \pm 1^\circ\text{C}$ and $80 \pm 5\%$ RH) (Freitas and Mitcham, 2013).

The current accelerated growth of pitaya cultivation areas in recent years has led to the propagation and trade of the plants occurring without any type of inspection and without the use of quarantine, which can aggravate the spread of pests and diseases. The abundance of viable spores on the fruits, capable of causing diseases, is a major challenge in pitaya conservation (Li et al., 2022). Reducing the spread and viability of spores would help to mitigate postharvest disease epidemics.

With the high incidence and severity of diseases in pitaya fruits, the first lesions result in the entry of other fungi and saprophytic bacteria that gradually increase the diameter of the lesions until they reach the entire fruit (Balendres and Bengoa, 2019). Therefore, approaching new studies is necessary to develop strategies that can be used easily and at low cost for the sustainable conservation of pitaya fruits in the postharvest, thus avoiding the depreciation of the fruits and, consequently, economic losses.

The use of synthetic chemicals compromises food safety, is harmful to health, and can lead to microbial resistance, making it difficult to control pathogens over time (Boubaker et al., 2009). Additionally, some consumers may be wary of consuming fruits that have been treated with synthetic chemicals, leading to a decrease in demand for pitaya. As a result, there is a growing need for more sustainable methods to increase the storage period and shelf life of pitaya fruits.

In recent years there has been an exponential increase in relevant scientific publications of original articles and systematic reviews on pitaya (Ferreira et al., 2023; Trindade et al., 2023). However, most reviews address topics about the health benefits of the fruit (Luu et al., 2021; Nishikito et al., 2023) or the development of new by-products and extraction of bioactive compounds (Carmen et al., 2023; Jiang et al., 2021). Regarding methods to increase the storage period and shelf life of fresh pitaya fruits, this review is unprecedented when considering the main databases worldwide. Despite the rare short reviews available in little-known databases (Dutta and Neog, 2021; Paull, 2014), it is necessary to compile and systematize findings with more details on this topic.

Rather than writing a review just for other members of the scientific community, we tried to write a text suitable for students and pitaya postharvest technicians. To achieve this goal, we gathered up-to-date information, assessing the degree of reliability and applicability of each technology. An effort was also made to use language accessible to different professionals.

This review focuses on:

- (1) The postharvest factors that most affect pitaya fruit quality.
- (2) The methodologies used to evaluate the quality of fresh pitaya fruits and the instrumental parameters.
- (3) The main postharvest technologies/methods and storage conditions to extend the storage period and shelf life of pitaya fruits.

The article follows a structure in which section two focuses on maturation, physiology, physiological disorders caused by abiotic and biotic factors and the determination of fruit quality. Section three talks about the main sustainable methods used in the post-harvest, as ways to overcome the challenges of conserving this fruit, in addition to highlighting sustainable technologies that have not yet been applied or studied for pitaya fruits, but which can certainly be considered in future studies. Section four highlights storage conditions and section five concludes the work.

4.2 Fruit physiology and quality

4.2.1 Maturation of fruits for harvest

Pitaya fruits are classified as non-climacteric, so they must be at the optimum stage of edible maturity at harvest time. To present higher quality, they must be left in the plant until they reach the desired composition, which can vary according to the distance from the market (Carmen et al., 2023).

The ideal maturation (harvest point) of pitaya fruits with red peel occurs between the 34th and 38th day after anthesis. At this stage, the fruits have a greater mass and intensity of red colouring on the peel and a creamy yet firm pulp texture (Magalhães et al., 2019). At the point of harvest, high-quality fruits must be well-formed, free from defects, have firm fleshy, green bracts and a minimum value of total soluble solids (TSS):titratable acidity (TA) ratio of 40 (Freitas and Mitcham, 2013).

4.2.2 Postharvest physiology

Postharvest physiological changes of pitaya fruit can affect its quality, shelf life and involve changes in colour, texture, flavour, and aroma. Weight loss due to water loss and consumption of organic acids can lead to shrinkage and loss of firmness, along with wilting and discoloration of bracts resulting in rapid deterioration and reduction of shelf life (Zahid et al., 2013). During post-harvest storage, pitaya may undergo changes in its nutritional composition and its value as a functional food. Vitamin C content and antioxidant bioactive compounds may gradually decrease over time.

In our preliminary studies, we observed that exposure of pitaya to exogenous ethylene, when stored together with ethylene-producing climacteric fruits, such as bananas or apples, can accelerate ripening. In this case, the controlled exposure to ethylene is a subject that needs to be studied for pitaya, since it has a similar behaviour to the prickly pear 'Orito' (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) This cactus presented a profile of suppressed climacteric fruit due to its ethylene production and respiration rate during storage (Andreu-Coll et al., 2021).

4.2.3 Physiological disorders and diseases

After harvesting, pitaya continues to breathe, consuming oxygen and releasing carbon dioxide. High levels of carbon dioxide in the storage environment can lead to off-flavours, discoloration, and accelerated softening (Freitas and Mitcham, 2013). The respiration rate decreases over time but can still contribute to loss of quality and shortening of shelf life, which can be exacerbated by physical damages. In addition, pitaya is susceptible to microbial infections, which can lead to browning and spoilage (Li et al., 2022).

4.2.3.1 Effect of abiotic factors

During the postharvest period, some abiotic factors may contribute to deterioration and physiological disturbances such as pulp breakdown in pitaya fruits (Jiang et al., 2021). The fruits are sensitive to injuries caused by the cold (chilling injury) at temperatures below 6°C (Sheng et al., 2021) or by high temperatures above 20°C, which accelerate fruit metabolism and deterioration (Nerd et al., 1999). Low relative humidity can accelerate weight loss and high humidity can favor the action of pathogens.

Exposure to excessive light, especially direct sunlight, such as at fairs and outdoor events, can accelerate fruit metabolism, cause sensory changes, nutrient degradation, and lead to further spoilage. Protecting the fruit from intense light during handling, transport and storage is critical.

Mechanical injuries from rough handling, impact or pressure during harvesting, packaging or transportation can cause physical damage to pitaya fruits. These lesions provide entry points for pathogens through superficial disruption of plant tissues, as responses to external forces, which lead to biochemical changes in fruits. These injuries can be due to compression, resulting from pressure against fruit's peel, and can be caused by excessive overlapping of fruits in boxes weighing more than eight kilograms (Al-Dairi et al., 2023). With the management of abiotic factors in the post-harvest period, it is possible to minimize deterioration and prevent physiological disorders. Proper handling care must be taken to minimize mechanical damage.

4.2.3.2 Biotic factors

Over time, in countries where pitaya cultivation is traditional, such as Vietnam (Fullerton and Lee, 2021), different classes of diseases have been reported and cause large post-harvest losses with economic consequences. Fungal (*Gloeosporium agaves*, *Bipolaris* sp. *Macssonina agaves*, *Dothiorella* sp. and *Botryosphaeria dothidea*), viral (*Cactus virus X*) and bacterial (*Xanthomonas* sp. and *Erwinia* sp.) diseases can occur (Liou et al., 2004; Poh, 2013). There are also reports of the fungi *Aecidium* (order Pucciniales) and *Fusicoccum* sp. from the Botryosphaeriaceae family (Shakil et al., 2023; Valencia-Botín et al., 2013). These pathogens cause loss of the organoleptic quality of the fruits, making them unviable for commercialization.

In recent years, there have been numerous new reports of pitaya crop diseases, with their associated pathogens, in countries on all continents (Balendres and Bengoa, 2019; Perween et al., 2018). The most common disease is anthracnose, caused by fungi of the genus *Colletotrichum* (Bordoh et al., 2020). The spores colonize the fruits in the field and manifest themselves severely in the post-harvest, and more seriously in conditions of high humidity. The symptoms are reddish lesions and chlorotic halos. These lesions have brown centres and can later coalesce (Li et al., 2022). A very common fact in supermarkets around the world, pitaya fruits are deteriorating on the shelves, without refrigeration or in inadequate conditions (Figure 1).

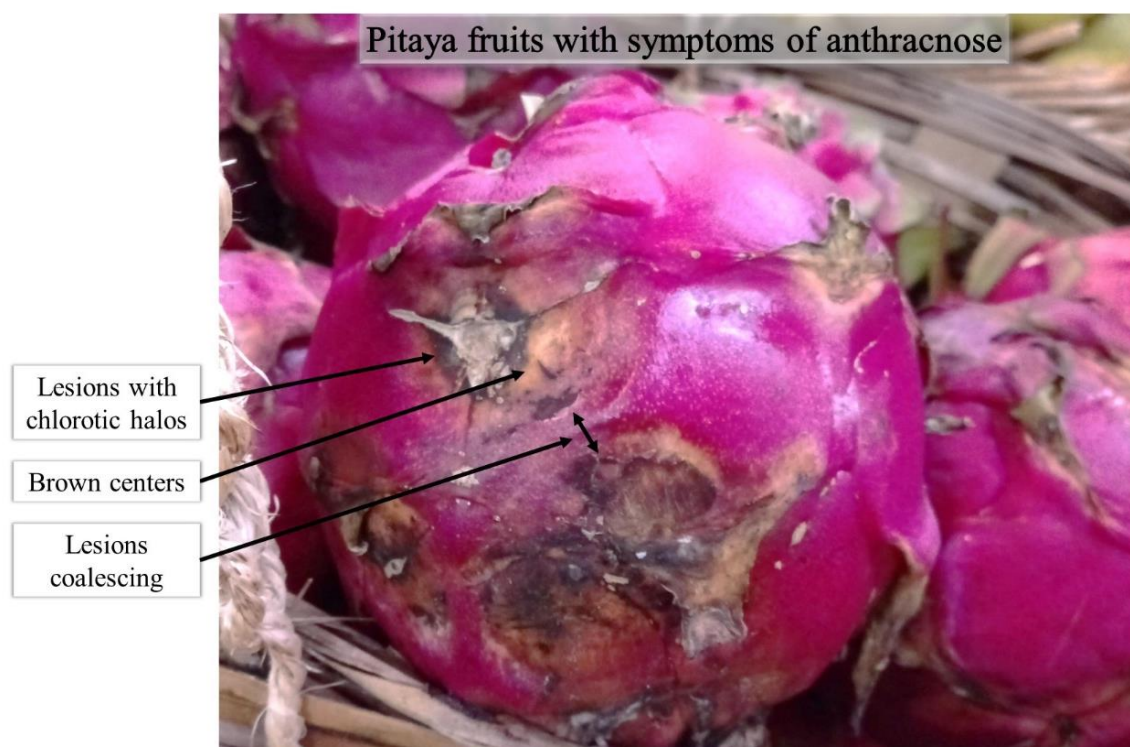


Figure 1. Deteriorating pitaya fruit on a supermarket shelf, showing coalescent spots, with brown centres and chlorotic halos, characteristic symptom of anthracnose.

Other diseases, of lesser incidence, such as powdery mildew (*Helminthosporium* sp.), soft rot (*Fusarium* sp.) and green mold caused by a fungal complex (*Penicillium* sp., *Volutella* sp. and *Corynespora* sp.) were detected for the first time in Nicaragua (Valencia-Botín et al., 2013). Subsequently, they were reported in other countries.

4.2.4 Determination of fruit quality

Quality defines the excellence of the vegetable, and in a relevant way, it is a fundamental instrument that determines the acceptability of fruit and vegetables in the increasingly demanding market. Consumers are very concerned about the nutritional characteristics and quality of the products they purchase. Sensory attributes (colour, overall appearance, and firmness) are very relevant for most consumers (Al-Dairi et al., 2023).

To evaluate the efficiency of technologies that aim to increase the storage period and shelf life of pitaya fruits, a series of analyses of physical chemical, biochemical, sensorial, microbiological, and molecular parameters must be carried out. The pitaya evaluation manual illustrates some visual analyses (Woolf et al., 2006), focusing on the post-harvest evaluation of the main cultivar of Vietnam, *Selenicereus undatus* 'Binh Thuan', with red peel and white pulp. But, also considering pitayas with red peel and red pulp, we can include other analyses and divide them into non-destructive analyses, in which the fruit remains intact, and destructive

ones, in which it is necessary to cut or pierce the fruit.

4.2.4.1 *Destructive analysis*

Using destructive analysis it is possible to determine the appearance, colour and flavour of the pulp, pulp to peel ratio or percentage of pulp, peel thickness (mm), peel firmness and pulp firmness (Newton). A fraction of the longitudinal region of the pulp (with seeds) is removed to measure the concentration of total soluble solids (TSS) (°Brix), titratable acidity (TA) (% of malic acid) (AOAC, 2005), index of maturation by dividing the soluble solids value by titratable acidity, hydrogenion potential (pH), reducing sugars according to Nelson (1944).

After the physicochemical analyses, the samples can be packaged, identified, and stored at -18°C for subsequent biochemical analysis to verify the functional guarantee of the fruit by quantifying the bioactive compounds, antioxidant and enzymatic activities (Brand-Williams et al., 1995). Among the most important bioactive compounds in determining the quality of pitaya fruits we have betalains, betacyanins, betaxanthins (Wybraniec et al., 2010), phenolic compounds (Singleton et al., 1999), malonaldehyde (MDA) (Wu et al., 2014), vitamin C (Devianti et al., 2023). Microbiological analysis (Salfinger and Tortorello, 2015), can be done to verify the food safety of pitaya fruits. By molecular analyses, the profile of volatiles can be carried out through aldehydes, alkanes, alkenes, alcohols, ketones and terpenes, the profile of free amino acids and hydrolysed amino acids (Wu et al., 2023).

Destructive techniques are capable of accurately determining the characteristics of the fruit, but lead to the loss of the analyzed fruits. Therefore, these techniques cannot be applied to all or most of the fruits sold, but only to representative samples. Thus, there is a loss of efficiency in decision-making based on these assessments during the storage period due to the eventual lack of representativeness of the samples in relation to the total number of fruits stored.

4.2.4.2 *Non-destructive analysis*

There is a growing interest in using non-destructive techniques that provide quality, fast and lossless monitoring (Al-Dairi et al., 2023). Through non-destructive analyses, it is possible to determine the appearance of the bracts and appearance of the fruit body (by hedonic scale), the incidence and severity of disease damage (Nguyen et al., 2021), the peel color (luminosity, chroma and hue angle) (Minolta, 1998), weight loss (%) and respiration rate ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (Bleinroth et al., 1976).

