

## Qualitative and safety aspects in the camu-camu production chain

### *Aspectos da cadeia produtiva do Camu-camu na sua qualidade e segurança*

Carlos Eduardo Faria Cardoso<sup>1</sup>, Maria Eduarda Flores Trindade<sup>1</sup>, Caroline Corrêa de Souza Coelho<sup>1</sup>, Anderson Teodoro<sup>2</sup>, Otniel Freitas-Silva\*<sup>3</sup>

**Abstract:** Camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) Mc Vaugh) is a native fruit of Amazon region, which stands out for its high levels of ascorbic acid and phenolic compounds. Such characteristics have increased its demand in the market, with several scientific studies being developed to elucidate its potential. As it is a climacteric fruit, its post-harvest life is short. It is due to physiological events such as the growth of microorganisms and physical injuries and, consequently, less quality and poor safety of the product that reaches consumers. Its production system is admittedly fragile as it requires proper handling techniques to preserve both the sensory and nutritional quality of fruits. Thus, this review aimed to present the state-of-the-art of its fruit's nutritional potential, quality, and post-harvest safety as raw material for the industry and consumers. The decision process outlined in the evidence inclusion protocol of this review was based on the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines. The studies selected for this review followed the flow of identification, selection, and eligibility until their inclusion, allowing the evaluation of the content addressed.

**Key words:** Unconventional Food Plants; Post-Harvest; *Myrciaria dubia* (Kunth) Mc Vaugh.

**Resumo:** O camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) Mc Vaugh) é um fruto nativo da região amazônica, que se destaca pelos altos teores de ácido ascórbico e compostos fenólicos. Essa característica, tem contribuído para o crescimento de sua demanda no mercado comercial além do desenvolvimento de diversos estudos científicos que buscam elucidar suas potencialidades. Por se tratar de um fruto climatérico, sua vida pós-colheita é curta. Isso decorre dos eventos fisiológicos, como: crescimento de microrganismos e injúrias físicas, que em consequência, diminuem a qualidade e segurança do produto que chega ao consumidor. É reconhecida a fragilidade no sistema de produção, exigindo técnicas de manipulação apropriadas, a fim de preservar a qualidade, tanto sensorial quanto nutricional do fruto. Assim, objetivou-se com esta revisão apresentar o estado da arte, evidenciando as potencialidades nutricionais, qualidade e segurança pós-colheita do fruto como matéria prima para a indústria e consumidor. O processo de decisão delimitado no protocolo de inclusão de evidências dessa revisão, foi baseado de acordo com a metodologia Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)". Os estudos selecionados para a presente revisão seguiram o fluxo de identificação, seleção, elegibilidade até a sua inclusão, permitindo a avaliação do conteúdo abordado.

**Palavras-chave:** Plantas Alimentícias Não-Convencionais; Pós-Colheita; *Myrciaria dubia* (Kunth) Mc Vaugh.

\*Corresponding author

Submitted for publication on 29/07/2022, approved on 14/09/2022 and published on 13/11/2022

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição - PPGAN / UNIRIO, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mails: caedufariac@gmail.com; mariaeduardaflores@gmail.com; caroline.coelho@unirio.br;

<sup>2</sup>Departamento de Nutrição e Dietética / Universidade Federal Fluminense (UFF). E-mail: atteodoro@gmail.com

<sup>3</sup>Embrapa Agroindústria de Alimentos, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Cultural Research Corporation, Av Das Américas, 29501, 23020-470, Rio de Janeiro, Brazil. E-mail: otniel.freitas@embrapa.br

## INTRODUCTION

Among all Brazilian ecosystems, the Amazon region is recognized for its biodiversity and potential for exploration and diversification of natural resources, providing new products and perspectives for socioeconomic and cultural development. The Amazon is the largest genetic cradle of the planet, housing an infinity of plant species cataloged in national institutes, such as the Brazilian Institute of the Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA) (SOUZA *et al.*, 2017), among the fruit species, camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) Mc Vaugh) stands out.

The camu-camu tree is native to the Amazon basin and dispersed in the region. In national territory, it is found from the coast of the state of Pará, permeating the Amazon region of Tocantins and extending to the states of Mato Grosso and Rondônia (PINTO *et al.*, 2013; DE FREITAS, 2019). Many scientific researchers have addressed its high potential as a functional food, containing vitamins, minerals, and bioactive compounds with functional properties *in vitro* and *in vivo*, with antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, and neuroprotective action (ZAPATA; DUFOUR, 1993; YUYAMA *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2006a, 2006b, 2006c; BARDALES *et al.*, 2008; FIDELIS *et al.*, 2020).

Although camu-camu pulp has important properties, a large part of its raw material is considered waste (around 50%). It contains important bioactive compounds that can give rise to new products, such as bioactive extracts for pharmaceutical use, and in the chemical and food industries, as well as ingredients for bakery, dairy, and other sectors. Its use promotes the enhancement of natural resources, contributing to the reduction of agricultural residues and the preservation of the environment (FIDELIS *et al.*, 2020).

The camu-camu production chain has major weaknesses, especially low-tech employment (SANTOS *et al.*, 2022).

## INTRODUÇÃO

De toda a extensão territorial brasileira, a região amazônica é reconhecida pela sua biodiversidade e potencialidade na exploração e diversificação de recursos naturais, possibilitando o surgimento de novos produtos e perspectivas para o desenvolvimento socioeconômico e cultural. A Amazônia é o maior berço genético do planeta, abrigando uma infinidade de espécies vegetais catalogadas em institutos nacionais, tais como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (SOUZA *et al.*, 2017), dentre as espécies frutíferas, destaca-se o camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) Mc Vaugh).

O camu-camuzeiro é nativo da bacia Amazônica e disperso na região. Em território nacional, é encontrado desde o litoral do estado do Pará, permeando a região amazônica do Tocantins e se estendendo até os estados de Mato Grosso e Rondônia (PINTO *et al.*, 2013; DE FREITAS, 2019). Muitas pesquisas científicas abordam seu elevado potencial como alimento funcional, contendo vitaminas, sais minerais e compostos bioativos com propriedades funcionais *in vitro* e *in vivo*, com ação: antioxidante, anti-inflamatória, antimicrobiana e neuro protetora (ZAPATA; DUFOUR, 1993; YUYAMA *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2006a, 2006b, 2006c; BARDALES *et al.*, 2008; FIDELIS *et al.*, 2020).

Apesar da polpa de camu-camu apresentar importantes propriedades, grande parte de sua matéria-prima é considerada resíduo (em torno de 50%). Nesse resíduo há importantes compostos bioativos que podem dar origem a novos produtos, como: extratos bioativos para utilização pelas indústrias farmacêutica, química e alimentícia, além de ingredientes para panificação, laticínios e outros setores. O seu aproveitamento se constitui em oportunidade de valorização dos recursos naturais, contribui para redução de resíduos agrícolas e na preservação do meio ambiente (FIDELIS *et al.*, 2020).

A cadeia de produção do camu-camu tem fragilidades importantes, com destaque para o emprego de baixo nível tecnológico (SANTOS *et al.*, 2022).

Because it is a climacteric fruit, *camu-camu* has a fast post-harvest deterioration, which is attributed to a high respiration rate in plant cells, with increased ethylene production (CARRILLO *et al.*, 2011; PINTO *et al.*, 2013). Therefore, the proper handling of fruits during post-harvest is essential to preserve their sensory and nutritional quality until marketing.

Fruit respiration rate reflects its deterioration speed, in which a range of factors intrinsic to the fruit and environment interfere during postharvest. Among these, we can highlight ethylene production (fruit), exposure temperature, and propensity to physical damage (CARRILLO *et al.*, 2011; PINTO *et al.*, 2013). Faced with these *camu-camu* post-harvest challenges, this review focused on presenting the state-of-the-art of its nutritional potential, and its post-harvest quality and safety as raw material for the industry and consumers.

## STUDY DESIGN

The review was prepared to adopt recommendations proposed by Liberati *et al.* (2009), using an alternative data collection line based on the guidelines “PRISMA” (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). The theoretical basis of this method was based on selecting studies following a flow of identification, selection, and eligibility until their inclusion, allowing them to unravel the content addressed.

On the whole, the texts included in this study had to meet the following criteria: full texts in English, Portuguese, and/or Spanish; original articles; theses and dissertations. Regarding the exclusion criteria, the following were rejected: abstracts of any nature, structured works from conference proceedings, symposia, undergraduate course conclusion monographs, and works written in languages other than the selected ones. A time limit was not established for the collection of texts.