Near-infrared (NIR) electromagnetic or monochromatic images for visible (Vis) wave detection can be used. In NIR spectroscopy, fresh produce is exposed to NIR radiation and the transmitted or reflected radiation is measured (Fu and Wang, 2022). Recently, a rapid and non-destructive assessment of pitaya quality using low-cost NIR spectroscopy (NIRS) and

electronic nose (e-nose) devices was tested (da Silva Ferreira et al., 2023). Classification models for NIR spectra or electronic nose data as predictors were more than 90% accurate when classifying samples according to their lifetime index stage. The results demonstrate that inexpensive devices based on NIRS and a new low-cost e-nose can be used in combination for the prediction of TSS, pH, TA, moisture and phenolic compounds, as well as for classifying pitaya according to its ability to the storage.

4.3 Main postharvest technologies

With the advancement of technology for preserving fruits and vegetables over time, many efficient and economically viable methods have been developed, some of them based on refrigeration. Some methods have already been evaluated for pitaya fruits (they are discussed in this topic), with the aim of maintaining quality or extending the shelf life (Figure 2).

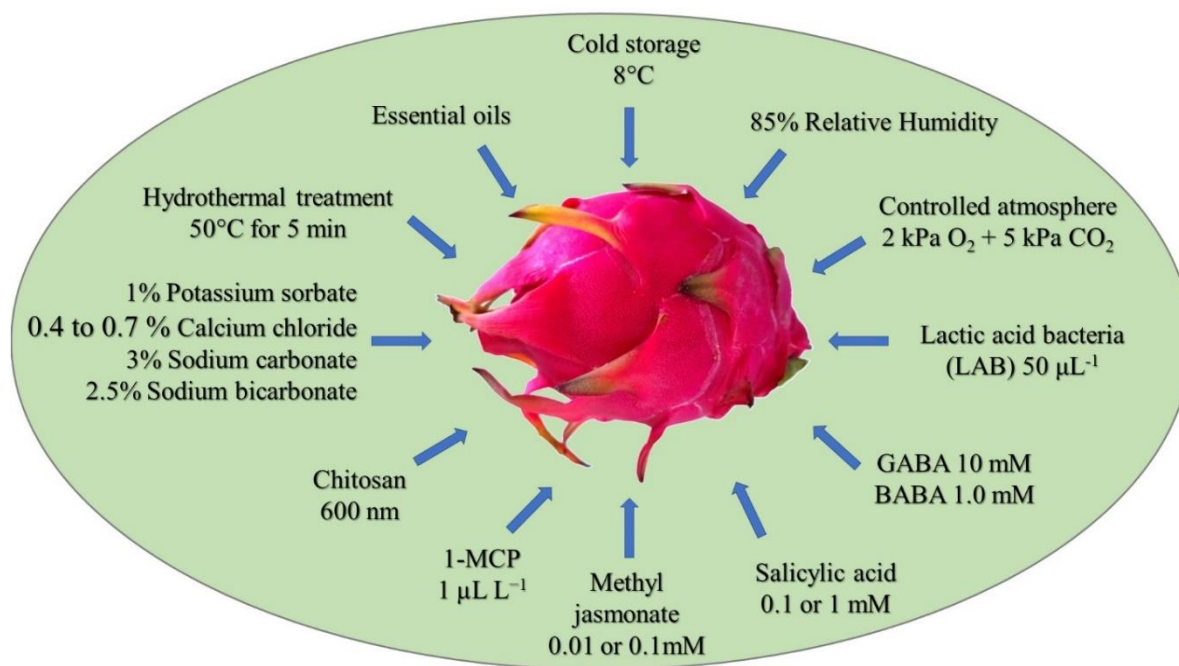


Figure 2. Main methods for increasing the storage period and shelf life of pitaya fruits.

The use of fruits of certain cultivars can result in an advantage in shelf life. A study by (Wu et al., 2023), found that the shelf life of pitaya of different cultivars varied and there was no direct relationship with the colour of pulp. Two cultivars, 'Dahong' with red pulp and 'Baiyulong' with white pulp, with longer shelf life, and two cultivars 'Hongshuijing' with red pulp and 'Baishuijing' with white pulp, with shorter shelf life. During post-harvest storage, 'Baiyulong' pitaya preferentially degraded pectins, 'Dahong' degraded lignin more intensely, while for 'Baishuijing' and 'Hongshuijing' there was degradation of each cell wall polysaccharide, which provided great support for their different pulp firmness decline rates for

each cultivar.

4.3.1 Salts as alternative to fungicides

Salts are considered food additives or compounds generally recognized as safe (GRAS), and can be used to control diseases and maintain postharvest quality of fruits and vegetables (Magurany, 2023). The physiological effects of the salts in inhibiting the growth of pathogens are probably due to a reduction in the turgor pressure of the fungal cells, which results in the collapse and shrinkage of hyphae and spores (Figure 3), consequently, an inability of the fungus to sporulate and spread fungal infections (Soto-Muñoz et al., 2020).

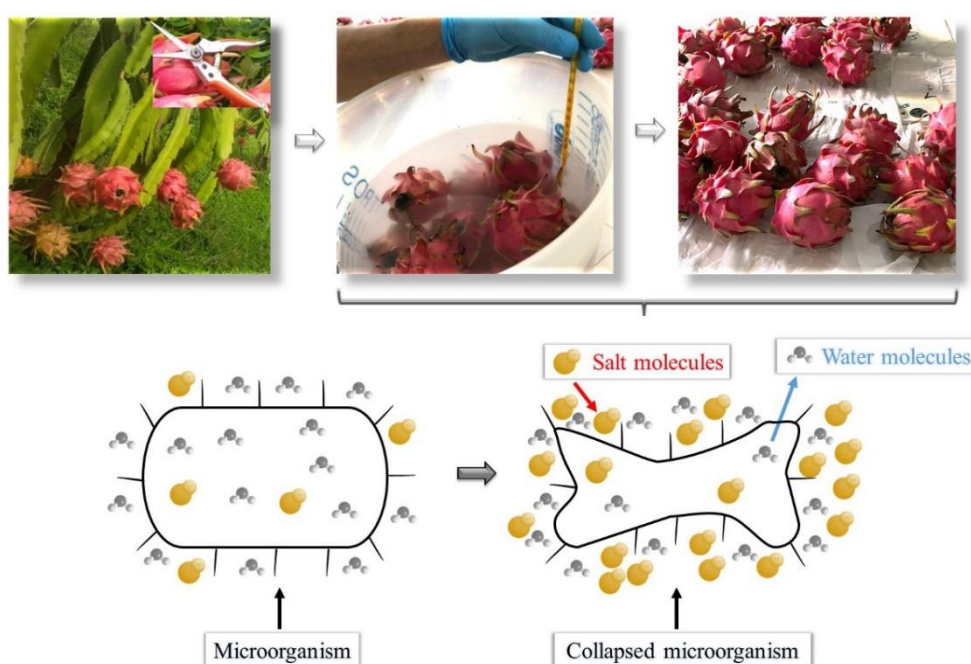


Figure 3. Scheme of the process of the hydrothermal treatment method with salts in pitaya fruits and the mechanism of action due to the difference in osmotic potential of the salts in the microorganisms at the cellular level.

Salt potential difference occurs when there is an imbalance of electrolytes on either side of the cell membrane, leading to a change in electrical charge and ultimately causing the cell to collapse. This process is known as osmotic shock and can be used as a method to control fungal infections in pitaya fruits (Jitareerat et al., 2018). To achieve osmotic shock, a certain concentration of salt is applied to the pathogen cell. This causes water to be drawn out of the cell, creating a hypertonic environment that disrupts the cell membrane.

4.3.1.1 Calcium chloride

According to our preliminary studies, calcium chloride (CaCl_2) provides potential postharvest effects and benefits in pitaya fruit, such as reducing microbial activity and spoilage,

reduces severity of injury caused by diseases, playing a role in cell wall structure, improving fruit firmness and texture. Increasing the calcium content in the pulp and peel of the pitaya is beneficial for consumers, as well as minimizing physiological disorders in the fruit, such as gelatinization and cold injury (Awang et al., 2011). The enzymes pectin methylesterase (PME) and polygalacturonase (PG) are responsible for changes in the texture of pitaya fruits during ripening, through the compound effect of cell wall hydrolases, and calcium reduces the activity of these enzymes (Awang et al., 2013b).

The effectiveness of calcium chloride treatment can vary based on several factors, such as the source and concentration of the solution, method of application, and specific pitaya variety. Furthermore, the response of different fruits to postharvest treatments may depend on the stage of maturity at harvest and storage conditions. The effect can be negative if the complete dilution of the calcium salt does not occur, residues remain in the fruit or if there is an overdose, therefore the dose of calcium chloride previously recommended for immersion of the fruits ranges from 0.4 to 0.7 % (Awang et al., 2013a), but it needs more studies with different conditions.

4.3.1.2 Potassium sorbate

Potassium sorbate is a common food preservative used to inhibit the growth of mold, yeast, and some bacteria, and it has been applied in various fruits to extend their shelf life and maintain quality (Aguilar-Marcelino et al., 2023). In apple studies 1% potassium sorbate significantly reduced blue mold caused by *Penicillium expansum*, especially when applied with water heated to 53°C compared to room temperature at 20°C (Fadda et al., 2015).

A study with fruits of pitaya *Selenicereus undatus* (Jitareerat et al., 2018), showed that potassium sorbate combined with hot water (55 °C) for 5 min, followed by cooling in running water (10 °C) for 10 min, can reduce the severity of fruit rot by significantly inhibiting the germination of spores of *C. gloeosporioides*, *C. capsici* and *Fusarium* sp., and helps maintain fruit texture and color during storage at 13 °C. The biotic effectiveness of potassium sorbate may vary depending on the specific pathogens present in pitaya and storage conditions.

The use of potassium sorbate as a postharvest treatment must comply with the regulations and guidelines of the region where the fruit is being sold or exported. Care must be taken in applying the proper amount of potassium sorbate to avoid overdosing costs, in addition to exceeding residue limits, as excess can have adverse effects on human health. Some consumers may be concerned about the use of preservatives, so it is essential to clearly communicate with consumers about any postharvest treatments of pitaya.

4.3.1.3 Sodium carbonate and bicarbonate

For citrus fruits, the ability of sodium carbonate and sodium bicarbonate to induce resistance to pathogens was studied (Youssef et al., 2014). The accumulation of phytoalexins and carbohydrates, which are metabolites capable of controlling, directly or indirectly, the infection of the pathogen, reinforces the idea that the enzyme phenylalanine ammonia lyase (PAL) is involved in the mode of action of the tested salts. The induced resistance should be considered as an important aspect of the multiple mechanisms of sodium salts to control postharvest rot of citrus fruits. Therefore, 3% sodium carbonate reduced green and blue molds caused by *Penicillium digitatum* (Pers.:Fr.) Sacc. and *Penicillium italicum* Wehmer, respectively.

Immersion of yellow pitaya fruits (*Selenicereus megalanthus*) for 1 minute at room temperature (20 °C) in a 298 mM sodium bicarbonate solution (2.5%) is feasible in reducing the incidence of black rot caused by *Alternaria alternata*. Sodium bicarbonate delayed ripening, and flavor panels showed that stored fruits maintained good sensory quality up to 21 days at 12 °C plus 5 days at 20 °C (Vilaplana et al., 2018). Before treatment, the fruits were washed with 5% sodium hypochlorite pH 7.5 for 2 min and rinsed with tap water.

4.3.2 Hot water or air treatment

Combining food additives with hot water followed by cold water is known to increase the effectiveness of the additives in controlling pathogens on fruit. For the control of black rot caused by *Alternaria alternata* on yellow pitaya (*Selenicereus megalanthus*), (Vilaplana et al., 2017) used hot water at 50°C for 2 min, before storage at 12°C for 21 days, and reduced the diameter of the lesion by 63.1%, with no significant effect on the sensory qualities of the fruit.

Hot water at 50°C for 5 min, followed by coating composed of 1% chitosan and 0.2% κ-carrageenan (sulfated plant polysaccharide, Sigma Chemical Co., USA), is a potential strategy to maintain general pitaya quality during storage at 10°C (Nguyen et al., 2020). Hot water regulates the accumulation of H₂O₂ and the activities of CAT, APX enzymes in the bark, thus increasing resistance against postharvest diseases. Meanwhile, coating after hot water helps maintain the appearance of pitaya bracts. Furthermore, hot water alone or hot water combined with the composite coating improved fruit edibility in terms of phenolic content and antioxidant activity.

Hot air treatment using a heat treatment chamber (CRT104P; Chongqing Well Experiment Equipment, China) has been used in fruit postharvest, as described by (Liu et al., 2017). Pitaya fruits ‘Meilong’ were exposed to vapor heat treatment at 49 °C for 70 min and then were cooled by air at 20 °C for 60 min until the core temperature dropped to 30 °C. After that, the fruits

were stored at 5 °C and fruit quality was evaluated at 1, 7 and 14 days, as well as the effect of steam heat treatment on cochineal (*Planococcus lilacinus* Cockerell) (Ren et al., 2022). The level of efficacy against *P. lilacinus* infestation was 99.9%, providing quarantine security. Vapor heat treatment does not have significant negative effect on the value of peel colour and soluble solids, titrate acidity, of pulp, and the scores of the firmness and general appearance. Moreover, vapor heat delayed the ripening of pitaya fruit by increasing their firmness and decreasing their respiration rates, which will prolong the storage of fruit (Ren et al., 2022).

In Vietnam, fruits of *Selenicereus undatus* ‘Binh Thuan’ were subjected to hot air treatments at 46.5 °C for 20 min and stored in sealed polypropylene bags for 14 to 28 days at 5 °C. Fruit quality (weight loss, colour, firmness and appearance) was not significantly different from unheated control fruit, either after treatment at harvest or after storage for up to 28 days (Hoa et al., 2006).

4.3.3 Essentials oils

Essential oils are concentrated extracts derived from plants and have been studied for their antimicrobial, antioxidant, and preservative properties. When applied to fruits, essential oils may help inhibit the growth of microorganisms, delay ripening, and extend shelf life. Different essential oils have varying effects on different fruits, so the choice of essential oil and its concentration is essential for desired outcomes (Palou et al., 2016).

Activated carbon is a high-capacity adsorbent that is widely available and safe for contact with food. Peppermint oil (*Mentha piperita* L.) adsorbed activated carbon at different concentrations (100–1000 $\mu\text{L L}^{-1}$) was placed with the pitaya fruit in the storage box (1 L) at 25 ± 2 °C and $75 \pm 5\%$ RH for 21 days (Chaemsanit et al., 2018). Peppermint oil adsorbed in activated carbon at 700 $\mu\text{L L}^{-1}$ could inhibit growth of *Aspergillus niger*, *Penicillium* and *Rhizopus* on the surface of pitaya fruit, with 100% inhibition for 14 days of storage, except *Aspergillus flavus* (80% for 14 days and 60% for 21 days). Furthermore, no natural mold was reported on the surface of fruit during storage for 21 days (control start decayed at day 7). In addition, essential oil vapor maintained a firmer fruit, greenness of the bract, titratable acid value and total phenolic content after 21 days in comparison to the control (Chaemsanit et al., 2018).

In addition, pitaya fruits treated with clove essential oil (*Eugenia caryophyllus*), at concentrations of 500 and 1000 $\mu\text{g/mL}$, showed a 31% reduction in the mycelial growth of *Alternaria alternata* in relation to untreated fruits, inhibiting the development of the fungus in the fruit epidermis. *E. caryophyllus* has the antifungal compound eugenol as the major constituent (90.5%) (Castro et al., 2017).

4.3.4 Chitosan

Chitosan is a natural biopolymer derived from the deacetylation of chitin, a substance found in the exoskeletons of crustaceans like shrimp and crabs. The use of chitosan in post-harvest fruit treatments has been studied due to its antimicrobial and film-forming properties. When applied as a coating, chitosan can help reduce water loss, control decay, and maintain fruit quality during storage (Saberri Riseh et al., 2024).

Submicron chitosan dispersions (SCD) have an average droplet size of 600 nm, and due to their smaller size and greater kinetic stability, such droplets have been successfully used in the agrochemical industry (Guo et al., 2020). The use of SCD, compared to conventional chitosan (CC), in pitaya fruits after harvest has been reported (Ali et al., 2013). In the control of anthracnose, 1.0% SCD with a droplet size of 600 nm, reduces the incidence (93%) and severity (75%) of the disease during 28 days of storage at 10 ± 2 °C and 80 ± 5 % RH. In the control fruits, the incidence of diseases reached a maximum of 99.9%, while in the fruits treated with 2.0% CC, the incidence was reduced by 80% and the severity by 68%. SCD with 600 nm drops showed the most promising results in terms of reduced incidence compared to CC at all concentrations, in addition to reducing flavonoid degradation (Ali et al., 2013).

In contrast, the use of double layer coatings with the bigger droplet size of submicron chitosan dispersions (1000 nm droplet +1.0 % conventional chitosan) show some detrimental effects on fruit quality such as increased weight loss, decrease in antioxidants and increased respiration rate, which decreases the storage life of pitaya fruit (Ali et al., 2014). Consequently, brownish spots appeared on the fruits after 8 days of storage, which later turned into black spots. This occurs due to cell death due to lack of oxygen in higher concentration of chitosan.

Nonetheless, it's crucial to note that the effectiveness of these treatments can depend on various factors, including the type of essential oil, chitosan formulation, concentration, application method, and storage conditions of pitaya fruits.

4.3.5 1-methylcyclopropene (1-MCP)

Although the ripening of non-climacteric fruit is independent of peak ethylene production, several studies have shown the function of 1-MCP (ethylene antagonist) in extending storage life of non-climacteric fruits (Li et al., 2016). So far, there is still uncertainty about the exact mode of action by which exposure to 1-MCP may inhibit ripening-related processes in non-climacteric fruits (Cherian et al., 2014). However, it is reasonable to assume that 1-MCP might inhibit the fruit response to the low basal levels of ethylene that are naturally produced by non-climacteric fruits, and which could affect at least some aspects of fruit ripening (Chatterjee et al., 2021).

It was found that the immersion of yellow pitaya fruits (*Selenicereus megalanthus* Haw) in an aqueous solution of 1-MCP at a concentration of 200 $\mu\text{g L}^{-1}$ for 10 minutes extended the commercial preservation of the fruits by three days, reducing the maturity index, color changes and fluctuations in titratable acidity and soluble solids, in addition to preserving the firmness of fruits stored for 15 days at $25 \pm 2^\circ\text{C}$ and relative humidity of 75% (Serna et al., 2012). For this same pitaya species, 600 mg L^{-1} of vaporized 1-MCP was used. And it was reported that there was a reduction in the respiratory rate and weight loss, it preserved the firmness, the yellowing of the peel and the accumulation of carotenoids in the fruits stored for 30 days at an average temperature of 18°C and relative humidity of 75% (Deaquiz et al., 2014).

According to (Li et al., 2016), exposure of red pitaya 'Bilu' to 1-MCP at 1 $\mu\text{L L}^{-1}$ for 24h at 15°C , delayed fruit senescence, improved the appearance of bracts and general appearance of the fruit, observed after 14 days of refrigerated storage at 10°C , followed by 5 days under ambient conditions at 20°C .

Red pitaya fruits were treated with 1 $\mu\text{L L}^{-1}$ 1-MCP, 20 $\mu\text{L L}^{-1}$ Carvacrol (CVR) or their combination (1-MCP + CVR), and then stored at 7°C for 30 days (Liu et al., 2019). Carvacrol (CRV) is a monoterpene constituent of essential oils extracted from aromatic plants, being found in greater percentage in oregano (*Origanum vulgare* L.) and thyme (*Thymus vulgaris* L.), it is considered a food additive (GRAS) with antifungal activity (Milagres de Almeida et al., 2023). The combined use of 1-MCP and CVR is more effective in reducing pitaya fruit deterioration during storage than individual treatments. In addition, the combination of these treatments reduces the levels of $\text{O}_2^{\cdot-}$, H_2O_2 , and lipid peroxidation, and increases the activities of the enzymes superoxide dismutase, catalase and ascorbate peroxidase, compared to the uncombined application. (Liu et al., 2019).

4.3.6 Salicylic acid and methyl jasmonate

Salicylic acid (SA) and methyl jasmonate (MJ), are natural secondary metabolites of plants, and play an important role in activating systemic resistance to biotic and abiotic stresses, affecting fruit maturity, quality and senescence (Heredia and Cisneros-Zevallos, 2009; Sinha et al., 2021).

Four concentrations of SA (0.1, 1, 2 and 5 mM) and MJ (0.01, 0.1, 0.2, and 0.5 mM) were applied to pitaya fruits with red peel and red pulp, and then the fruits were stored at cold at 6°C and 60 to 70% relative humidity for 21 days (Mustafa et al., 2018). Results revealed that lower doses of SA (0.1 and 1 mM) exhibited a role in delaying ripening, and did not enhance the bioactivity of the fruit. Meanwhile, MJ did not have a significant effect on ripening, yet resulted in enhanced betacyanin and antioxidant activity at the lowest doses (0.01 and 0.1mM).

The plant resistance elicitor Benzo (1,2,3)-thiadiazole-7-carbothioic acid S-methyl ester (BTH) is a structural analog of salicylic acid. Pitaya fruit 'Bai shui jing' were dipped in 50 mg L⁻¹ BTH solutions (containing 0.05% Tween 80) for 15 min. After treatments, the fruit were placed into 0.02 mm thick unsealed polyethylene bag and stored at room temperature (25 ± 1 °C) for 10 days (Ding et al., 2021). The BTH treatment provides a lower lipid peroxidation level in the fruits, lower hydrogen peroxide content, higher contents of reduced ascorbic acid and reduced glutathione levels and higher ratios of reduced to oxidized glutathione and ascorbic acid, as well as higher activities of ROS scavenging enzymes. In addition, BTH treatment increases the content of bioactive compounds such as phenolics and lignin.

4.3.7 γ -Aminobutyric acid and β -aminobutyric acid

The γ -aminobutyric acid (GABA) and β -aminobutyric acid (BABA) are a non-protein amino acids that play a crucial role as elicitors capable of inducing disease and physiological disorders resistance in many vegetables (Cohen et al., 2016; Janse van Rensburg and Van den Ende, 2020). That's why, in recent years, GABA and BABA have gained attention in various agricultural and food applications, including extending the shelf life of fruits, as they reduce oxidative stress, respiration and ripening control, microbial growth inhibition, texture maintenance and reduce chilling injury.

It has been reported that 1.0 mM GABA for 10 min, and stored at 25 ± 1 °C and 60%–70% relative humidity treatment, can induce H₂O₂ production, increase the activities and gene expressions of antioxidant systems in pitaya fruit 'Zihonglong' (*S. costaricensis*), with red peel and pulp (Ding et al., 2023). Consequently, enhances disease resistance, by regulating reactive oxygen species (ROS) metabolism.

Pitaya fruits 'Zihonglong' inoculated with *Gilbertella persicaria* were dipped in 10 mM BABA for 15 min and stored for 10 days at ambient temperature at 25 ± 2 °C and RH 70–75% (Guolin et al., 2019). In vitro test was also performed. The results showed that 10 mM BABA had no obvious inhibitory effects on *G. persicaria* in vitro. However, BABA significantly reduced lesion diameter in the fruits relative to the control, via activation of defense-related enzymes, including phenylalanine ammonia lyase (PAL), 4-coumarate/coenzyme A ligase (4CL), peroxidase (POD) and polyphenol oxidase (PPO), and enhancement of the levels of phenolics, flavonoids and lignin.

4.3.8 Endophytic lactic acid bacteria (LAB)

Bacteriocins are biologically active compounds produced by a large number of Gram-positive and Gram-negative bacteria (Field et al., 2018; Silva et al., 2023). However, those produced by lactic acid bacteria (LAB) are of particular interest to the food industry in their use

as biopreservatives, to control fungal diseases. These substances are recognized as safe and do not interfere with the sensory quality of the food (Silva et al., 2018).

The *Lactobacillus plantarum* IBUN-090-03774, an endophytic bacterium isolated from healthy yellow pitaya fruits (*Selenicereus megalanthus* [K. Schum. ex Vaupel] Moran) and its isolated metabolites (Valencia-Hernández et al., 2021) efficiently reduce up to 99.9% of basal rot caused by *Fusarium fujikuroi* (F17) and *Fusarium oxysporum* (F54) in yellow pitaya fruits themselves. In addition, 50 µL of the fungistatic agent of the microbial compounds (bacteriocins) delay both the browning and the loss of firmness of these fruits stored for more than 15 days in an environmental chamber at 24 °C and 65% relative humidity (Lozada et al., 2022).

4.3.9 Technologies with potential for pitaya

In some cases, fungicides based on synthetic molecules are used to control post-harvest fruit pathogens, which results in chemical residues that are harmful to health and resistance of fungal strains by selection (Boubaker et al., 2009). It is therefore essential to investigate alternative technologies for managing pathogens, such as biological control (Khadiri et al., 2023).

The bacterium *Bacillus cereus* strain B8W8 has showed interesting biological activities against major postharvest fungal pathogens of apple and citrus fruit (Khadiri et al., 2023) and can be studied as a potential biological control agent in pitaya fruits. This same study confirmed that, the molecular analysis demonstrated the ability of this bacterium to produce the fengycin (antifungal lipopeptide complex). It is likely that the combination of this lipopeptide and lytic enzymes from this bacterium is the mechanism of action as a biocontrol (Khadiri et al., 2023). However, before this bacterium can be registered and marketed as a biofungicide, numerous investigations must be carried out with the aim of adapting its use to the postharvest conditions of pitaya.

Considering the high humidity in fresh produce packaging, moisture-triggered controlled-release packaging systems provide an innovative way to release essential oils in a controllable manner (Du et al., 2023). Thyme essential oil, which has antimicrobial activities, and kaolin, which has hygroscopic properties, are highly biocompatible for food preservation, and significantly extend the conservation period of strawberries and grapes during storage (Zhou et al., 2023). Therefore, this composite, with excellent biosafety and antibacterial activities, has potential applications in active or intelligent packaging to be tested in pitaya fruit conservation.

Another sustainable method is the use of natural preservatives such as bamboo vinegar and peach gum. Bamboo vinegar emerges as a by-product during the bamboo pyrolysis process,

showcasing numerous dynamic chemical components like phenols, acetic acid, and aldehydes. Peach gum, composed of polysaccharides and monosaccharides, is excreted from peach tree fruits or trunks in response to insect damage, microbial assaults, or mechanical injuries (Yao et al., 2013). The effects of the bamboo vinegar combined with peach gum can control grey mould caused by *Botrytis cinerea* and withhold the postharvest quality of fresh blueberries (*Vaccinium* spp.) during storage (Shi et al., 2019). Therefore, the approach using this technology can be studied and perhaps developed for commercial use in postharvest of pitaya fruits. Updated research indicates the diverse and valuable chemical constituents present in bamboo vinegar and highlights the specific conditions triggering the secretion of polysaccharide-rich peach gum, with antimicrobial potential.

4.4 Storage conditions

It is important to handle, clean and store pitaya fruits in proper conditions. This typically involves storing the fruit at appropriate temperatures and relatively high humidity to minimize water loss, slow down the ripening process and help food-safely preserve the fruit's nutritional value.

4.4.1 Temperature (°C)

Storing pitaya fruits at high temperatures, above 20 °C, accelerates respiration and leads to rapid softening and loss of sugars and organic acids (Nerd et al., 1999), leading to faster deterioration. Therefore, fruits are usually stored in cold chambers at lower temperatures, approximately 8°C, to delay the occurrence of physiological disorders (Obenland et al., 2016; Sheng et al., 2021).

Storage of *S. monacanthus* for up to 14 days at 6°C and 14°C effectively maintains quality, although fruit stored at 6°C for 14 days reduced firmness and became unacceptable after transfer to 20° C for another 7 days (Nerd et al., 1999). The same authors found that *S. undatus* lost sensory quality after 14 days at 14°C and developed chilling damage to the bark after storage for 14 days at 6°C plus 7 days at 20°C, indicating the potential for tolerance species differential.

Other factors may affect the response to cold, such as the species or cultivar and the place of cultivation, since pitaya *S. undatus* grown in California resisted storage at 5 °C for 20 days with good external quality and few light internal changes (Freitas and Mitcham, 2013). Fruits of *S. undatus* stored in Vietnam for 21 days at 5 °C and maintained acceptable external quality and without significant loss of flavour (Hoa et al., 2006). Table 1 shows species or cultivars, harvested at certain harvest points and stored at different temperatures, times (days) and relative humidity.