Por se tratar de um fruto climatérico, o *camu-camu* apresenta rápida deterioração, na pós-colheita, atribuída à alta taxa de respiração nas células vegetais, com aumento da produção de etileno (CARRILLO *et al.*, 2011; PINTO *et al.*, 2013). Logo, o manuseio correto do fruto, no período pós-colheita, exige manipulação apropriada, a fim de preservar a qualidade sensorial e nutricional da fruta até a sua comercialização.

A taxa de respiração dos frutos reflete a velocidade de sua deterioração, em que uma gama de fatores intrínsecos ao fruto e ambiente interferem durante a pós-colheita. Dentre esses fatores, destacam-se: produção de etileno (fruto), temperatura de exposição e propensão à danos físicos (CARRILLO *et al.*, 2011; PINTO *et al.*, 2013). Frente aos desafios da pós-colheita do *camu-camu*, objetivou-se com esta revisão apresentar o estado da arte, evidenciando as potencialidades nutricionais, qualidade e segurança pós-colheita do fruto como matéria prima para a indústria e consumidor.

## DESENHO DO ESTUDO

Para a realização desta revisão, optou-se pela adoção das recomendações propostas por Liberati *et al.* (2009), empregando uma linha de coleta de estudos alternativa, baseado na metodologia “PRISMA” (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Por meio da aplicação da base teórica deste método, os estudos selecionados para a presente revisão seguiram o fluxo de identificação, seleção, elegibilidade até a sua inclusão, permitindo destrichar o conteúdo abordado.

De modo geral, os textos incluídos nesse estudo, atenderam aos seguintes critérios delimitados no desenho metodológico: textos integrais em inglês, português e/ou espanhol; artigos originais; dissertações e teses. Já em relação aos critérios de exclusão dos textos, foram rejeitados: resumos de qualquer natureza, trabalhos estruturados apresentados em anais de congressos, simpósios, trabalhos de conclusão de curso de graduação (TCC) e trabalhos que não cumpriam o requisito de estarem escritos nos idiomas selecionados. Não foi estabelecido um limite temporal para coleta destes textos selecionados.

To pile up information and obtain the expected results, searches were carried out in the following databases: Google Scholar®, Scielo, Science Direct, PubMed, Scopus, Web of Science, and Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations (BDTD). To do so, we used the combination of the following descriptors: “camu-camu”, “technology”, “post-harvest”, “composition”, and “benefits” in English, and “*camu-camu*”, “*tecnologia*”, “*pós-colheita*”, “*composição*”, and “*benefícios*” in Portuguese.

## GENERAL ASPECTS OF CAMU-CAMU TREE BOTANY

The camu-camu tree is a shrub that has deep and diffuse roots, with a large number of capillaries, increasing its nutrient and water absorptions. Its height averages 3.0 m (NASCIMENTO *et al.*, 2013), and its trunk has about 15 cm in diameter, with a smooth surface and homogeneous color that ranges from light brown to purple, it peels naturally during dry spells (MORAES-DE-SOUZA, 2011).

The leaves camu-camu are identified as simple opposites, 3 to 10 cm long, and 1.5 to 4.5 cm wide, and, on average, have an acuminate apex and elliptical base. Their macroscopic structures are marked by a central vein with 18 to 20 pairs of ramifications, and a cylindrical petiole with an average of 3 to 6 mm in length and 1 to 2 mm in width (MORAES-DE-SOUZA, 2011).

This plant is typical of humid regions, where the minimum and maximum temperature averages are 22 and 32 °C, respectively (YUYAMA, 2011). Required rainfall varies from 1600 to 4000 mm, with an appropriate altitude lower than 300 m above sea level. It is found in the Amazon River basin, which highlights its flood tolerance and potential for growth in floodplain areas. Camu-camu trees can adapt to and produce in drylands, including in more sedimented and compacted soils (NASCIMENTO *et al.*, 2013).

A fim de cumular as informações necessárias para obtenção dos resultados previstos, as pesquisas foram realizadas nas seguintes bases de dados: Google Acadêmico®; *Scielo*; *Science Direct*; *PubMed*, *Scopus*, *Web of Science* e Portal Brasileiro de Teses e Dissertações (BDTD), com a utilização e combinação dos seguintes descritores: “camu-camu”; “tecnologia”; “pós-colheita”; “composição” e “benefícios” em português e do inglês: “*camu-camu*”; “*technology*”; “*post-harvest*”; “*composition*” and “*benefits*”.

## ASPECTOS GERAIS DA BOTÂNICA DO CAMU-CAMUZEIRO

O camu-camuzeiro é um arbusto enraizado de forma profunda e difusa, com grande número de capilares que eleva a capacidade de absorção de nutrientes e água. A altura média é de 3 m (NASCIMENTO *et al.*, 2013), seu tronco tem aproximadamente 15 cm de diâmetro, apresenta superfície lisa, de cor homogênea que varia do castanho-claro à púrpura e capacidade de descascar de forma natural em períodos de seca e estiagem de água (MORAES-DE-SOUZA, 2011).

As folhas se apresentam de forma oposta simples, com 3 a 10 cm de comprimento e de 1,5 a 4,5 cm de largura, em média, com o ápice acuminado e base em formato de “elipse”. A sua estrutura macroscópica é marcada por uma nervura central com 18 a 20 pares de ramificações e pecíolo cilíndrico com média de 3 a 6 mm de comprimento e, 1 a 2 mm de largura (MORAES-DE-SOUZA, 2011).

A planta é típica de locais úmidos, com média de temperaturas mínimas de 22 °C e máxima de 32 °C (YUYAMA, 2011). A precipitação pluvial exigida varia de 1600 a 4000 mm, com altitude adequada inferior à 300 m acima do nível do mar. É encontrado na bacia do Rio Amazonas, indicando tolerância a inundações e potencial de expansão nas áreas de várzeas. O camu-camuzeiro possui capacidade de adaptação e produção em terra firme, inclusive em solos mais sedimentados e compactados (NASCIMENTO *et al.*, 2013).

When grown in compacted soils, water and nutrients should be managed to increase fruit seasonality (YUYAMA, 2011), as in other Myrtaceae species, such as acerola (*Malpighia glabra*) and jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) (OLIVEIRA, 2012).

Quando o cultivo ocorre em solos compactados, o manejo dos nutrientes e da água pode ser controlado, podendo assim ampliar a sazonalidade da fruta (YUYAMA, 2011), como já acontece com outras espécies de *Myrtaceae*, como a acerola (*Malpighia glabra*) e a jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) (OLIVEIRA, 2012).

## CHEMICAL COMPOSITION OF CAMU-CAMU

Currently, great interest in camu-camu is mainly due to its very varied chemical composition. It has expressive concentrations of macro and micronutrients, as well as bioactive compounds such as polyphenols (Figure 1), which makes this fruit a promising raw material for functional nutrition (FIDELIS *et al.*, 2020).

Fruit moisture content is around 84 to 93.3%. It has high titratable acidity and low hydrogen potential (pH). Proteins, total lipids, sugars, and fixed mineral residues are in insignificant ranges, from 0.21 to 14.94 g per 100 g of sample (PINTO, 2013; SOUZA *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2020; SANTANA, 2020).

## COMPOSIÇÃO DO CAMU-CAMU

Atualmente o grande interesse pelo camu-camu, está relacionado principalmente com a sua composição química variada, com concentrações expressivas de macro e micronutrientes, além de compostos bioativos, como os polifenóis (Figura 1), tornando esse fruto uma matéria prima promissora na interface da nutrição funcional (FIDELIS *et al.*, 2020).

Os frutos apresentam valores de umidade entre 84 e 93,3%, alta acidez titulável, e baixo potencial hidrogeniônico (pH). Proteínas, lipídeos totais, açúcares e resíduo mineral fixo, apresentam-se em faixas pouco significativas, variando de 0,21 a 14,94 g 100 g<sup>-1</sup> (PINTO, 2013; SOUZA *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2020; SANTANA, 2020).