Table 1. Species or cultivars, harvest point classified by peel colour, temperature, storage time, relative humidity, and references from the main studies on cold storage and shelf life of pitaya fruits.

Species or cultivar	Harvest point	Temperature and storage time	Relative humidity	Reference
<i>S. undatus</i> ¹	Partially coloured	25 °C for 7 days	60%	(Lata et al., 2023)
<i>S. undatus</i> ¹	Almost fully coloured	20 °C for 7 days	65–75%	(Nerd et al., 1999)
<i>S. undatus</i> ¹	Partially coloured	5 °C for 20 days	80%	(Freitas and Mitcham, 2013)
<i>S. undatus</i> ‘Binh Thuan’	Partially coloured	5 °C for 21 days	Not specified	(Hoa et al., 2006)
<i>S. undatus</i> ¹	Partially coloured	5 °C for 20 days + 30 °C for 5 days	Not specified	(Pascual et al., 2017)
<i>S. undatus</i> ‘Mexicana’	Almost fully coloured	5 °C and 10 °C for 14 days	Not specified	(Obenland et al., 2016)
<i>S. monacanthus</i> ¹	Partially coloured	25 °C for 5 days	60%	(Lata et al., 2023)
<i>S. monacanthus</i> ¹	Almost fully coloured	20 °C for 7 days	65–75%	(Nerd et al., 1999)
<i>S. monacanthus</i> ¹	Almost fully coloured	14 °C for 14 days	65–75%	(Nerd et al., 1999)
<i>S. monacanthus</i> ¹	Little coloured	6 °C for 21 days	65–75%	(Nerd et al., 1999)
<i>S. monacanthus</i> ¹	Partially coloured	4 °C for 7 days	Not specified	(Yong et al., 2018)
<i>S. megalanthus</i> ‘Colombian Yellow’	Almost fully coloured	24 °C for 15 days	65 %	(Lozada et al., 2022)
<i>S. megalanthus</i> ‘Palora’	Almost fully coloured	12 °C for 21 days	85%	(Bautista, 2014)
<i>S. megalanthus</i> ‘Colombian Yellow’	Little coloured	2 °C for 14 days + 18 °C for 13 days	Not specified	(Narváez-Cuenca et al., 2011)
<i>S. monacanthus</i> x <i>S. undatus</i> ‘Physical Graffiti’	Almost fully coloured	5 °C and 10 °C for 14 days	Not specified	(Obenland et al., 2016)
<i>S. costaricensis</i> ‘Cebra’ ‘Rosa’ ‘Lisa’ ‘San Ignacio’	Almost fully coloured	5 °C and 10 °C for 14 days	Not specified	(Obenland et al., 2016)

¹ Cultivar not specified.

Each cultivar has slightly different temperature preferences for storage to maintain quality and extend storage time (figure 4). White pulp pitaya is typically more sensitive to cold temperatures than the other cultivars, so it's important not to store them at temperatures below 5°C to avoid chilling injury, which usually occurs in the pulp close to the peel. The pitaya with yellow peel with thorns (*S. megalanthus*) has a more different behaviour than the others, probably due to the thicker and more rigid peel with a more complex configuration of

polysaccharides.

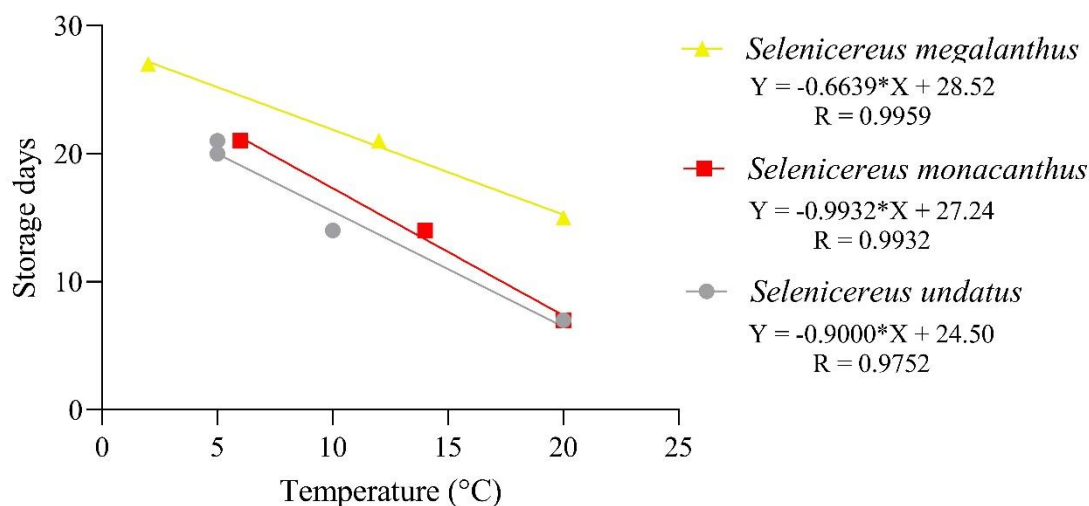


Figure 4. Temperature and days of storage for pitaya fruits of the species *S. megalanthus* (yellow peel and white pulp), *S. monacanthus* (red peel and red pulp) and *S. undatus* (red peel and white pulp). References in table 1.

In a study with the effect of refrigerated storage on the composition of betacyanin in pitayas with peel and red pulp (Yong et al., 2018), it was found that the value ranged from 0.38 to 0.46 g kg⁻¹ in the first five days of storage. After six days of storage at 4°C, the betacyanin content increased significantly by 57.2%, becoming 0.63 ± 0.04 g kg⁻¹, but decreased slightly on day seven. The authors did not specify the reason why the fruits softened after seven days of storage, there was probably a chilling injury. On the other hand, (Obenland et al., 2016) reported that 14 days of storage at 5°C and 10°C had no effect on the concentration of betacyanin, in addition, sensory evaluations indicated that there was no influence on the overall taste of the fruit. , this conclusion being accompanied by the fact that the tasters were not able to identify any differences in the taste, sweetness, acidity or texture of the stored fruits and freshly picked fruits.

4.4.2 Relative Humidity (RH%)

Pitaya fruits require adequate relative humidity to prevent the loss of moisture from the fruit and maintain its quality. Low humidity levels can result in desiccation of the bracts, leading to shrinkage, loss of firmness and shortened lifespan. However, excessively high humidity can promote fungal or bacterial growth, causing rot. Storage at relatively high humidity, approximately 85 to 90%, can help minimize weight loss and maintain fruit quality (Freitas and Mitcham, 2013).

4.4.3 Modified and Controlled Atmosphere

Modified atmosphere packaging (MAP) storage in modified atmosphere (MA) or controlled atmosphere (CA), where oxygen and carbon dioxide levels are modified or controlled, can help maintain fruit quality (Rashvand et al., 2023). There are preliminary reports of the use of modified atmosphere packaging on pitaya fruits harvested 30 days after flowering and stored in modified atmosphere bags with oxygen at a transmission rate of $4 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, for almost 35 days at 10°C (Kruger and Lemmer, 2017). There was less dehydration of the fruit body and bracts and better maintenance of fruit colour with greener bracts compared to fruit stored without bags and at the same temperature. Ripened fruits and storage at higher temperatures reduce the beneficial effects of modified atmospheres.

The use of perforated or micro-perforated plastic packaging has also been used successfully (Rashvand et al., 2023). Without packaging, the fruits are exposed to atmospheric oscillation, generating a tendency to increase respiration and loss of salable weight. Pitaya is very susceptible to water loss, consequently resulting in unpleasant shrinkage of the fruit body and bracts. The rate of fruit weight loss per day is about 0.1% at 5°C , 0.3% at 10°C and 2.6% at 20°C for *S. undatus*. However, keeping the fruit inside perforated plastic bags to maintain the highest RH around the fruit can reduce weight loss per day by up to 0.05% when stored at 5 and 10°C (Freitas and Mitcham, 2013).

It was found in our preliminary studies that, with impermeable packaging, there is an accumulation of CO_2 and excess moisture, which favours the deterioration of the pitaya fruit, with the proliferation of microorganisms. Therefore, the holes in the package allow gas exchange with the environment, maintaining a balance that favours the maintenance of fruit quality (Figure 5).

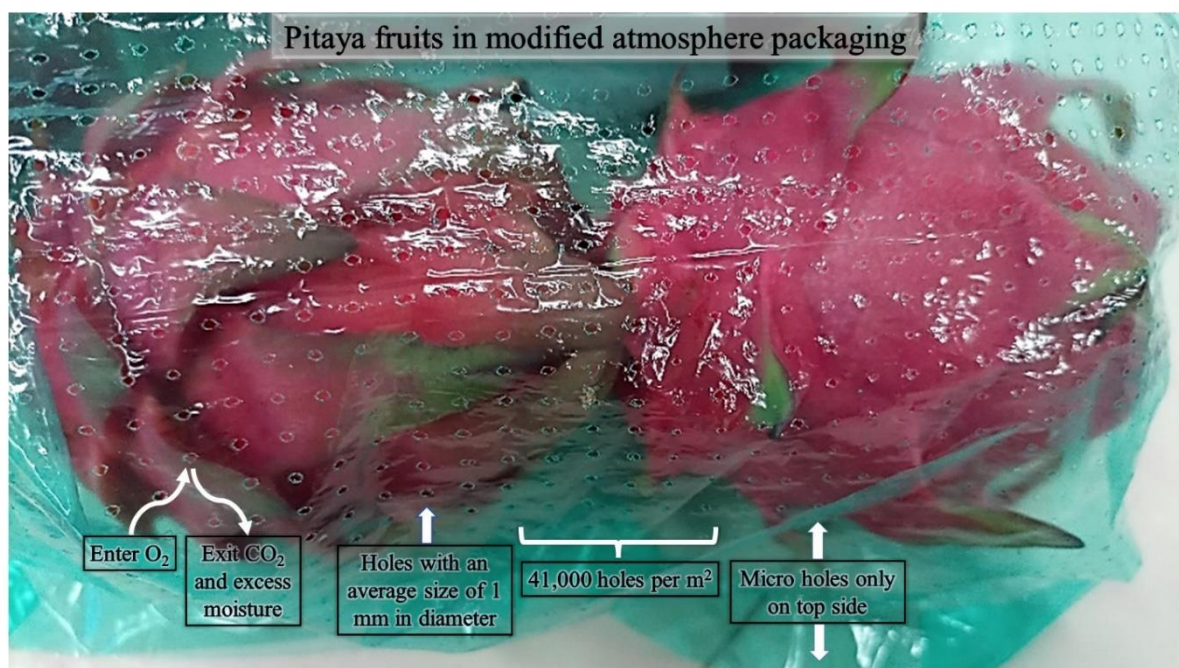


Figure 5. Low-density polyethylene plastic bag, microperforated on the upper side only (unilateral). It is 20 μm thick, holes are one mm in diameter, with 41,000 holes per m^2 .

The 50.8 μm thick polyethylene film was determined to be viable to maintain the quality of pitaya *S. undatus* with red peel and white pulp, stored at 5°C and 10°C. Based on the comparison made between the required transmission rate of the fruit and the transmission rate of the film, it was efficient to avoid anaerobic respiration that can cause unpleasant fruit taste (Pascual et al., 2017).

A study was carried out with the objective of finding an optimal controlled atmosphere (CA) storage condition for the pitaya fruit (Ho et al., 2021). The CA condition of 2 kPa O_2 + 5 kPa CO_2 seemed to better preserve fruit quality after 50 days at 6 °C by retaining the green colour of the bract, maintaining fruit acidity and the sensory quality. The production of fermentation products at low O_2 was reduced by increasing CO_2 concentration. Although the changes of aroma composition did not negatively affect sensory flavour quality (Ho et al., 2021).

4.4.4 Transportation

Transport is an unavoidable activity in the supply chain needed to distribute pitaya from farm to market. Transport of fresh produce from production centres to retail markets is done by truck, train, ship, or plane. Transport plays a necessary role in extending shelf life and maintaining fruit quality. However, this operation can contribute to great economic losses if not properly managed (Al-Dairi et al., 2023).

For transport on long trips, it is important to use polystyrene packaging or materials that cushion impacts to protect against mechanical damage and to avoid breakage of the bracts that decrease the visual quality of the pitaya, or injuries to the body of the fruit that cause biochemical changes that interfere with the flavour. As pitaya is cultivated in tropical or subtropical countries, transport must be refrigerated, since high temperature fluctuations drastically reduce fruit quality.

For transport on short trips to the consumer or final market, it is not economically feasible to use vehicles with refrigeration or sophisticated packaging. However, it is important that the transport is carried out during the cooler hours and with higher relative humidity of the day and that care be taken to avoid injuries or mechanical vibrations so that the fruits arrive in good condition at their destination.

4.5 Conclusion and future prospects

It can be concluded that sustainable methods to increase the storage period and shelf life of pitaya are not only ecologically correct but can also be economically viable for large-scale companies and organizations, as well as selective, viable and practical methods for small producers. Implementing these methods reduces waste, preserves the quality and nutritional value of the fruit, guarantees food safety for the consumer, and has a positive impact on the environment.

It's important to note that while there is potential for these methods to positively impact the shelf life of fruits, more research is needed to fully understand its effectiveness and to establish recommended application methods and concentrations for pitaya fruits. Additionally, even if the methods are sustainable, regulatory considerations and safety aspects need to be considered before any new treatments are applied to food products.

Credit author statement

Vander Lacerda: Conceptualization (equal), Investigation (equal), visualization (equal), writing – original draft (lead), software (equal), writing – review and editing (lead). Rogério Vieites: Investigation (equal), supervision (equal), writing – review and editing (supporting). Amílcar Duarte: Conceptualization (supporting), data curation (equal), methodology (supporting), supervision (lead), visualization (supporting), writing – review and editing (supporting).

Funding

The mobility of the first author in Portugal was financed by the program UNESP Presente, Edital PROPG Nº 44/2022, Inclusão social de alunos da pós-graduação da UNESP em estágio no exterior.

Declaration of competing interest

The authors declare no conflict of interest.

Data availability statement

No data was used for the research described in the article.

Acknowledgments

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—Brasil (CAPES)—Financing Code 001. Amílcar Duarte thanks the European Union, Rural Development Program PDR2020, grant number PDR2020-101-FEADER-031201, “Dragon Fruit: Validate the productive capacity of red pitaya”, which boosted the beginning of research into pitaya and PRR, Agro + Eficiente, grant number C05-i03-I-000010, which is ensuring the continuity of this work.

References

- Aguilar-Marcelino, L., Al-Ani, L.K.T., Wong-Villarreal, A., Sotelo-Leyva, C., 2023. Persistence of pesticides residues with chemical food preservatives in fruits and vegetables, in: Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. Elsevier, pp. 99–118. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91900-5.00007-2>
- Al-Dairi, M., Pathare, P.B., Al-Yahyai, R., Jayasuriya, H., Al-Attabi, Z., 2023. Postharvest quality, technologies, and strategies to reduce losses along the supply chain of banana: A review. Trends Food Sci. Technol. 134, 177–191. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.03.003>
- Ali, A., Zahid, N., Manickam, S., Siddiqui, Y., Alderson, P.G., 2014. Double Layer Coatings: A New Technique for Maintaining Physico-Chemical Characteristics and Antioxidant Properties of Dragon Fruit During Storage. Food Bioprocess Technol. 7, 2366–2374. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1224-3>
- Ali, A., Zahid, N., Manickam, S., Siddiqui, Y., Alderson, P.G., Maqbool, M., 2013. Effectiveness of submicron chitosan dispersions in controlling anthracnose and maintaining quality of dragon fruit. Postharvest Biol. Technol. 86, 147–153. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.027>
- Andreu-Coll, L., García-Pastor, M.E., Valero, D., Amorós, A., Almansa, M.S., Legua, P., Hernández, F., 2021. Influence of Storage on Physiological Properties, Chemical Composition, and Bioactive Compounds on Cactus Pear Fruit (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.). Agriculture 11, 62. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010062>
- AOAC, 2005. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists, American Journal of Public Health and the Nations Health. <https://doi.org/10.2105/ajph.46.7.916-a>

- Awang, Y., Ghani, M.A.A., Sijam, K., Mohamad, R.B., 2011. Effect of calcium chloride on anthracnose disease and postharvest quality of red-flesh dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). African J. Microbiol. Res. 5. <https://doi.org/10.5897/AJMR10.541>
- Awang, Y.B., Abdul Ghani, M.A., Sijam, K., Mohamad, R.B., Hafiza, Y., 2013a. Effect of Postharvest Application of Calcium Chloride on Brown Rot and Quality of Red-Flesh Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*). Acta Hortic. 763–771. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.979.85>
- Awang, Y.B., Chuni, S.H., Mohamed, M.T.M., Hafiza, Y., Mohamad, R.B., 2013b. Polygalacturonase and Pectin Methylesterase Activities of CaCl₂ Treated Red-Fleshed Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Harvested at Different Maturity. Am. J. Agric. Biol. Sci. 8, 167–172. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2013.167.172>
- Balendres, M.A., Bengoa, J.C., 2019. Diseases of dragon fruit (*Hylocereus* species): Etiology and current management options. Crop Prot. 126, 104920. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104920>
- Bautista, K.M.P., 2014. Estudio del efecto del hidrogenofriamiento y la utilización de dos tipos de empaque en la calidad poscosecha de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria.
- Bleinroth, E.W., Zuchini, A.G.R., Pompeo, R.M., 1976. Determinação das características físicas e mecânicas de variedades de abacate e a sua conservação pelo frio. Coletânea do Inst. Tecnol. Aliment.
- Bordoh, P.K., Ali, A., Dickinson, M., Siddiqui, Y., Romanazzi, G., 2020. A review on the management of postharvest anthracnose in dragon fruits caused by *Colletotrichum* spp. Crop Prot. 130, 105067. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105067>
- Boubaker, H., Saadi, B., Boudyach, E.H., Benaoumar, A.A., 2009. Sensitivity of *Penicillium digitatum* and *P. italicum* to Imazalil and Thiabendazole in Morocco. Plant Pathol. J. 8, 152–158. <https://doi.org/10.3923/ppj.2009.152.158>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Sci. Technol. 28, 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Carmen, F., Frances, C., Barthe, L., 2023. Trends on valorization of pitaya fruit biomass through value-added and green extraction technology – A critical review of advancements and processes. Trends Food Sci. Technol. 138, 339–354. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.014>
- Castro, J.C., Endo, E.H., de Souza, M.R., Zanqueta, E.B., Polonio, J.C., Pamphile, J.A., Ueda-Nakamura, T., Nakamura, C.V., Dias Filho, B.P., Abreu Filho, B.A. de, 2017. Bioactivity of essential oils in the control of *Alternaria alternata* in dragon fruit (*Hylocereus undatus* Haw.). Ind. Crops Prod. 97, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.12.007>

- Chaemsanit, S., Matan, Narumol, Matan, Nirundorn, 2018. Effect of peppermint oil on the shelf-life of dragon fruit during storage. *Food Control* 90, 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.03.001>
- Chatterjee, A., Dhal, S., Pal, H., 2021. Insight into the regulatory network of miRNA to unravel the ripening physiology of climacteric and non-climacteric fruits. *Plant Gene* 28, 100329. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2021.100329>
- Cherian, S., Figueroa, C.R., Nair, H., 2014. ‘Movers and shakers’ in the regulation of fruit ripening: a cross-dissection of climacteric versus non-climacteric fruit. *J. Exp. Bot.* 65, 4705–4722. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru280>
- Cohen, Y., Vaknin, M., Mauch-Mani, B., 2016. BABA-induced resistance: milestones along a 55-year journey. *Phytoparasitica* 44, 513–538. <https://doi.org/10.1007/s12600-016-0546-x>
- da Silva Ferreira, M.V., de Moraes, I.A., Passos, R.V.L., Barbin, D.F., Barbosa, J.L., 2023. Determination of pitaya quality using portable NIR spectroscopy and innovative low-cost electronic nose. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 310, 111784. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111784>
- Deaquiz, Y.A., Álvarez-Herrera, J., Fischer, G., 2014. Ethylene and 1-MCP affect the postharvest behavior of yellow pitahaya fruits (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Agron. Colomb.* 32, 44–51. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n1.41950>
- Devianti, Sufardi, Hafsah, S., Sariadi, Ahmad, F., Arianti, N.D., Saputra, E., Hartuti, S., 2023. Rapid and non-destructive determination of vitamin C and antioxidant activity of intact red chilies using visible near-infrared spectroscopy and machine learning tools. *Case Stud. Chem. Environ. Eng.* 8, 100435. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100435>
- Ding, X., Liu, S., Duan, X., Pan, X., Dong, B., 2023. MAPK cascade and ROS metabolism are involved in GABA-induced disease resistance in red pitaya fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 200, 112324. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112324>
- Ding, X., Zhu, X., Zheng, W., Li, F., Xiao, S., Duan, X., 2021. BTH Treatment Delays the Senescence of Postharvest Pitaya Fruit in Relation to Enhancing Antioxidant System and Phenylpropanoid Pathway. *Foods* 10, 846. <https://doi.org/10.3390/foods10040846>
- Du, H., Sun, X., Chong, X., Yang, M., Zhu, Z., Wen, Y., 2023. A review on smart active packaging systems for food preservation: Applications and future trends. *Trends Food Sci. Technol.* 141, 104200. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104200>
- Dutta, S., Neog, M., 2021. Shelf life extension of dragonfruit (*Hylocereus* sp.) through some advanced techniques: A review. *Pharma Innov. J.* 10, 950–953.
- Fadda, A., Barberis, A., D’Aquino, S., Palma, A., Angioni, A., Lai, F., Schirra, M., 2015. Residue levels and performance of potassium sorbate and thiabendazole and their co-application against blue mold of apples when applied as water dip treatments at 20 or 53°C. *Postharvest Biol. Technol.* 106, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.04.003>

- Ferreira, V.C., Ampese, L.C., Sganzerla, W.G., Colpini, L.M.S., Forster-Carneiro, T., 2023. An updated review of recent applications and future perspectives on the sustainable valorization of pitaya (*Hylocereus* spp.) by-products. *Sustain. Chem. Pharm.* 33, 101070. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101070>
- Field, D., Ross, R.P., Hill, C., 2018. Developing bacteriocins of lactic acid bacteria into next generation biopreservatives. *Curr. Opin. Food Sci.* 20, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.02.004>
- Freitas, S.T. de, Mitcham, E.J., 2013. Quality of pitaya fruit (*Hylocereus undatus*) as influenced by storage temperature and packaging. *Sci. Agric.* 70, 257–262. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162013000400006>
- Fu, X., Wang, M., 2022. Detection of Early Bruises on Pears Using Fluorescence Hyperspectral Imaging Technique. *Food Anal. Methods* 15, 115–123. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02092-3>
- Fullerton, R.A., Lee, W., 2021. Dragon fruit – from production to market. Food and Fertilizer Technology Center (FFTC), Taiwan.
- Guo, H., Qiao, B., Ji, X., Wang, X., Zhu, E., 2020. Antifungal activity and possible mechanisms of submicron chitosan dispersions against *Alteraria alternata*. *Postharvest Biol. Technol.* 161, 110883. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.04.009>
- Guolin, L., Meng, F., Wei, X., Lin, M., 2019. Postharvest dipping treatment with BABA induced resistance against rot caused by *Gilbertella persicaria* in red pitaya fruit. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 257, 108713. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108713>
- Heredia, J.B., Cisneros-Zevallos, L., 2009. The effect of exogenous ethylene and methyl jasmonate on pal activity, phenolic profiles and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*) under different wounding intensities. *Postharvest Biol. Technol.* 51, 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.07.001>
- Ho, P.L., Tran, D.T., Hertog, M.L.A.T.M., Nicolai, B.M., 2021. Effect of controlled atmosphere storage on the quality attributes and volatile organic compounds profile of dragon fruit (*Hylocereus undatus*). *Postharvest Biol. Technol.* 173, 111406. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111406>
- Hoa, T.T., Clark, C.J., Waddell, B.C., Woolf, A.B., 2006. Postharvest quality of Dragon fruit (*Hylocereus undatus*) following disinfesting hot air treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 41, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.02.010>
- Janse van Rensburg, H.C., Van den Ende, W., 2020. Priming with γ -Aminobutyric Acid against *Botrytis cinerea* Reshuffles Metabolism and Reactive Oxygen Species: Dissecting Signalling and Metabolism. *Antioxidants* 9, 1174. <https://doi.org/10.3390/antiox9121174>
- Jiang, H., Zhang, W., Li, X., Shu, C., Jiang, W., Cao, J., 2021. Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus* spp.) peels: A

comprehensive review. Trends Food Sci. Technol. 116, 199–217. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.040>

Jitareerat, P., Sripong, K., Masaya, K., Aiamla-or, S., Uthairatanakij, A., 2018. Combined effects of food additives and heat treatment on fruit rot disease and quality of harvested dragon fruit. Agric. Nat. Resour. 52, 543–549. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.11.019>

Khadiri, M., Boubaker, H., Askarne, L., Ezrari, S., Radouane, N., Farhaoui, A., El Hamss, H., Tahiri, A., Barka, E.A., Lahlali, R., 2023. *Bacillus cereus* B8W8 an effective bacterial antagonist against major postharvest fungal pathogens of fruit. Postharvest Biol. Technol. 200, 112315. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112315>

Korotkova N., Aquino D., Arias S., Eggli U., 2021. Cactaceae at Caryophyllales.org – a dynamic online species-level taxonomic backbone for the family. Willdenowia 51, 251–270.

Kruger, F., Lemmer, D., 2017. Postharvest management of dragon fruit, in: Lowveld Postharvest Services. p. 50.

Lata, D., Narayana, C.K., Anand, A., Rao, S., Ranjitha, K., Azeez, S., Karunakaran, G., 2023. Effect of Ambient Storage on Postharvest Quality and Shelf Life of White Pulp (*Hylocereus undatus*) and Red Pulp Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*). Erwerbs-Obstbau. <https://doi.org/10.1007/s10341-023-00930-8>

Li, L., Lichter, A., Chalupowicz, D., Gamrasni, D., Goldberg, T., Nerya, O., Ben-Arie, R., Porat, R., 2016. Effects of the ethylene-action inhibitor 1-methylcyclopropene on postharvest quality of non-climacteric fruit crops. Postharvest Biol. Technol. 111, 322–329. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.031>

Li, Y., Chen, H., Ma, L., An, Y., Wang, H., Wu, W., 2022. Laboratory Screening of Control Agents Against Isolated Fungal Pathogens Causing Postharvest Diseases of Pitaya in Guizhou, China. Front. Chem. 10. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.942185>

Liou, M.R., Chen, Y.R., Liou, R.F., 2004. Complete nucleotide sequence and genome organization of a Cactus virus X strain from *Hylocereus undatus* (Cactaceae). Arch. Virol. 149, 1037–1043. <https://doi.org/10.1007/s00705-003-0251-1>

Liu, B., Li, B., Zhan, G., Zha, T., Wang, Y., Ma, C., 2017. Forced hot-air treatment against *Bactrocera papayae* (Diptera: Tephritidae) in papaya. Appl. Entomol. Zool. 52, 531–541. <https://doi.org/10.1007/s13355-017-0501-4>

Liu, R., Gao, H., Chen, H., Fang, X., Wu, W., 2019. Synergistic effect of 1-methylcyclopropene and carvacrol on preservation of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). Food Chem. 283, 588–595. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.066>

Lozada, L.F., Aguilar, C.N., Vargas, C.L., Bedoya, C.M., Serna-Cock, L., 2022. Biological control for basal rot in yellow pitahaya fruits (*Selenicereus megalanthus*): Ex vivo trials. J. King Saud Univ. - Sci. 34, 102042. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102042>

Luu, T.-T.-H., Le, T.-L., Huynh, N., Quintela-Alonso, P., 2021. Dragon fruit: A review of health benefits and nutrients and its sustainable development under climate changes in Vietnam. *Czech J. Food Sci.* 39, 71–94. <https://doi.org/10.17221/139/2020-CJFS>

Magalhães, D.S., Ramos, J.D., Pio, L.A.S., Vilas Boas, E.V. de B., Pasqual, M., Rodrigues, F.A., Rufini, J.C.M., Santos, V.A. dos, 2019. Physical and physicochemical modifications of white-fleshed pitaya throughout its development. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 243, 537–543. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.029>

Magurany, K.A., 2023. History of GRAS, in: *History of Food and Nutrition Toxicology*. Elsevier, pp. 215–256. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821261-5.00005-2>

Milagres de Almeida, J., Crippa, B.L., Martins Alencar de Souza, V.V., Perez Alonso, V.P., da Motta Santos Júnior, E., Siqueira Franco Picone, C., Prata, A.S., Cirone Silva, N.C., 2023. Antimicrobial action of Oregano, Thyme, Clove, Cinnamon and Black pepper essential oils free and encapsulated against foodborne pathogens. *Food Control* 144, 109356. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109356>

Minolta, K., 1998. Precise color communication. Color control from perception to instrumentation. Ramsey, NJ.