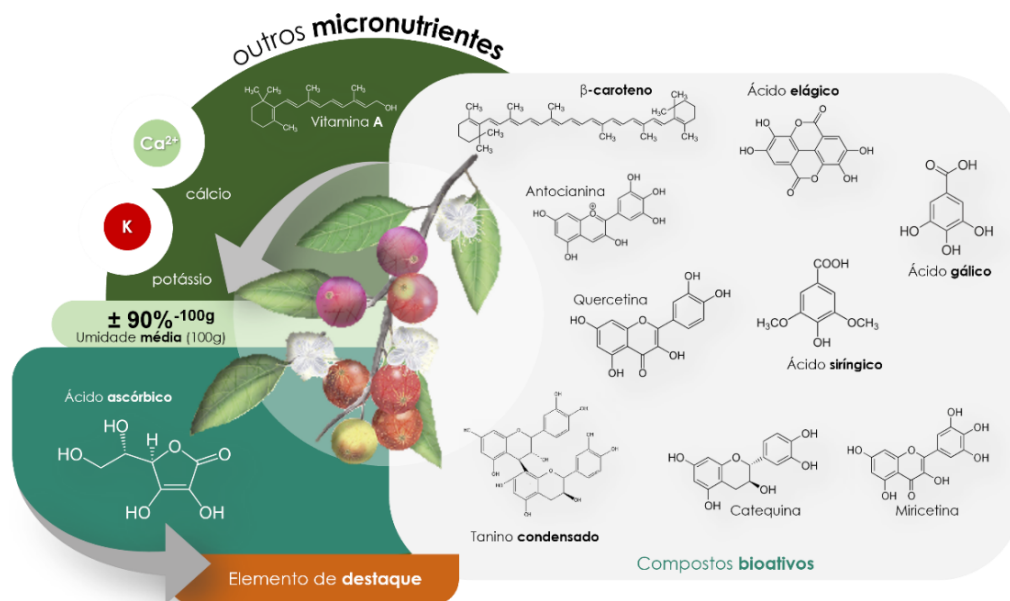


Figure 1 - Predominant nutrients and bioactive compounds in camu-camu.

Fonte: Autores, 2022.

Figura 1 - Nutrientes e compostos bioativos predominantes no camu-camu.

Source: Authors, 2022.

As for fibers, according to Ordinance No. 27, of January 13, 1998, of the National Health Surveillance Agency (ANVISA), a product must have at least 3% in fibers to be said as a “source”. Yuyama *et al.* (2003) evaluated camu-camu peel and pulp and identified about 6.18 g per 100 g of sample, on a dry basis; therefore, they have the potential and relevance to act as a “fiber source” food.

In general, during ripening, chlorophyll molecules are degraded, changing fruit color due to the accumulation of other pigments. A purplish-red color reflects the presence of anthocyanins, which are mostly in the pericarp at the final ripening stage (PINTO, 2013; RIBEIRO *et al.*, 2016; AGUIERRE-NEIRA, 2020). Rodrigues and Marx (2006) pointed out that camu-camu fruits have on average 54 mg per 100 g<sup>-1</sup> of sample in total anthocyanins. Another pigment present in camu-camu fruits is carotene. Ribeiro *et al.* (2016) evaluated  $\beta$ -carotene concentrations in different samples of camu-camu cultivated in dry and flooded environments and observed values of 2,423.63  $\mu\text{g}$  in 100 g<sup>-1</sup> and 2,589.88  $\mu\text{g}$  in 100 g<sup>-1</sup> on a dry basis, respectively.

Several studies have mapped the mineral composition of camu-camu, showing the following contents: potassium (838.8  $\pm$  36.2 mg kg<sup>-1</sup>), calcium (157.3  $\pm$  4.4 mg kg<sup>-1</sup>), magnesium (123.8  $\pm$  87 mg kg<sup>-1</sup>), and sodium (111.3  $\pm$  4.3 mg kg<sup>-1</sup>) (ZAPATA; DUFUR, 1993; YUYAMA *et al.*, 2003; RODRIGUES; MAX, 2006; RUFINO *et al.*, 2010; PINTO, 2013). This mineral composition enables its selection as a food matrix for functional food preparations (ZAPATA; DUFUR, 1993; YUYAMA *et al.*, 2003; RODRIGUES; MARX, 2006; RUFINO *et al.*, 2010; PINTO, 2013; RODRIGUES *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2019; SANTANA, 2020).

Ascorbic acid (vitamin C) is an outstanding compound in the camu-camu composition. This microelement has the highest concentration in a portion of the fruit. Vitamin C is water-soluble in nature and sensitive to degradation when subjected to adverse conditions, such as high temperatures and exposure to oxygen (RUFINO *et al.*, 2010).

Já as fibras, de acordo com a Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, precisam comprovar no mínimo 3% desta classe de compostos para ser um alimento dito como “fonte”. Yuyama *et al.* (2003), avaliaram a casca e a polpa de camu-camu e identificaram cerca de 6,18 g 100 g<sup>-1</sup> da amostra em base seca, apontando que os frutos analisados possuíam potencial e relevância para atuarem como alimento “fonte de fibra”.

De modo geral, durante o amadurecimento, a molécula de clorofila é degradada, passando o fruto a ter nova coloração pelo acúmulo de outros pigmentos. A coloração vermelha arroxeada dos frutos reflete a presença de antocianinas, que estão majoritariamente localizadas no pericarpo, na fase final do amadurecimento (PINTO, 2013; RIBEIRO *et al.*, 2016; AGUIERRE-NEIRA, 2020). Rodrigues e Marx (2006), apontam que o camu-camu apresenta em média 54 mg em 100 g<sup>-1</sup> de antocianinas totais. Outro pigmento presente no camu-camu é o caroteno. Ribeiro *et al.* (2016) ao avaliar a concentração de  $\beta$ -caroteno, em diferentes amostras de camu-camu, cultivados em ambiente seco e inundado, observaram valores de 2.423,63  $\mu\text{g}$  em 100 g<sup>-1</sup> e 2.589,88  $\mu\text{g}$  em 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente em base seca.

Diversos estudos mapearam a composição mineral do camu-camu, com os seguintes teores: potássio (838,8  $\pm$  36,2 mg kg<sup>-1</sup>), cálcio (157,3  $\pm$  4,4 mg kg<sup>-1</sup>); magnésio (123,8  $\pm$  87 mg kg<sup>-1</sup>) e sódio (111,3  $\pm$  4,3 mg kg<sup>-1</sup>) (ZAPATA; DUFUR, 1993; YUYAMA *et al.*, 2003; RODRIGUES; MAX, 2006; RUFINO *et al.*, 2010; PINTO, 2013). Essa concentração de minerais no camu-camu lhe confere o caráter de matriz alimentar na elaboração de alimentos funcionais (ZAPATA; DUFUR, 1993; YUYAMA *et al.*, 2003; RODRIGUES; MARX, 2006; RUFINO *et al.*, 2010; PINTO, 2013; RODRIGUES *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2019; SANTANA, 2020).

O ácido ascórbico (vitamina C) é o composto de destaque na composição do camu-camu, sendo o microelemento de maior concentração em uma porção do fruto. A vitamina C é de natureza hidrossolúvel e sensível à degradação, quando sujeito a condições adversas, como altas temperaturas e exposição ao oxigênio (RUFINO *et al.*, 2010).

The loss of ascorbic acid occurs by the irreversible bioconversion of L-dehydroascorbic acid into 2,3-diketo-L-gulonic acid, which occurs instantaneously when exposed to alkaline pH, fast in neutral pH and slowly in acidic conditions. For this reason, ascorbic acid from citrus fruits has good stability and concentration (CHITARRA; CHITARRA, 2005; PINTO *et al.*, 2013).

Camu-camu has ascorbic acid contents ranging from 900 to 6000 mg 100 g<sup>-1</sup> of pulp, which is higher than in fruits typically known as sources of vitamin C (in mg 100 g<sup>-1</sup> of pulp) via diets, such as acerola (1,790), cashew (220), and orange (59) (RUFINO *et al.*, 2010; RIBEIRO *et al.*, 2016; CUNHA-SANTOS *et al.*, 2019); MATTIETTO *et al.*, 2019; TBCA, 2020). A daily consumption of 10 g of fruit would be enough to provide the amount recommended for daily intake of vitamin C for health maintenance (RIBEIRO *et al.*, 2016; AZEVEDO *et al.*, 2019).

In addition to the high vitamin C content, camu-camu stands out as a food raw material rich in other compounds belonging to polyphenols. This group has synergistic effects on human health and includes flavonols, anthocyanins, and secondary metabolites derived from ellagic acid, ellagitannins, tannins, and gallic acid (YUYAMA *et al.*, 2011; FIDELIS *et al.*, 2020).

## INTERFACES OF PLANT RESPIRATORY ACTIVITY

Understanding fruit post-harvest management requires a broad view of food matrices as living structures and recognizing that, after harvesting, metabolic reactions are maintained as a function of physiological systems (RIYAZUDDIN *et al.*, 2020). Admittedly, fruits have high perishability, mainly due to high metabolic activity, directly proportional to the respiratory pattern of the species, climacteric, or non-climacteric (CHITARRA; CHITARRA, 2005; PINTO *et al.*, 2013).

A perda de ácido ascórbico ocorre pela bioconversão irreversível do ácido *L-dehidroascórbico* em ácido *2,3-diceto-L-gulônico*, que se dá de modo instantâneo quando exposto a pH alcalino, rápida em pH neutro e lenta em condições de acidez. Por esse motivo, o ácido ascórbico dos frutos cítricos, possui boa estabilidade e concentração (CHITARRA; CHITARRA, 2005; PINTO *et al.*, 2013).

O camu-camu apresenta teores de ácido ascórbico que variam de 900 a 6000 mg 100 g<sup>-1</sup> de polpa, sendo superior ao valor encontrado em frutas tipicamente citadas como fonte de vitamina C (em mg 100 g<sup>-1</sup> de polpa) via dietética, tais como: acerola (1.790), caju (220) e laranja (59) (RUFINO *et al.*, 2010; RIBEIRO *et al.*, 2016; CUNHA-SANTOS *et al.*, 2019); MATTIETTO *et al.*, 2019; TBCA, 2020). O consumo diário de 10 g do fruto seria suficiente para fornecer a quantidade estabelecida nas recomendações de ingestão diária de vitamina C para a manutenção da saúde (RIBEIRO *et al.*, 2016; AZEVEDO *et al.*, 2019).

Além do elevado teor de vitamina C, o camu-camu se destaca como matéria prima alimentícia rica em outros compostos presentes no grupo dos polifenóis, que apresentam efeitos sinérgicos para a saúde dos indivíduos, incluindo: flavonóis, antocianinas, metabólitos secundários derivados do ácido elágico, elagitaninos, taninos e ácido gálico (YUYAMA *et al.*, 2011; FIDELIS *et al.*, 2020).

## INTERFACES DA ATIVIDADE RESPIRATÓRIA VEGETAL

Compreender as ações envolvidas no manejo pós-colheita das frutas, exige visão ampla de que as matrizes alimentares são estruturas vivas e, após sua colheita, as reações metabólicas se mantêm em face dos sistemas fisiológicos (RIYAZUDDIN *et al.*, 2020). Reconhecidamente, os frutos apresentam elevada perecibilidade, devido principalmente a alta atividade metabólica, sendo diretamente proporcional ao padrão respiratório da espécie, climatérico ou não climatérico (CHITARRA; CHITARRA, 2005; PINTO *et al.*, 2013).

In short, fruit respiration oxidizes reserve organic matter, such as macronutrients, into carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and oxygen (O<sub>2</sub>) molecules, producing essential energy for ripening, which may occur regardless of O<sub>2</sub> presence (TAIZ, ZEIGER, 2006; PINTO, 2013; RIYAZUDDIN *et al.*, 2020)

During ripening, several chemical and enzymatic reactions occur, and most of the physiological changes in the postharvest period are directly or indirectly influenced by ethylene. This phytohormone regulates fruit growth, development, ripening, and senescence. It spreads in plant tissues through its biosynthesis induced by internal and external factors, constituting an essential and primordial element in fruit respiratory pattern (PINTO, 2013; RIYAZUDDIN *et al.*, 2020). Studies on camu-camu at different maturation stages have indicated respiratory activity increases associated with high ethylene production, besides perceptible changes in fruit peel color, firmness, and general mass losses, reduction in total titratable acidity, and increase in vitamin C levels, therefore, it is characterized as a fruit with a climacteric respiratory pattern (PINTO *et al.*, 2013).

In this regard, a suitable ripening process must be identified in terms of morphological and physicochemical parameters, to obtain fruits with nutritional and sensorial quality for different purposes, such as fresh fruits or processed products, or use as a functional ingredient. Neves *et al.* (2017) evaluated the postharvest behavior of camu-camu harvested between 74 and 116 days after anthesis (DAA). Fruits harvested at 88 DAA resulted in the longest shelf life (up to 10 days) and had the best physicochemical composition indexes. On the other hand, fruits harvested at 102 DAA showed greater suitability to be consumed in natura, presenting satisfactory physicochemical composition and shelf life of up to 8 days. In brief, the best harvest time for this matrix is between 88 and 95 days, which is when fruit composition parameters reach ideal levels (NEVES *et al.*, 2015; NEVES *et al.*, 2017).

Assim, em síntese, o processo de respiração dos frutos promove a oxidação da matéria orgânica de reserva, como os macronutrientes, em moléculas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>) produzindo energia essencial para o amadurecimento, podendo ocorrer na presença ou não de O<sub>2</sub> (TAIZ, ZEIGER, 2006; PINTO, 2013; RIYAZUDDIN *et al.*, 2020)

Durante o mecanismo de amadurecimento diferentes reações químicas e enzimáticas ocorrem, e grande parte das alterações fisiológicas no período pós-colheita são influenciadas de forma direta ou indireta pelo etileno, fitohormônio capaz de regular os processos que englobam o crescimento, desenvolvimento, amadurecimento e senescência dos frutos, difundindo-se no tecido vegetal mediante a sua biossíntese induzida por fatores internos e externos da matriz, configurando-se elemento essencial e primordial no padrão respiratório das frutas (PINTO, 2013; RIYAZUDDIN *et al.*, 2020). No estudo com camu-camu, em diferentes estádios de maturação, foram constatados aumento da atividade respiratória associada ao aumento da produção de etileno, além de mudanças perceptíveis na coloração da casca dos frutos, perda de firmeza e de massa geral, redução da acidez total titulável e aumento dos teores de vitamina C, sendo caracterizado como fruto de padrão respiratório climaterico (PINTO *et al.*, 2013).

Nesta perspectiva, a identificação da maturação adequada relativa aos parâmetros morfológicos e físico-químicos é importante para a obtenção de frutas com qualidade nutricional e sensorial, para diferentes finalidades, como frutas frescas ou produtos processados ou como ingrediente funcional. Neves *et al.* (2017), avaliaram o comportamento pós-colheita do camu-camu colhidos entre 74 e 116 dias após a antese (DAA). Os frutos colhidos aos 88 DAA resultaram no maior período de vida útil (até 10 dias) e tiveram os melhores índices de composição físico-química. Os frutos colhidos aos 102 DAA apresentaram maior adequação para serem consumidos *in natura*, apresentando composição físico-química satisfatória e vida útil de até 8 dias. Assim, a melhor época de colheita para esta matriz ocorreu entre 88 e 95 dias, onde a composição dos parâmetros avaliados atingiram níveis ideais (NEVES *et al.*, 2015; NEVES *et al.*, 2017).



Camu-camu ripening dynamics produce striking changes in the contents and profile of phytochemicals such as vitamin C, carotenoids, and phenolic compounds. In this context, several post-harvest storage and conservation techniques have been explored to reduce ethylene biosynthesis and, consequently, respiratory activity, directly increasing shelf life and maintenance of sensory and nutritional traits (CHITARRA; CHITARRA, 2005; RIYAZUDDIN *et al.*, 2020).

### BIOSYNTHESIS AND CELLULAR RESPONSE TO ETHYLENE

During the ripening process, many horticultural matrices undergo changes in which specific genes are activated, causing changes in fruits such as color, chemical, and enzymatic alterations (CASTRO; MARACCINI, 2016; DUBOIS; BROECK; INZÉ, 2018). These events are signaled through ethylene, which directly influences phenotypic changes during the fruit maturation phase (PINTO, 2013; DUBOIS *et al.*, 2018).

Ethylene (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) is a gas that acts in the ripening of horticultural matrices, controlling events at different stages (PINTO, 2013). Its synthesis is stimulated by exogenous factors in response to multiple stressors, whether abiotic or biotic. Therefore, it acts as a bridge between a changing environment and adaptation to such a developed change (WINKLER *et al.*, 2002; DUBOIS; BROECK e INZÉ, 2018). Figure 2 shows the cascade of biochemical events involved in ethylene biosynthesis.

Yang and Hoffman first described the ethylene biochemical route in 1984 (WINKLER *et al.*, 2002; DUBOIS *et al.*, 2018). On an overview, the amino acid methionine is recognized as a biological precursor of ethylene in all higher plants, which is converted through a three-step enzyme-mediated reaction.