Moraes, M.S. de, Figueirêdo, R.M.F. de, Queiroz, A.J. de M., Silva, L.P.F.R. da, Gonçalves, M.G., Oliveira, A.P. de, Esmero, J.A.D., Mascarenhas, N.M.H., Matos, J.D.P. de, Silva, S. do N., Quirino, D.J.G., Oliveira, A.G. de, Vieira, A.F., Araújo, M.A., Neto, M.S. de M., Santos, F.S. dos, Rodrigues, R.C.M., Costa, M.M.L. da, 2021. Elaboration of Blends of Pitaya Pulps With Acerola. *J. Agric. Sci.* 13, 53. <https://doi.org/10.5539/jas.v13n3p53>

Mustafa, M.A., Ali, A., Seymour, G., Tucker, G., 2018. Treatment of dragonfruit (*Hylocereus polyrhizus*) with salicylic acid and methyl jasmonate improves postharvest physico-chemical properties and antioxidant activity during cold storage. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 231, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.041>

Narváez-Cuenca, C.-E., Espinal-Ruiz, M., Restrepo-Sánchez, L.-P., 2011. Heat shock reduces both chilling injury and the overproduction of reactive oxygen species in yellow pitaya (*Hylocereus megalanthus*) fruits. *J. Food Qual.* 34, 327–332. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2011.00398.x>

Nelson, N., 1944. A photometric adaptation of the somogyi method for the determination of glucose. *J. Biol. Chem.* 03, 375–380.

Nerd, A., Gutman, F., Mizrahi, Y., 1999. Ripening and postharvest behaviour of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). *Postharvest Biol. Technol.* 17, 39–45. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(99\)00035-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00035-6)

Nguyen, H.T., Boonyaritthongchai, P., Buanong, M., 2020. Postharvest Hot Water Treatment Followed by Chitosan- and κ -Carrageenan-Based Composite Coating Induces the Disease Resistance and Preserves the Quality in Dragon Fruit (*Hylocereus undatus*) Postharvest Hot

Water Treatment Followed by Chitosan- and. Int. J. Fruit Sci. 20, 2030–2044. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1851342>

Nguyen, H.T., Boonyaritthongchai, P., Buanong, M., Supapvanich, S., Wongs-Aree, C., 2021. Chitosan- and κ -carrageenan-based composite coating on dragon fruit (*Hylocereus undatus*) pretreated with plant growth regulators maintains bract chlorophyll and fruit edibility. Sci. Hortic. (Amsterdam). 281, 109916. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109916>

Nishikito, D.F., Borges, A.C.A., Laurindo, L.F., Otoboni, A.M.M.B., Direito, R., Goulart, R. de A., Nicolau, C.C.T., Fiorini, A.M.R., Sinatora, R.V., Barbalho, S.M., 2023. Anti-Inflammatory, Antioxidant, and Other Health Effects of Dragon Fruit and Potential Delivery Systems for Its Bioactive Compounds. Pharmaceutics. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15010159>

Obenland, D., Cantwell, M., Lobo, R., Collin, S., Sievert, J., Arpaia, M.L., 2016. Impact of storage conditions and variety on quality attributes and aroma volatiles of pitahaya (*Hylocereus* spp.). Sci. Hortic. (Amsterdam). 199, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.021>

Palou, L., Ali, A., Fallik, E., Romanazzi, G., 2016. GRAS, plant- and animal-derived compounds as alternatives to conventional fungicides for the control of postharvest diseases of fresh horticultural produce. Postharvest Biol. Technol. 122, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.017>

Pascual, M.L.P., Peralta, E.K., Yaptenco, K.F., Elauria, J.C., Esguerra, E.B., 2017. Passive Modified Atmosphere Packaging for Low Temperature Storage of White Flesh Variety Dragon Fruit (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose). Philipp. J. Agric. Biosyst. Eng. 13, 30–41.

Paull, R.E., 2014. Dragon Fruit: Postharvest Quality-Maintenance Guidelines. Coll. Trop. Agric. Hum. Resour. 37–39.

Perween, T., Mandal, K., Hasan, M., 2018. Dragon fruit: An exotic super future fruit of India. J. Pharmacogn. Phytochem. 7, 1022–1026.

Poh, D.L.K., 2013. Tissue Selection and The Optimization of The DNA Isolation Method for The Construction of Genomic Library of Red Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*). Master thesis. University of Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia.

Rashvand, M., Matera, A., Altieri, G., Genovese, F., Fadji, T., Linus Opara, U., Mohamadifar, M.A., Feyissa, A.H., Carlo Di Renzo, G., 2023. Recent advances in the potential of modeling and simulation to assess the performance of modified atmosphere packaging (MAP) systems for the fresh agricultural product: Challenges and development. Trends Food Sci. Technol. 136, 48–63. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.04.012>

Ren, L., Qian, L., Xue, M., Peng, C., Chen, N., Zhan, G., Liu, B., 2022. Vapor heat treatment against *Planococcus lilacinus* Cockerell (Hemiptera:Pseudococcidae) on dragon fruit. Pest Manag. Sci. 78, 150–158. <https://doi.org/10.1002/ps.6616>

Rojas-Sandoval, J., Praciak, A., 2022. *Hylocereus undatus* (dragon fruit). CABI Compend. CABI Compe. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.27317>

Saberi Riseh, R., Vatankhah, M., Hassanisaadi, M., Shafiei-Hematabad, Z., Kennedy, J.F., 2024. Advancements in coating technologies: Unveiling the potential of chitosan for the preservation of fruits and vegetables. *Int. J. Biol. Macromol.* 254, 127677. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127677>

Salfinger, Y., Tortorello, M. Lou (Eds.), 2015. *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*, 5th Ed. ed. American Public Health Association, Washington: APHA. <https://doi.org/10.2105/MBEF.0222>

Serna, L., Tores, L.S., Ayala, A.A., 2012. Effect of pre- and postharvest application of 1-methylcyclopropene on the maturation of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw). *Vitae* 19, 49–59. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.10859>

Shakil, R., Islam, S., Shohan, Y.A., Mia, A., Rajbongshi, A., Rahman, M.H., Akter, B., 2023. Addressing agricultural challenges: An identification of best feature selection technique for dragon fruit disease recognition. *Array* 20, 100326. <https://doi.org/10.1016/j.array.2023.100326>

Sheng, K., Wei, S., Mei, J., Xie, J., 2021. Chilling Injury, Physicochemical Properties, and Antioxidant Enzyme Activities of Red Pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) Fruits under Cold Storage Stress. *Phyton (B. Aires)*. 90, 291–305. <https://doi.org/10.32604/phyton.2020.012985>

Shi, Z., Deng, J., Wang, F., Liu, Y., Jiao, J., Wang, L., Zhang, J., 2019. Individual and combined effects of bamboo vinegar and peach gum on postharvest grey mould caused by *Botrytis cinerea* in blueberry. *Postharvest Biol. Technol.* 155, 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.05.016>

Silva, C.C.G., Silva, S.P.M., Ribeiro, S.C., 2018. Application of Bacteriocins and Protective Cultures in Dairy Food Preservation. *Front. Microbiol.* 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00594>

Silva, S.P.M., Teixeira, J.A., Silva, C.C.G., 2023. Recent advances in the use of edible films and coatings with probiotic and bacteriocin-producing lactic acid bacteria. *Food Biosci.* 56, 103196. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103196>

Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R.M., 1999. [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. pp. 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)

Sinha, A., Gill, P.P., Jawandha, S.K., Kaur, P., Grewal, S.K., 2021. Chitosan-enriched salicylic acid coatings preserves antioxidant properties and alleviates internal browning of pear fruit under cold storage and supermarket conditions. *Postharvest Biol. Technol.* 182, 111721. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111721>

- Soto-Muñoz, L., Taberner, V., de la Fuente, B., Jerbi, N., Palou, L., 2020. Curative activity of postharvest GRAS salt treatments to control citrus sour rot caused by *Geotrichum citri-aurantii*. *Int. J. Food Microbiol.* 335, 108860. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108860>
- Tel-Zur, N., 2022. Breeding an underutilized fruit crop: a long-term program for *Hylocereus*. *Hortic. Res.* 9, 1–13. <https://doi.org/10.1093/hr/uhac078>
- Trindade, A.R., Paiva, P., Lacerda, V., Marques, N., Neto, L., Duarte, A., 2023. Pitaya as a New Alternative Crop for Iberian Peninsula: Biology and Edaphoclimatic Requirements. *Plants* 12, 3212. <https://doi.org/10.3390/plants12183212>
- Valencia-Botín, A.J., Kokubu, H., Ortiz-Hernández, Y.D., 2013. A brief overview on pitahaya (*Hylocereus* spp.) diseases. *Australas. Plant Pathol.* 42, 437–440. <https://doi.org/10.1007/s13313-012-0193-8>
- Valencia-Hernández, L.J., López-López, K., Gómez-López, E.D., Sernacock, L., Aguilar, C.N., 2021. In-vitro assessment for the control of *Fusarium* species using a lactic acid bacterium isolated from yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* (K. Schum. Ex Vaupel Moran)). *J. Integr. Agric.* 20, 159–167. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63284-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63284-1)
- Vilaplana, R., Alba, P., Valencia-Chamorro, S., 2018. Sodium bicarbonate salts for the control of postharvest black rot disease in yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). *Crop Prot.* 114, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.021>
- Vilaplana, R., Páez, D., Valencia-Chamorro, S., 2017. Control of black rot caused by *Alternaria alternata* in yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) through hot water dips. *LWT - Food Sci. Technol.* 82, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.042>
- Woolf, A., Hien, D.M., Hoa, T.T., Jackman, R., Clark, C., 2006. Dragon Fruit Assessment Manual, 1st ed, HortResearch & SOFRI. Tien Giang, Vietnam.
- Wu, Q., Gao, H., You, Z., Zhang, Z., Zhu, H., He, M., He, J., Duan, X., Jiang, Y., Yun, Z., 2023. Multiple metabolomics comparatively investigated the pulp breakdown of four dragon fruit cultivars during postharvest storage. *Food Res. Int.* 164, 112410. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112410>
- Wu, Y., Liu, C., Kuang, J., Ge, Q., Zhang, Y., Wang, Z., 2014. Overexpression of SmLEA enhances salt and drought tolerance in *Escherichia coli* and *Salvia miltiorrhiza*. *Protoplasma* 251, 1191–1199. <https://doi.org/10.1007/s00709-014-0626-z>
- Wybraniec, S., Stalica, P., Spórna, A., Mizrahi, Y., 2010. Profiles of Betacyanins in Epidermal Layers of Grafted and Light-Stressed Cacti Studied by LC-DAD-ESI-MS/MS. *J. Agric. Food Chem.* 58, 5347–5354. <https://doi.org/10.1021/jf100065w>
- Yao, X.-C., Cao, Y., Wu, S.-J., 2013. Antioxidant activity and antibacterial activity of peach gum derived oligosaccharides. *Int. J. Biol. Macromol.* 62, 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.08.022>

Yong, Y., Dykes, G., Lee, S., Choo, W., 2018. Effect of refrigerated storage on betacyanin composition, antibacterial activity of red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and cytotoxicity evaluation of betacyanin rich extract on normal human cell lines. j 91. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.078>

Youssef, K., Sanzani, S.M., Ligorio, A., Ippolito, A., Terry, L.A., 2014. Sodium carbonate and bicarbonate treatments induce resistance to postharvest green mould on citrus fruit. Postharvest Biol. Technol. 87, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.08.006>

Zahid, N., Ali, A., Siddiqui, Y., Maqbool, M., 2013. Efficacy of ethanolic extract of propolis in maintaining postharvest quality of dragon fruit during storage. Postharvest Biol. Technol. 79, 69–72. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.01.003>

Zhou, L., Hao, M., Min, T., Bian, X., Du, H., Sun, X., Zhu, Z., Wen, Y., 2023. Kaolin incorporated with thyme essential oil for humidity-controlled antimicrobial food packaging. Food Packag. Shelf Life 38, 101106. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101106>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de sais, tratamento hidrotérmico e armazenamento refrigerado, em pós-colheita da pitáia, podem minimizar as perdas qualitativas durante o armazenamento, prolongando a vida de prateleira, o período de comercialização e sua disponibilidade para a indústria de processamento. Vale ressaltar a importância de mais pesquisas com avaliações bioquímicas da casca dos frutos. Alguns consumidores podem estar preocupados com o uso de sais, por isso é essencial comunicar claramente aos consumidores sobre quaisquer produtos utilizados no tratamento pós-colheita da pitáia. É importante avançar nos estudos com análises não destrutivas, uma vez que com as análises destrutivas há uma variação nos dados devido a utilização de frutos diferentes a cada dia, mesmo que os frutos sejam de um mesmo lote. Os sais carbônicos, como o bicarbonato de sódio, são facilmente acessíveis, podem ser usados sem sérios riscos de danos à fruta e são baratos e menos complicados, comparado a alternativas não químicas, como controle biológico. Estudos futuros serão fundamentais para minimizar a deterioração pós-colheita e estender o período de armazenamento da pitáia para até 50 dias, incluindo combinações de tecnologias desde higiene de campo pré-colheita, fungicidas alternativos, incluindo desinfetantes naturais, tratamento hidrotérmico e embalagens com atmosfera modificada.

Pesquisas contínuas sobre os componentes bioativos específicos de variedades de pitáia, são promissoras para destacar os potenciais efeitos benéficos para a saúde, bem como a aceitação da fruta pelos consumidores e incentivar o processamento de produtos que podem trazer benefícios à saúde, além de substituir produtos químicos como os corantes artificiais. São necessárias mais pesquisas com técnicas analíticas, como HPLC, para separar, identificar e quantificar cada um dos componentes químicos da casca, polpa e sementes de diferentes espécies.

As condições adequadas para extração de compostos bioativos são fundamentais para o desempenho durante a extração e quantificação desses compostos antioxidantes como as betalaínas. Portanto, faz-se necessário mais pesquisas com a casca e polpa de diferentes outras espécies, como também conscientizar os consumidores para realizar o aproveitamento da casca.