Durante a dinâmica de amadurecimento dos frutos, mudanças no conteúdo e perfis de fitoquímicos do camu-camu, como vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos também foram evidentes. Nesta perspectiva, diversas técnicas de armazenamento e conservação no período pós-colheita são exploradas para promover menor biossíntese de etileno e, conseqüentemente, menor atividade respiratória, refletindo-se diretamente no aumento da vida útil e manutenção das características sensoriais e nutricionais (CHITARRA; CHITARRA, 2005; RIYAZUDDIN *et al.*, 2020).

### BIOSSÍNTESE E RESPOSTA CELULAR AO ETILENO

Durante o processo de amadurecimento, as diferentes matrizes hortícolas passam por alterações, onde genes específicos são ativados, levando o fruto à mudanças, tais como: coloração, químicas e enzimáticas (CASTRO; MARACCINI, 2016; DUBOIS; BROECK; INZÉ, 2018). A sinalização para esses eventos é dada por meio do etileno, que influencia diretamente nas modificações fenotípicas que ocorrem durante a fase de maturação dos frutos (PINTO, 2013; DUBOIS *et al.*, 2018).

O etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) é um gás que atua como protagonista na regulação dos processos de amadurecimento das matrizes hortícolas, controlando os eventos envolvidos nos diversos estágios da maturação (PINTO, 2013). A sua síntese é estimulada por fatores exógenos em resposta à múltiplos estressores, sejam eles abióticos ou bióticos, apontando que ele atua como uma ponte entre um ambiente em mudança e a adaptação à tal mudança desenvolvida (WINKLER *et al.*, 2002; DUBOIS; BROECK e INZÉ, 2018). A Figura 2 apresenta a cascata de eventos bioquímicos envolvidos no processo de biossíntese do etileno.

A primeira vez que essa rota bioquímica foi descrita, foi no ano de 1984 por Yang e Hoffman (WINKLER *et al.*, 2002; DUBOIS *et al.*, 2018). Numa visão geral desse processo de biossíntese, o aminoácido metionina é reconhecido como precursor biológico do etileno em todas as plantas superiores, sendo convertido através da via que compreende três etapas mediadas por enzimas.

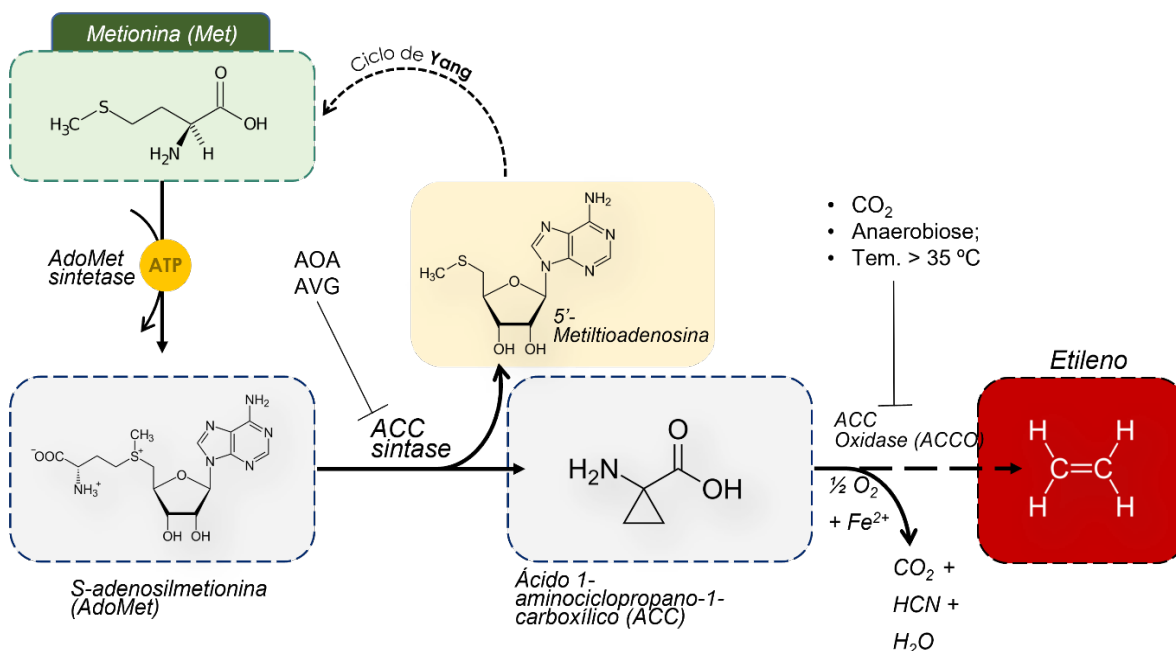


Figure 2 - Ethylene biosynthetic pathway.

Fonte: Autores, 2022.

Figura 2 - Rota biossintética do etileno.

Source: Authors, 2022.

First, methionine is converted to S-adenosylmethionine (SAM) via AdoMet synthetase, with energy expenditure. Second, SAM is converted to a metabolic intermediate, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC), by ACC synthetase (ACCS). This phase is considered limiting (WINKLER *et al.*, 2002; DUBOIS; BROECK e INZÉ, 2018) since it can be inhibited by ACCS blockage through the action of aminoxy acetic acid (AOA) and aminoethoxy-vinyl-glycine (AVG) (AVG) (WINKLER *et al.*, 2002; RIYAZUDDIN *et al.*, 2020).

Lastly, ACC is then metabolized by ACC oxidase (ACCO), through an oxidation reaction that requires  $O_2$  and iron, and is activated by  $CO_2$ , producing ethylene as a metabolic product. Another prominent pathway in this process is the so-called “Yang Cycle”, which, in general, recovers the  $CH_3-S$  group from methionine and recycles it for SAM resynthesis, reincorporating the molecule into the ethylene synthesis pathway (WINKLER *et al.*, 2002; DUBOIS; BROECK e INZÉ, 2018; RIYAZUDDIN *et al.*, 2020).

Inicialmente, na primeira reação, a metionina é convertida à S-adenosilmetionina (SAM) via AdoMet sintetase, com gasto energético. Na sequência, a SAM é convertida a um intermediário metabólico, o ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) pela ação da enzima ACC sintetase (ACCS). Essa fase é considerada limitante no processo de conversão (WINKLER *et al.*, 2002; DUBOIS; BROECK e INZÉ, 2018). Uma vez que essa via pode ser inibida pelo bloqueio da enzima ACCS por meio da ação do ácido aminoxiacético (AOA) e do aminoetóxi-vinil-glicina (AVG) (WINKLER *et al.*, 2002; RIYAZUDDIN *et al.*, 2020).

Na sequência, o ACC é então metabolizado pela enzima ACC oxidase (ACCO), por uma reação de oxidação que necessita de  $O_2$  e ferro, e que é ativada pelo  $CO_2$  produzindo como produto do metabolismo, o etileno. Outra via de destaque nesse processo, é o chamado “Ciclo de Yang”, que em linhas gerais, recupera o grupamento  $CH_3-S$  da metionina e recicla para a ressíntese de SAM, reincorporando a molécula na via de síntese do etileno (WINKLER *et al.*, 2002; DUBOIS; BROECK e INZÉ, 2018; RIYAZUDDIN *et al.*, 2020).

## FRUIT QUALITY CONSERVATION: ALTERNATIVE AND PROMISING METHODS AT THE POST-HARVEST INTERFACE

After recognizing and understanding the physiological events in fruit plants, the ideal ripening stage for harvesting and post-harvest storage methods should be identified to ensure fruit quality maintenance and shelf-life extension (PINTO, 2013; AWALGAONKAR; BEAUDRY; ALMENAR, 2020). In practice, post-harvest conservation of the quality of food products is based on a suitable combination of certain conditions, making the environment, intrinsic and extrinsic, ideal to avoid qualitative and quantitative losses in food materials, keeping them healthy (RIYAZUDDIN *et al.*, 2020; AWALGAONKAR *et al.*, 2020).

Among the techniques used to extend the shelf life of fruits is the use of cold chain, either by refrigeration or freezing; modified atmosphere, through “physical barriers” such as plastic films and waxy coverings; and chemical inhibitors of ethylene action such as 1-Methylcyclopropene (1-MCP). These methods aim to decrease the intensity of metabolic processes through specific conditions, which delay metabolic normality (WATKINS, 2000; PINTO, 2013; AWALGAONKAR; BEAUDRY e ALMENAR, 2020; MEIR *et al.*, 2022).

## STORAGE TEMPERATURE

The cold chain is widely used for post-harvest conservation of fruits and vegetables (PINTO, 2013), as it also reduces the incidence of diseases by inhibiting the growth of many pathogenic microorganisms in fruits (DAMIANI *et al.*, 2008; OLIVEIRA; SANTOS, 2015).

## CONSERVAÇÃO DA QUALIDADE DOS FRUTOS: MÉTODOS ALTERNATIVOS E PROMISSORES NA INTERFACE PÓS-COLHEITA

Após reconhecer e entender os eventos fisiológicos inerentes do processo de maturação de matrizes hortícolas, identificando o estágio ideal de maturação para que seja realizada a colheita dos frutos, delimitar os métodos de armazenamento utilizados no período pós-colheita é essencial, visando garantir a manutenção da qualidade e prolongar a vida útil dos frutos (PINTO, 2013; AWALGAONKAR; BEAUDRY; ALMENAR, 2020). De forma prática, a conservação pós-colheita da qualidade de matrizes alimentares, é baseada na combinação adequada de determinadas condições, tornando o ambiente, intrínseco e extrínseco, ideal para que não haja perdas qualitativas e quantitativas no material alimentício mantendo-o são (RIYAZUDDIN *et al.*, 2020; AWALGAONKAR *et al.*, 2020).

Dentre as técnicas utilizadas com o propósito de prolongar a vida útil destes frutos, pode-se citar: a utilização da rede frio, seja por refrigeração ou congelamento, à atmosfera modificada, através da utilização de “barreiras físicas” como filmes plásticos e coberturas cerosas e o uso de inibidores químicos da ação do etileno, tais como o agente 1-Metilciclopropeno (1-MCP). Essas técnicas visam diminuir a intensidade do processo metabólico por meio de condições específicas, que retardam a normalidade metabólica (WATKINS, 2000; PINTO, 2013; AWALGAONKAR; BEAUDRY e ALMENAR, 2020; MEIR *et al.*, 2022).

## TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO

A rede de frio é um método amplamente utilizado na conservação pós-colheita de frutas e hortaliças (PINTO, 2013), pois também reduz a incidência de doenças, pela inibição do crescimento de microrganismos nos frutos (DAMIANI *et al.*, 2008; OLIVEIRA; SANTOS, 2015).

If performed correctly, refrigeration and freezing, combined with the control of conditions involved (time and temperature), are effective in maintaining product quality and controlling physical injuries, generally minimizing mass loss and potential changes in color, pH, total titratable acidity, soluble solids, and vitamin C content (SCALON *et al.*, 2004; PINTO, 2013). On the other hand, when refrigerated storage is carried out above the ideal temperature ( $\pm 0$  to  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), food may deteriorate and lose quality, mainly due to the high mobility of some compounds intrinsic to aroma, flavor, texture, color, and firmness (SILVA *et al.*, 2006a).

Camu-camu pulp subjected to bleaching for about 2 minutes at  $98\text{ }^{\circ}\text{C}$  and storage at  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  does not promote significant changes in total soluble solids, pH, and titratable acidity. Under these conditions, vitamin C had a maximum shelf life of 135 days, which is longer than the period found in the literature (ARÉVALO, 2007).

The storage temperature effect on the quality and postharvest physiology of camu-camu fruits was studied by Pinto *et al.* (2018). These authors found that global production of ethylene was directly affected by exposure temperature. Accordingly, fruits stored at  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  showed respiration rates significantly ( $p \leq 0.05$ ) lower than fruits stored at the highest temperatures ( $10$ ,  $15$ ,  $20$ , and  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), reaching a maximum production of  $0.9\ \mu\text{L}^{-1}$  of ethylene at the highest temperature tested ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Likewise, the exposure of horticultural products to low temperatures, even if packaged, may lead to some disturbances accompanied by product depreciation. Fruits such as camu-camu, from tropical areas, are susceptible to “chilling” injuries, a physiological response of the fruits exposed to very low temperatures, leading to severe alterations in metabolism and, in some cases, even cell death (BALAGUERA-LÓPEZ; ORTEGA; CONSUEGRA, 2019).

A refrigeração ou congelamento, quando realizada de forma correta aliadas ao manejo adequado das condições envolvidas no processo (tempo e temperatura), são eficazes para manter a qualidade do produto e atuar no controle de injúrias físicas, minimizando de forma geral a perda de massa e possíveis alterações nas seguintes características: cor, pH, acidez total titulável, sólidos solúveis e conteúdo de vitamina C (SCALON *et al.*, 2004; PINTO, 2013). Por outro lado, quando o armazenamento ocorre acima da temperatura ideal de refrigeração ( $\pm 0$  a  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) o alimento pode sofrer eventos deteriorantes e perder a qualidade, devido principalmente ao aumento da mobilidade de alguns compostos intrínsecos com esta ação, tais como aroma, sabor, textura, cor e firmeza (SILVA *et al.*, 2006a).

A polpa de camu-camu, submetida ao processo de branqueamento por aproximadamente 2 minutos à  $98\text{ }^{\circ}\text{C}$  e armazenamento à  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , não apresenta variação significativa de sólidos solúveis totais, pH e acidez titulável. Já a vitamina C, nessas condições, apresentou vida útil máxima de 135 dias, período superior ao prazo dado para sua degradação na literatura (ARÉVALO, 2007).

Efeito da temperatura de armazenamento na qualidade e fisiologia pós-colheita de frutos de camu-camu foi estudado por Pinto *et al.* (2018) e constatado que a produção global do etileno foi diretamente afetada pela temperatura de exposição. Assim, os frutos armazenados à  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  apresentaram taxas de respiração significativamente ( $p \leq 0,05$ ) menor que os frutos armazenados nas temperaturas mais altas testadas ( $10$ ,  $15$ ,  $20$  e  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), atingindo produção máxima de  $0,9\ \mu\text{L}^{-1}$  de etileno na maior temperatura testada ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

É certo também que, a exposição de matrizes hortícolas em baixas temperaturas, mesmo que acondicionadas em embalagens, pode significar risco para o desenvolvimento de alguns distúrbios que resultam no processo de depreciação do produto. Frutos como camu-camu, proveniente de áreas tropicais, são susceptíveis a injúrias de “chilling”, uma resposta fisiológica dos frutos, quando expostos em temperaturas muito baixas, levando a alterações severas em seu metabolismo e, em alguns casos, até à morte celular (BALAGUERA-LÓPEZ; ORTEGA; CONSUEGRA, 2019).

Chilling injury is characterized by a pulp browning or by its dry/ farinaceous texture, resulting from water losses. The event drastically alters fruit sensory traits, leading to direct failures in the ripening process, as well as the acceleration of senescence, accompanied by disruption of the cell membrane and extravasation of intrinsic substrates, which can favor the development and propagation of microorganisms (SENHOR *et al.*, 2009; BALAGUERA-LÓPEZ; ORTEGA; CONSUEGRA, 2019).

A injúria por frio é caracterizada pelo escurecimento da polpa ou pela textura de aspecto seco/farináceo, decorrente da perda de água. Esse evento, altera de forma drástica as características sensoriais do fruto, levando a falhas diretas no amadurecimento, bem como na aceleração do processo de senescência, acompanhado da ruptura da estrutura da membrana celular, com o extravasamento de substratos intrínsecos, que podem favorecer o desenvolvimento e propagação de microrganismos (SENHOR *et al.*, 2009; BALAGUERA-LÓPEZ; ORTEGA; CONSUEGRA, 2019).

## MODIFIED ATMOSPHERE

A modified atmosphere is used to keep food products exposed to an environment different from normal, in terms of proportion and distribution of gases (nitrogen, CO<sub>2</sub>, and O<sub>2</sub>). Reducing O<sub>2</sub> levels and/or increasing CO<sub>2</sub> concentration can reduce respiratory rate, inhibiting biological activity and ethylene gas synthesis (AWALGAONKAR *et al.*, 2020).

A minimum of 10% CO<sub>2</sub> can inhibit the action of ethylene by initiating a “competition” process regarding its bioactivity. Conversely, a reduction of O<sub>2</sub> to levels below 8% would lead to a decrease in its biosynthesis, as well as the sensitivity of plant tissue to its action. Thus, the presence of O<sub>2</sub> is essential for ethylene biosynthesis, so when there is a reduction in O<sub>2</sub>, the respiration rate decreases and extends, directly proportional, the shelf life of the food product (BURG; BURG, 1967; 1969).