REFERÊNCIAS

- BALENDRES, M. A.; BENGUA, J. C. Diseases of dragon fruit (*Hylocereus species*): Etiology and current management options. **Crop Protection**, p. 104920, 2019.
- BARBEAU G. La pitahaya rouge, un nouveau fruit exotique. **Fruits**; 45:141-174, 1990.
- BORDOH, P. K., ALI, A., DICKINSON, M., SIDDIQUI, Y., ROMANAZZI, G. A review on the management of postharvest anthracnose in dragon fruits caused by *Colletotrichum* spp. **Crop protection**, v. 130, p. 105067, 2020.
- BRITTON N. L. Descriptions and illustrations of plants of the cactus family. in: ROSE, J. N. **Dover Publication**, New York, USA, 1963, v. 1-2, p. 183-195.
- CANTO, A. R. **El cultivo de pitahaya en Yucatan**. Universidad Autónoma Chapingo – Gobierno Del Estado de Yucatan. 1993. 53p.
- CARMEN, F.; FRANCES, C.; BARTHE, L. Trends on valorization of pitaya fruit biomass through value-added and green extraction technology – A critical review of advancements and processes. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 138, p. 339–354, 2023.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. rev. amp. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 785p.
- CORDEIRO, M. H. M.; SILVA, J.; MIZOBUTSI, G. P.; MIZOBUTSI, E. H.; MOTA, W. Caracterização física, química e nutricional da pitaya-rosa de polpa vermelha. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 20-26, 2015.
- COSTA, A. C.; RAMOS, J. D.; SILVA, F. O. D. R.; DUARTE, M. H. Flowering and fructification in different types of cladodes red pitaya in Lavras-MG. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 279-284, 2014.
- DUARTE, M. H.; QUEIROZ, E. D. R.; ROCHA, D. A.; COSTA, A. C.; ABREU, C. M. P. D. Quality of pitaya (*Hylocereus undatus*) submitted to organic fertilization and stored under refrigeration. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 2017.
- FADDA, A.; BARBERIS, A.; D'AQUINO, S.; PALMA, A.; ANGIONI, A.; LAI, F.; SCHIRRA, M. Residue levels and performance of potassium sorbate and thiabendazole and their co-application against blue mold of apples when applied as water dip treatments at 20 or 53° C. **Postharvest Biology and Technology**, v. 106, p. 33-43, 2015.
- FALEIRO, F. G. JUNQUEIRA, N. T. V. Espécies, Variedades e Cultivares. In: DOS SANTOS, D. N., PIO, L. A. S., FALEIRO, F. G. **Pitaya: uma alternativa frutífera**. – Brasília: ProImpress, 2022, cap. 1, p. 11.

FALLIK, E.; GRINBERG, S.; ZIV, O. Potassium bicarbonate reduces postharvest decay development on bell pepper fruits. **J. Hortic. Sci.** 72, 35e41. 1997

FERREIRA, V. C.; AMPESE, L. C.; SGANZERLA, W. G.; COLPINI, L. M. S.; FORSTER-CARNEIRO, T. An updated review of recent applications and future perspectives on the sustainable valorization of pitaya (*Hylocereus* spp.) by-products. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, [s. l.], v. 33, p. 101070, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352554123001043>.

HERBACH, K. M.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. REINHOLD. Betalain stability and degradation—structural and chromatic aspects. **Journal of food science**, v. 71, n. 4, p. R41-R50, 2006.

INVASIVEORG. **Nightblooming cactus, *Hylocereus undatus* (Haw.)** Britt. & Rose. 2015. Disponível em: <<http://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=0019025>> Acesso em 15 ago. 2022.

JUNQUEIRA, K. P.; JUNQUEIRA, N. T. V.; RAMOS, J. D.; PEREIRA, A.V.; Informações preliminares sobre uma pitaya (*Selenicereus setaceus* Rizz) nativa do Cerrado. Planaltina: **EMBRAPA**, 18p. (Documentos, 62). 2002. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/566991/1/doc62.pdf>.

KOROTKOVA, N., AQUINO, D., ARIAS, S., EGGLI, U., FRANCK, A., GÓMEZ-HINOSTROSA, C., BERENDSOHN, W. G. Cactaceae at Caryophyllales. org—a dynamic online species-level taxonomic backbone for the family. **Willdenowia**, v. 51, n. 2, p. 251-270, 2021.

LACERDA, V. R.; ACEVEDO, A. F. G.; SANTOS, J. A. dos; VIEITES, R. L. Quantificação dos compostos bioativos da casca e polpa dos frutos de pitayas de polpa branca e vermelha. In: VIEIRA, Claudia Regina; ALVES, Érika Endo; OLIVEIRA, Neide Judith Faria de; CARELI, Roberta Torres (org.). **IV Simpósio de Engenharia de Alimentos – SIMEALI 4.0, Volume 2 - Controle de qualidade: análise sensorial, química de alimentos e análise de alimentos**. 1ªed. Montes Claros: Instituto de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Minas Gerais, 2021. p. 195–207. Disponível em: https://www.simeali.com/_files/ugd/c971a0_e62cef2477954dcb85953963ced015a1.pdf.

LE BELLEC, F.; VAILLANT, F.; IMBERT, E. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): A new fruit crop, a market with a future. **Fruits**, 61, 237–250, 2006.

Li, X.; Li, M.; Wang, J.; Wang, L.; Han, C.; Jin, P.; Zheng, Y. Methyl jasmonate enhances wound-induced phenolic accumulation in pitaya fruit by regulating sugar content and energy status. **Postharvest Biology and Technology**, v. 137, p. 106-112, 2018.

MAGALHÃES, D. S.; DA SILVA, D. M.; RAMOS, J. D.; SALLES PIO, L. A.; PASQUAL, M.; VILAS BOAS, E. V. B.; GALVÃO, E. C.; DE MELO, E. T. Changes in

the physical and physico-chemical characteristics of red-pulp dragon fruit during its development. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 253, p. 180–186, 2019b. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423819303048>.

MAGALHÃES, D. S.; RAMOS, J. D.; PIO, L. A. S.; BOAS, E. V. D. B. V.; PASQUAL, M.; RODRIGUES, F. A.; RUFINE, J. C. M.; DOS SANTOS, V. A. Physical and physicochemical modifications of white-fleshed pitaya throughout its development. **Scientia horticulturae**, v. 243, p. 537-543, 2019a.

MASYAHIT, M; K. SIJAM; Y. AWANG, MGM. The first report of the occurrence of anthracnose disease caused by *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. on dragon fruit (*Hylocereus* spp.) in Peninsular Malaysia. **American Journal of Applied Sciences**, v. 6, p. 902-912, 2009.

MENEZES, T. P.; RAMOS, J.D.; LIMA, L. C. O.; COSTA, A. C.; NASSUR, R. D. C. M. R.; RUFINI, J. C. M. Características físicas e físico-químicas de pitaiia vermelha durante a maturação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, 2015.

MENTEN, J. O. **Pitayas: Principais doenças e seu controle**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.portaldoagronegocio.com.br/agricultura/fruticultura/noticias/pitayas-principais-doencas-e-seu-controle>. Acesso em: 3 jan. 2024.

MIZRAHI Y.; NERD, A.; NOBEL, P.S. Cacti as crop, **Hortic.** v. 18, p. 291-320, 1997.

NANGARE, D. D.; TAWARE, P. B.; SINGH, Y.; KUMAR, P. S.; BAL, S. K.; ALI, S.; PATHAK, H. **Dragon fruit: A potential crop for abiotic stressed areas**. Technicaled. Baramati, Pune, Maharashtra, India: ICAR-National Institute of Abiotic Stress Management, 2020. 2020. Disponível em: <http://117.239.43.83/sites/default/files/pdfs/DragonFruitBulletin-47.pdf>.

NASCIMENTO, M.B.; BELLE, C.; AZAMBUJA, R.H.; MAICH, S.L.; NEVES, C.G.; SOUZA JUNIOR, I.T.; FARIAS, C.R., DE BARROS, D.R. First report of *Colletotrichum karstii* causing anthracnose spot on pitaya (*Hylocereus undatus*) in Brazil. **Plant Dis.** 2019.

NERD, A.; GUTMAN, F.; MIZRAHI, Y. Ripening and postharvest behaviour of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). **Postharvest Biology and Technology**, 17, 39–45. 1999.

N'GUYEN, V. K. Floral induction study of dragon fruit crop (*Hylocereus undatus*) by using chemicals, Univ. Agric. Forest., Fac. Agron., **Hô Chi Minh-ville**, Vietnam, 1996.

ORTIZ, Y. D. M. *et al.* Estrés hídrico y intercambio de CO₂ de La pitahaya (*Hylocereus undatus*), **Agrociencia**, v. 33, p. 397-405, 1999.

PAULL, R. E.; CHEN, N. J. **Overall dragon fruit production and global marketing**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://ap.fftc.org.tw/article/1596>.

PALOU, L.; USALL, J.; MUNOZ, J.A.; SMILANICK, J.L.; VINAS, I. Hot water, sodium carbonate and sodium bicarbonate for the control of postharvest green and blue molds of Clementine mandarins. **Postharvest Biol. Technol.** 24, 93e96. 2002.

PERWEEN, T.; MANDAL, K. K.; HASAN, M. A. Dragon fruit: An exotic super future fruit of India. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 2, p. 1022-1026, 2018.

ROJAS-SANDOVAL, J., PRACIAK, A. *Hylocereus undatus* (dragon fruit). **CABI Compend.** CABI Compe. 2022. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.27317>

SANTOS, C. M. G., CERQUEIRA, R. C., FERNANDES, L. M. S., DOURADO, F. W. N., ONO, E. O. Substratos e regulador vegetal no enraizamento de estacas de pitaya. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 625-629, 2010.

SONG, S.; CHU, Q.; XU, D.; XU, Y.; ZHENG, X. Purified betacyanins from *Hylocereus undatus* peel ameliorate obesity and insulin resistance in high-fatdiet-fed mice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 24, 236–244, 2016.

TAKAHASHI, L.M., ROSA, D.D., BASSETO, M.A., DE SOUZA, H.G., FURTADO, E.L. First report of *Colletotrichum gloeosporioides* on *Hylocereus megalanthus* in Brazil. Australas. **Plant Dis.** Notes 3, 96–97. 2008.

TOMAS, M. da G.; RODRIGUES, L. J.; ALMEIDA LOBO, F. de; TAKEUCHI, K. P.; DE PAULA, N. R. F.; PINTO, D. M.; NHANTUMBO, N.; PIZZATTO, M.; OUALMAKRAN, Y.; MACHADO, G. G. L.; BOAS, E. V. de B. V. Physicochemical characteristics and volatile profile of pitaya (*Selenicereus setaceus*). **South African Journal of Botany**, [s. l.], v. 154, p. 88–97, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0254629923000194>.

TRINDADE, A. R.; PAIVA, P.; LACERDA, V.; MARQUES, N.; NETO, L.; DUARTE, A. Pitaya as a New Alternative Crop for Iberian Peninsula: Biology and Edaphoclimatic Requirements. **Plants**, [s. l.], v. 12, n. 18, p. 3212, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/18/3212>.

VALENCIA-BOTÍN, A. J.; KOKUBU, H.; ORTÍZ-HERNÁNDEZ, Y. D. A brief overview on pitahaya (*Hylocereus* spp.) diseases. **Australasian Plant Pathology**, v. 42, n. 4, p. 437-440, 2013.

VALENCIA-BOTÍN, A. J.; LIVERA-MUÑOZ, M.; SANDOVAL-ISLAS, J. S. Caracterización de una cepa de *Fusicoccum* sp. anamorfo de *Botryosphaeria dothidea* Moug.: Fr (Ces. and De Not.) aislada de pitahaya [*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton y Rose] Cactaceae. **Revista Mexicana de Fitopatología**, v. 23, n. 2, 2005.

VILAPLANA, R., PAEZ, D., VALENCIA-CHAMORRO, S. Control of black rot caused by *Alternaria alternata* in yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) through hot water dips. **LWT-Food Science and Technology** 82, 162–169. 2017.

YOUSSEF, M., SANZANI, S.M., LIGORIO, A., IPPOLITO, A., TERRY, L.A., Sodium carbonate and bicarbonate treatments induce resistance to postharvest green mould on citrus fruit. **Postharvest Biol. Technol.** 87, 61-69. 2014.

ZAHID, N., ALI, A., SIDDIQUI, Y., MAQBOOL, M. Efficacy of ethanolic extract of propolis in maintaining postharvest quality of dragon fruit during storage. **Postharvest Biology and Technology**, 79, 69–72. 2013.

ZEE, F.; YEN, C. R.; NISHINA, M. Pitaya: dragon fruit, strawberry pearl. **Fruits e Nuts, Hawai**, v. 9, n. 2, p. 1-3, 2004.

APÊNDICE A – Correlação do capítulo 1

Correlação (Parte 1) de todas as análises realizadas do capítulo 1.