For modified atmosphere conservation, several films or packages have been used to act as artificial barriers, considering: practicality, low cost, and efficiency. For instance, plastic films based on polyethylene or polyvinyl chloride (PVC) can be used in combination with the control of exposure temperature (DIAS *et al.*, 2011; GRIGIO *et al.*, 2015).

## ATMOSFERA MODIFICADA

A atmosfera modificada é usada para manter a matriz alimentar exposta à um ambiente diferente da sua normalidade, em termos de proporção e distribuição dos gases: nitrogênio, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>. Reduzir os níveis de O<sub>2</sub> e/ou aumentar a concentração de CO<sub>2</sub>, pode promover um declínio na taxa respiratória por meio da inibição da atividade biológica da síntese do gás de etileno (AWALGAONKAR *et al.*, 2020).

A presença mínima de 10% de CO<sub>2</sub> é capaz de inibir a ação do etileno pela instauração de um processo de “competição” relacionado à sua bioatividade, ao passo que, a redução do O<sub>2</sub> em níveis inferiores à 8% levariam a diminuição da sua biossíntese, bem como a sensibilidade do tecido vegetal à sua ação. Assim, a presença de O<sub>2</sub> é essencial para a biossíntese de etileno, logo, quando se tem redução de O<sub>2</sub>, ocorre à diminuição da taxa de respiração e, diretamente proporcional, o prolongamento da vida útil do produto/matriz alimentar (BURG; BURG, 1967; 1969).

Na técnica de conservação por atmosfera modificada, vários tipos de filmes ou embalagens têm sido empregados para atuar como barreiras artificiais, considerando: praticidade, baixo custo e eficiência, tais como os filmes plásticos à base de polietileno ou de cloreto de polivinil (PVC), sendo necessário a combinação, com o controle da temperatura de exposição (DIAS *et al.*, 2011; GRIGIO *et al.*, 2015).

Fruit quality and ascorbic acid content are conserved for longer in camu-camu stored in expanded polystyrene trays coated with PVC film at 15 °C. Therefore, it can be considered the most suitable packaging for maintaining the physical-chemical attributes and sensory aspects of the fruit (GRIGIO *et al.*, 2015).

In another study, Oliveira *et al.*, (2014) subjected camu-camu fruits to a modified atmosphere and refrigeration environment and identified that the biaxially oriented 50- $\mu$ g-thick polypropylene film (BOPP) proved to be the best alternative for post-harvest conservation. This material has low permeability to gases, which caused CO<sub>2</sub> accumulation inside the package, allowing fruit fermentation after 13 days of storage.

For physicochemical characters (pH, soluble solids, titratable acidity, ascorbic acid, and anthocyanins), storage time was more decisive than packaging. Thus, according to these authors, using PVC film and refrigeration for postharvest conservation of camu-camu fruits was effective for maintaining the firmness and reducing mass losses, keeping them commercially viable for 21 days, while control-coated BOPP50 was unviable for 13 days of storage. These results indicate that coatings with PVC films are indicated for post-harvest conservation of camu-camu.

When evaluating the packaging of araçá-vermelho (a member of the botanical family of Myrtaceae) in different plastic films under refrigeration, Amarante *et al.*, (2009) recommended refrigeration at a temperature range of 10 $\pm$ 1 to 20 $\pm$ 1 °C, at 90 $\pm$ 5% RH (%) and modified atmosphere, with nitrogen, hydrogen, and synthetic-air flows of 70, 30, and 300 mLmin<sup>-1</sup>, respectively, to preserve the post-harvest quality of fruits, delaying their natural decomposition for 10 days.

Os atributos de qualidade e teor de ácido ascórbico nos frutos de camu-camu armazenados em bandejas de poliestireno expandido revestidas com filme de PVC mostraram-se conservados por mais tempo à 15 °C, sendo considerada a embalagem mais adequada para manutenção dos atributos físico-químicos e sensoriais do fruto GRIGIO *et al.* (2015).

Em outro estudo com camu-camu submetido ao ambiente de atmosfera modificada e refrigeração, Oliveira *et al.*, (2014) identificaram que o filme de polipropileno biaxialmente orientado (BOPP) com 50  $\mu$ g de espessura se mostrou a melhor alternativa para conservação no período pós-colheita, pois a baixa permeabilidade aos gases ocasionou acúmulo de CO<sub>2</sub> no interior da embalagem, propiciando o processo fermentativo dos frutos após 13 dias de armazenamento.

Para os atributos físico-químicos da amostra (pH, sólidos solúveis, acidez titulável, ácido ascórbico e antocianinas) o tempo de armazenamento foi mais determinante do que a embalagem. Assim, de acordo com estes autores, a utilização do filme de PVC e refrigeração para conservação pós-colheita de camu-camu foi eficaz na manutenção da firmeza do fruto e na redução de perda de massa, mantendo os frutos comercialmente viáveis por 21 dias, enquanto o controle e frutos apenas revestidos por BOPP<sub>50</sub> apresentaram-se inviáveis após 13 dias de armazenamento. Esses resultados indicam que os revestimentos com filmes de PVC são indicados para a conservação pós-colheita do camu-camu.

Ao avaliar o acondicionamento de araçá-vermelho (fruto da família botânica do camu-camu, *Myrtaceae*) em diferentes embalagens plásticas e refrigeração, Amarante *et al.*, (2009) recomendaram refrigeração dentro da faixa de temperatura de 10 $\pm$ 1 a 20 $\pm$ 1 °C, a 90 $\pm$ 5% de UR (%) e atmosfera modificada, com fluxos de nitrogênio, hidrogênio e ar sintético de 70; 30 e 300 mL min<sup>-1</sup>, respectivamente, para preservar a qualidade pós-colheita dos frutos, retardando sua decomposição natural por 10 dias.

Several types of polymers are used in the industry for *in natura* marketing of fruits and food products perishable during post-harvest. As examples, we may cite low-density polyethylene (LDPE), low linear-density polyethylene (LLDP), high-density polyethylene (HDPE), polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC), polyester (PE), polyethylene terephthalate (PET), polyvinylidene chloride (PVDC), and polyamide (Nylon). These materials are used to wrap products acting as artificial barriers, forming a micro-atmosphere with relative humidity higher than the external one (MANGARAJ *et al.*, 2014; CASTELLANOS *et al.*, 2016). However, even packaged, maintaining the cold chain is recommended for the success of the storage process, preventing anaerobic conditions and condensation of water droplets on the inner side of the package (AGOSTINI *et al.*, 2009).

## CHEMICAL TREATMENT

As described so far, the post-harvest quality of fruits is generally supported by minimizing degradation rates and maintaining sensory attributes attractive to consumers such as firmness, color, and appearance, among others, during the longest time from harvest to consumption. In this regard, the control of ethylene action using chemical substances has become increasingly common in horticultural processes. Along these lines, substances called cyclopropenes are capable of neutralizing or delaying the process of cellular respiration by inhibiting the effects of ethylene and blocking the signaling of biological receptors that lead to the senescence of the product (PINTO *et al.*, 2018).

That being said, from the perspective of chemical treatment on food products, the compound 1-MethylCycloPropene (1-MCP) has been the most explored ethylene inhibitor in the scientific field (VILAS-BOAS, 2001; PINTO, 2013; PINTO *et al.*, 2018). It is used in the form of a gas and acts to block ethylene, competing for binding sites with receptors located in the cell membrane of plant species.

Na indústria, diversos tipos de polímeros são utilizados com finalidade de viabilizar a comercialização *in natura* de frutos e matrizes alimentares perecíveis no período pós-colheita, tais como: o polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de baixa densidade linear (PBDL), polietileno de alta densidade (PEAD), polipropileno (PP), policloreto de vinila (PVC), poliéster, polietileno tereftalato (PET), cloreto de polivinilideno (PVDC) e poliamida (*Nylon*), sendo esses reconhecidamente utilizados ao redor dos produtos para atuar como barreiras artificiais, proporcionando a construção de uma micro atmosfera, com umidade relativa maior que a externa (MANGARAJ *et al.*, 2014; CASTELLANOS *et al.*, 2016). Assim, mesmo embalados, manter a cadeia de frio é recomendável para o sucesso do processo de armazenamento, evitando que sejam instauradas condições de anaerobiose e de condensação sobre algumas gotículas de água na face interna da embalagem (AGOSTINI *et al.*, 2009).