Correlations														
	Lp	Cp	hp	Lc	Cc	hc	Fir	Resp	Inci	AB	Sev	pH	AT	Rat
Lp	1,0000	0,6388	-0,5770	-0,3232	0,1860	-0,0084	-0,1670	-0,4575	0,1022	0,1244	0,0249	0,1444	-0,4343	0,5401
Cp	0,6388	1,0000	-0,3732	-0,3394	0,1257	-0,0914	-0,0761	-0,0989	0,1629	0,1645	0,1408	-0,0389	-0,1147	0,1707
hp	-0,5770	-0,3732	1,0000	0,7421	-0,6692	0,0178	0,2035	0,7325	-0,1298	-0,1971	-0,0569	-0,5792	0,7031	-0,7773
Lc	-0,3232	-0,3394	0,7421	1,0000	-0,9255	0,2940	0,4996	0,7876	-0,4248	-0,4330	-0,3205	-0,7700	0,5598	-0,5205
Cc	0,1860	0,1257	-0,6692	-0,9255	1,0000	-0,2157	-0,5191	-0,8071	0,4108	0,4478	0,2929	0,7549	-0,5812	0,5566
hc	-0,0084	-0,0914	0,0178	0,2940	-0,2157	1,0000	0,6879	-0,1138	-0,6229	-0,4600	-0,5443	-0,5515	-0,0188	0,0065
Fir	-0,1670	-0,0761	0,2035	0,4996	-0,5191	0,6879	1,0000	0,3414	-0,8249	-0,8444	-0,8095	-0,7103	0,1161	-0,1116
Resp	-0,4575	-0,0989	0,7325	0,7876	-0,8071	-0,1138	0,3414	1,0000	-0,1360	-0,2767	-0,0742	-0,5882	0,6187	-0,6634
Inci	0,1022	0,1629	-0,1298	-0,4248	0,4108	-0,6229	-0,8249	-0,1360	1,0000	0,9184	0,9482	0,6787	0,0274	0,0215
AB	0,1244	0,1645	-0,1971	-0,4330	0,4478	-0,4600	-0,8444	-0,2767	0,9184	1,0000	0,8805	0,6446	0,0375	0,0033
Sev	0,0249	0,1408	-0,0569	-0,3205	0,2929	-0,5443	-0,8095	-0,0742	0,9482	0,8805	1,0000	0,5642	0,1387	-0,0626
pH	0,1444	-0,0389	-0,5792	-0,7700	0,7549	-0,5515	-0,7103	-0,5882	0,6787	0,6446	0,5642	1,0000	-0,5502	0,5236
AT	-0,4343	-0,1147	0,7031	0,5598	-0,5812	-0,0188	0,1161	0,6187	0,0274	0,0375	0,1387	-0,5502	1,0000	-0,8810
Rat	0,5401	0,1707	-0,7773	-0,5205	0,5566	0,0065	-0,1116	-0,6634	0,0215	0,0033	-0,0626	0,5236	-0,8810	1,0000
Rend	0,2260	0,2610	-0,3060	-0,6862	0,6848	-0,6060	-0,8756	-0,4610	0,8441	0,7930	0,8077	0,7602	-0,2747	0,3064
Esp	-0,0493	-0,1979	-0,2942	-0,1889	0,2108	0,7436	0,5017	-0,5134	-0,5593	-0,3567	-0,5649	-0,1126	-0,2056	0,1624
SS	0,4162	0,1973	-0,3128	0,0493	-0,0076	0,1860	0,0805	-0,2840	-0,1386	-0,0643	-0,0497	-0,1261	-0,0331	0,4628
AR	0,3988	0,2130	-0,6852	-0,6819	0,7255	0,0091	-0,3723	-0,8289	0,3075	0,4671	0,2447	0,5149	-0,2831	0,5312
Meso	-0,2135	-0,2153	0,5194	0,6780	-0,6828	0,6862	0,7693	0,3738	-0,6910	-0,6854	-0,5689	-0,8399	0,4947	-0,4218
BeL	-0,1830	-0,2347	0,3371	0,5540	-0,4614	0,5697	0,8005	0,2512	-0,8510	-0,8539	-0,7907	-0,7788	0,2516	-0,1221
Bt	-0,2472	-0,2616	0,1283	0,5123	-0,5244	0,2523	0,7227	0,4964	-0,6398	-0,6598	-0,6604	-0,4573	0,0624	-0,1490
Flav	-0,1155	0,2114	-0,0728	-0,3260	0,3299	-0,5705	-0,4017	0,2077	0,5968	0,4436	0,4484	0,4453	-0,1653	-0,0393
CF	-0,3415	-0,2078	0,3089	0,2759	-0,1759	0,1430	0,5355	0,3513	-0,2072	-0,2854	-0,3989	-0,1836	0,0556	-0,0859
DPPH	-0,3275	-0,3282	0,5035	0,6496	-0,6790	0,6318	0,7584	0,3728	-0,5805	-0,5150	-0,5288	-0,6408	0,4658	-0,4441
ABTS	-0,0328	0,2595	-0,2630	-0,5861	0,4047	-0,4966	-0,5378	-0,1221	0,7155	0,6404	0,6855	0,5918	0,0589	-0,1706
FRAP	0,0740	0,0899	-0,1758	-0,3563	0,2604	0,2373	0,1980	-0,3008	-0,2086	-0,3838	-0,1718	0,0340	-0,3028	0,2077
PM	0,1354	0,1928	-0,4129	-0,7383	0,7236	-0,6068	-0,8489	-0,4336	0,9062	0,8529	0,8405	0,8653	-0,2735	0,2731

Parte 2:

	Rend	Esp	SS	AR	Meso	BeL	Bt	Flav	CF	DPPH	ABTS	FRAP	PM
Lp	0,2260	-0,0493	0,4162	0,3988	-0,2135	-0,1830	-0,2472	-0,1155	-0,3415	-0,3275	-0,0328	0,0740	0,1354
Cp	0,2610	-0,1979	0,1973	0,2130	-0,2153	-0,2347	-0,2616	0,2114	-0,2078	-0,3282	0,2595	0,0899	0,1928
hp	-0,3060	-0,2942	-0,3128	-0,6852	0,5194	0,3371	0,1283	-0,0728	0,3089	0,5035	-0,2630	-0,1758	-0,4129
Lc	-0,6862	-0,1889	0,0493	-0,6819	0,6780	0,5540	0,5123	-0,3260	0,2759	0,6496	-0,5861	-0,3563	-0,7383
Cc	0,6848	0,2108	-0,0076	0,7255	-0,6828	-0,4614	-0,5244	0,3299	-0,1759	-0,6790	0,4047	0,2604	0,7236
hc	-0,6060	0,7436	0,1860	0,0091	0,6862	0,5697	0,2523	-0,5705	0,1430	0,6318	-0,4966	0,2373	-0,6068
Fir	-0,8756	0,5017	0,0805	-0,3723	0,7693	0,8005	0,7227	-0,4017	0,5355	0,7584	-0,5378	0,1980	-0,8489
Resp	-0,4610	-0,5134	-0,2840	-0,8289	0,3738	0,2512	0,4964	0,2077	0,3513	0,3728	-0,1221	-0,3008	-0,4336
Inci	0,8441	-0,5593	-0,1386	0,3075	-0,6910	-0,8510	-0,6398	0,5968	-0,2072	-0,5805	0,7155	-0,2086	0,9062
AB	0,7930	-0,3567	-0,0643	0,4671	-0,6854	-0,8539	-0,6598	0,4436	-0,2854	-0,5150	0,6404	-0,3838	0,8529
Sev	0,8077	-0,5649	-0,0497	0,2447	-0,5689	-0,7907	-0,6604	0,4484	-0,3989	-0,5288	0,6855	-0,1718	0,8405
pH	0,7602	-0,1126	-0,1261	0,5149	-0,8399	-0,7788	-0,4573	0,4453	-0,1836	-0,6408	0,5918	0,0340	0,8653
AT	-0,2747	-0,2056	-0,0331	-0,2831	0,4947	0,2516	0,0624	-0,1653	0,0556	0,4658	0,0589	-0,3028	-0,2735
Rat	0,3064	0,1624	0,4628	0,5312	-0,4218	-0,1221	-0,1490	-0,0393	-0,0859	-0,4441	-0,1706	0,2077	0,2731
Rend	1,0000	-0,4143	0,0054	0,4797	-0,7893	-0,7683	-0,7931	0,4637	-0,3674	-0,7875	0,5660	0,0044	0,9357
Esp	-0,4143	1,0000	0,0851	0,3495	0,3875	0,3896	0,1959	-0,5356	0,1222	0,4795	-0,2132	0,3146	-0,3476
SS	0,0054	0,0851	1,0000	0,5394	0,1547	0,3497	-0,1268	-0,5970	-0,2233	-0,0089	-0,4620	-0,1559	-0,1367
AR	0,4797	0,3495	0,5394	1,0000	-0,3720	-0,2297	-0,5247	-0,1738	-0,2411	-0,3439	0,1694	-0,0162	0,4871
Meso	-0,7893	0,3875	0,1547	-0,3720	1,0000	0,8248	0,3524	-0,6869	0,1880	0,8588	-0,5525	0,2468	-0,8500
BeL	-0,7683	0,3896	0,3497	-0,2297	0,8248	1,0000	0,4826	-0,6420	0,3095	0,6173	-0,7903	0,1807	-0,8756
Bt	-0,7931	0,1959	-0,1268	-0,5247	0,3524	0,4826	1,0000	-0,0659	0,4703	0,4698	-0,3403	-0,2250	-0,6664
Flav	0,4637	-0,5356	-0,5970	-0,1738	-0,6869	-0,6420	-0,0659	1,0000	0,2326	-0,5717	0,6063	-0,1211	0,6018
CF	-0,3674	0,1222	-0,2233	-0,2411	0,1880	0,3095	0,4703	0,2326	1,0000	0,4420	-0,2441	-0,1848	-0,2910
DPPH	-0,7875	0,4795	-0,0089	-0,3439	0,8588	0,6173	0,4698	-0,5717	0,4420	1,0000	-0,4060	-0,0057	-0,7569
ABTS	0,5660	-0,2132	-0,4620	0,1694	-0,5525	-0,7903	-0,3403	0,6063	-0,2441	-0,4060	1,0000	0,1021	0,7522
FRAP	0,0044	0,3146	-0,1559	-0,0162	0,2468	0,1807	-0,2250	-0,1211	-0,1848	-0,0057	0,1021	1,0000	-0,0200
PM	0,9357	-0,3476	-0,1367	0,4871	-0,8500	-0,8756	-0,6664	0,6018	-0,2910	-0,7569	0,7522	-0,0200	1,0000

APÊNDICE B - ACP do capítulo 1

Pontuação da análise de componentes principais (ACP) de todas as análises realizadas do capítulo 1.

Eigenvalues									
Number	Eigenvalue	Percent	20	40	60	80	Cum Percent	ChiSquare	DF Prob>ChiSq
1	12,0002	44,445					44,445	1325,68	351,496 <,0001*
2	5,2660	19,504					63,949	1117,37	347,154 <,0001*
3	2,3837	8,828					72,777	945,106	330,090 <,0001*
4	1,9553	7,242					80,019	798,290	308,283 <,0001*
5	1,5336	5,680					85,699	655,581	286,506 <,0001*
6	1,1831	4,382					90,081	517,951	264,813 <,0001*
7	0,8254	3,057					93,138	385,684	243,557 <,0001*
8	0,6574	2,435					95,573	260,223	222,628 0,0426*
9	0,5229	1,937					97,510	140,074	202,457 0,9997
10	0,3910	1,448					98,958	26,804	183,020 1,0000
11	0,1892	0,701					99,659	.	164,398 .
12	0,0922	0,341					100,000	.	146,644 .

Matriz de cargas da análise de componentes principais (ACP) de todas as análises realizadas do capítulo 1.

Loading Matrix										
	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5	Prin6	Prin7	Prin8	Prin9	Prin10
Lp	0,30916	0,49528	0,33409	-0,50388	0,27044	0,18345	-0,07661	0,23281	-0,06133	-0,26836
Cp	0,29262	0,15504	0,22971	-0,45302	0,58316	0,45294	0,18325	-0,07346	-0,09985	0,02230
hp	-0,53823	-0,70323	0,12224	0,18685	-0,01898	-0,21791	0,23863	0,09567	-0,16544	-0,10588
Lc	-0,79340	-0,44065	0,23496	-0,17438	-0,17465	-0,08293	-0,05780	0,19935	0,01335	0,07700
Cc	0,76155	0,44968	-0,24972	0,22841	-0,06677	-0,03002	0,17179	-0,18072	-0,15204	0,08067
hc	-0,60816	0,48433	0,07493	0,30178	0,07494	0,22309	-0,00417	0,32923	-0,13199	0,33920
Fir	-0,87427	0,25664	-0,22796	-0,05164	0,09277	0,22877	0,12561	0,00951	0,16740	0,07739
Resp	-0,53431	-0,76837	-0,05180	-0,27820	0,07228	0,02753	0,04977	-0,03074	0,12551	0,11507
Inci	0,84071	-0,42631	0,14279	0,07676	-0,06138	0,10449	0,11352	0,15778	0,14031	0,01099
AB	0,81992	-0,31275	0,25743	0,17525	-0,18564	0,24641	-0,03933	0,15362	-0,09098	0,04231
Sev	0,76563	-0,45905	0,30530	0,14023	0,01130	0,00561	0,01011	0,13693	0,20020	0,16566
pH	0,87486	0,12035	-0,26779	0,10517	-0,23134	-0,08349	-0,08998	0,07245	0,19135	-0,14341
AT	-0,38983	-0,64495	0,44401	0,29577	0,04963	0,20576	0,05512	-0,29547	0,04808	-0,04681
Rat	0,39172	0,74599	-0,12043	-0,35772	-0,20502	-0,15738	0,09037	0,17664	0,18548	0,06050
Rend	0,93541	-0,08776	0,13300	0,04449	0,00196	-0,14243	0,20250	0,03054	-0,04682	-0,00057
Esp	-0,32868	0,69279	-0,17588	0,53609	-0,05387	0,24737	-0,13230	-0,00213	-0,08679	-0,00344
SS	-0,05468	0,50173	0,68604	-0,26196	-0,28681	0,00894	0,14434	-0,14965	0,25006	0,12112
AR	0,55255	0,59441	0,31334	0,22393	-0,25829	0,25656	0,12063	-0,18716	0,01020	-0,02958
Meso	-0,89405	0,06324	0,25036	0,25043	0,19512	-0,01455	0,08890	0,07721	0,11538	-0,01996
BeL	-0,86938	0,28993	0,10594	-0,00923	-0,04063	-0,15826	0,23950	-0,23352	0,01004	0,02380
Bt	-0,67806	-0,03662	-0,44740	-0,31529	-0,18744	0,19248	-0,31353	-0,15019	0,14755	0,05781
Flav	0,54193	-0,48695	-0,55213	-0,23821	0,09344	0,15636	0,16604	-0,00915	-0,07972	0,16169
CF	-0,39167	-0,13598	-0,51387	-0,05808	-0,36157	0,33861	0,52939	0,10595	0,04769	-0,14514
DPPH	-0,83472	-0,03273	0,05940	0,33674	-0,06413	0,25456	-0,00695	0,21468	0,16225	-0,18372
ABTS	0,68367	-0,33691	-0,20141	0,27384	0,33204	0,30365	-0,17984	-0,11897	0,22944	-0,02913
FRAP	-0,01703	0,40925	-0,23818	0,30203	0,66905	-0,36625	0,20256	0,05115	0,23230	-0,00240
PM	0,97282	-0,13378	-0,04517	0,12144	-0,03243	0,02196	0,07296	0,01615	0,08256	0,05525