## TRATAMENTO QUÍMICO

Como descrito até aqui, a qualidade pós-colheita dos frutos, em linhas gerais, está apoiada na minimização da taxa de degradação da matéria, que é refletida na manutenção da firmeza, cor, aparência e demais atributos sensoriais atraentes ao consumidor pela maior lacuna temporal, desde a colheita até o consumo. Para isso, o uso de estratégias para controle da ação do etileno pela utilização de substâncias químicas tem se tornado cada vez mais comum nos processos hortícolas. Nessa linha, as substâncias chamadas ciclopropenos, são capazes de neutralizar ou retardar o processo de respiração celular, por inibir os efeitos do etileno, bloqueando a sinalização de receptores biológicos que levam a senescência da matriz (PINTO *et al.*, 2018).

Dito isto, sob a ótica do tratamento químico inferido nas matrizes alimentares, o composto 1-MetilCicloPropeno (1-MCP) é o inibidor do etileno mais explorado no campo científico (VILAS-BOAS, 2001; PINTO, 2013; PINTO *et al.*, 2018). Ele se apresenta na forma de gás e atua no bloqueio do etileno, competindo pelos sítios de ligação com os receptores localizados na membrana celular das espécies vegetais.

Therefore, it is an antagonist in the physiological stimulus process, and its concentration varies with species, cultivar, maturation stage, and respiratory pattern (VILAS-BOAS, 2001; PINTO, 2013). By combining the use of 1-MCP and cold chain conservation, in addition to extending fruit shelf life, results also include maintenance of firmness and peel color, inhibiting the onset of physical injuries by cold and rot during cold storage (WATKINS *et al.*, 2000; VILAS-BOAS, 2001; PINTO, 2013).

Pinto *et al.* (2018) evaluated the effects of phytohormones (1-MCP and ethylene) on physiological dynamics and postharvest preservation of camu-camu fruits harvested at stage three of maturation. These fruits were divided into three groups: 1) control, 2)  $90 \mu\text{L}^{-1}$  for 12 h of 1-MCP, and 3)  $1000 \mu\text{L}^{-1}$  of ethylene for 24 h. All groups were stored at  $22 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  and  $85 \pm 5\%$  RH for 9 days. The results indicated that ethylene-treated and control fruits behaved as the climacteric, with peaks of  $\text{CO}_2$  and ethylene synthesis from the second and third days of storage. On the other hand, 1-MCP-treated fruits showed a stable behavior, with lower metabolic activity and absence of respiratory peaks, delay in ripening, and, therefore, greater preservation in global quality. The authors also observed that 1-MCP-treated fruits had a lower incidence of rot, which may be associated with greater tissue firmness since the fruit cell structure remained integral.

Even in the face of several positive effects on fruit and vegetable conservation, it should be pointed out that, based on its functions, 1-MCP can compromise the physiological or normal ripening of fruit plants. This is because it can permanently inhibit changes related to the fruit senescence cycle, which would be essential for its emergence from a market perspective. That way, its marketing and consumer preferences can be compromised (ZHANG *et al.*, 2020).

Portanto, é antagonista no processo de estímulo fisiológico, e sua concentração é dependente da espécie, do cultivar, do estágio de maturação e do padrão respiratório (VILAS-BOAS, 2001; PINTO, 2013). Estabelecendo um elo entre 1-MCP e conservação pelo uso da rede frio, os resultados além de estender a vida útil dos frutos incluem, ainda, a manutenção da firmeza e coloração da casca, inibe o surgimento de sintomas de injúria física pelo frio e a podridão durante o armazenamento refrigerado (WATKINS *et al.*, 2000; VILAS-BOAS, 2001; PINTO, 2013).

Pinto *et al.* (2018) avaliaram os efeitos da aplicação de fitorreguladores (1-MCP e etileno) na dinâmica fisiológica e preservação pós-colheita de camu-camu em frutos colhidos em estágio três de maturação. Esses frutos foram divididos em três grupos: 1) controle; 2)  $90 \mu\text{L}^{-1}$  por 12 h de 1-MCP e 3)  $1000 \mu\text{L}^{-1}$  de etileno, durante 24 h. Todos os grupos foram armazenados à  $22 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  e UR de  $85 \pm 5\%$  durante 9 dias. Os resultados indicaram que os frutos tratados com etileno e os do grupo controle comportaram-se tipicamente como frutos climatéricos, com picos na síntese de  $\text{CO}_2$  e etileno a partir do segundo e terceiro dia de armazenamento. Já os frutos tratados com 1-MCP apresentaram comportamento estável, com uma menor atividade metabólica e ausência de picos respiratórios, atraso no amadurecimento e, portanto, maior preservação na qualidade global. Nesse estudo, os autores ainda observaram que frutos tratados com 1-MCP apresentaram menor incidência de podridão, podendo estar associado à maior firmeza do tecido derivado da manutenção da integridade da estrutura celular do fruto.

Mesmo diante dos diversos efeitos positivos associados à aplicação do 1-MCP na conservação de frutas e hortaliças, deve-se apontar que nas bases de suas funções, esta substância pode comprometer o amadurecimento fisiológico ou normal das matrizes frutíferas, inibindo de forma duradoura suas mudanças relacionadas ao ciclo de senescência do fruto, elemento essencial para seu despontar na perspectiva de mercado, podendo assim comprometer a sua comercialização e preferência pelo consumidor (ZHANG *et al.*, 2020).



Furthermore, the application of ethylene-inhibiting substances can cause undesirable effects in sensory and nutritional terms, thus compromising their real benefits. Changes in aroma and deleterious effects on nutritional composition are some of the effects. These can harm the acceptability of the fruit by the consumer and, consequently, its market value (FAÇANHA, 2016; ZHANG *et al.*, 2020).

## FRUIT VALUING AND PROSPECTS

Consumption of fruit species has become increasingly evident in the population context, within a healthy diet context. Changes in eating habits have led people to opt for foods that are beyond their basic nutritive value, but also offer functional properties associated with their consumption. From this perspective, agricultural land for the cultivation of fruit species has inevitably increased, fostering the niche of national fruit growing (CALAI, 2019; ABRAFRUTAS, 2019).

Of the Brazilian regions, the Amazon region plays a leading role in this scenario. It is a major center of exploration and diversification, offering matrix variations with unique sensory and nutritional characteristics (CORREA; FREYRE; ALDANA, 2011). Local appreciation of native fruit species is, therefore, essential, and emerging, and the lack of knowledge of the subject is one of the main barriers to be overcome in the context of modern society.

Fruit valuing goes beyond its marketing value, it is to bring prominence, relevance, and importance to the product itself, within a population context, enhancing its production chain. Apart from that, it is to highlight its tradition, habits, and people-to-people preferences acquired during childhood and throughout adult life, in line with sensory expectations, encouraging consumption and health benefits that the fruit can provide (SABIÃO; BRUGNARA, 2021).

Além disto, a aplicação destas substâncias inibidoras do etileno, podem promover efeitos indesejáveis na perspectiva sensorial e nutricional, o que acarreta dúvidas quanto aos seus reais benefícios. Alterações no aroma e efeitos deletérios sobre a presença de compostos de importância nutricional, são alguns destes efeitos, o que pode repercutir negativamente na aceitabilidade da fruta pelo consumidor e, conseqüentemente, no valor de mercado do produto (FAÇANHA, 2016; ZHANG *et al.*, 2020).

## VALORIZAÇÃO DOS FRUTOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

O consumo de espécies frutíferas tem se tornado cada vez mais evidente no contexto populacional, na interface do que se considera uma dieta saudável. As mudanças nos hábitos alimentares, tem levado as pessoas optarem por alimentos que vão além de suas funções básicas/nutritivas, mas que também ofereçam propriedades funcionais associadas a seu consumo. Nessa perspectiva, esse fato leva ao inevitável aumento das áreas de cultivo de diversas espécies frutíferas, fomentando o nicho da fruticultura nacional (CALAI, 2019; ABRAFRUTAS, 2019).

Das regiões brasileiras, a região amazônica assume papel de destaque nesse cenário da produção de espécies frutíferas, sendo um importante centro de exploração e diversificação, ofertando variações de matrizes com características sensoriais e nutricionais únicas (CORREA; FREYRE; ALDANA, 2011). A valorização local das espécies frutíferas nativas é, portanto, necessária e emergente, sendo o desconhecimento do tema uma das principais barreiras a ser vencida no contexto da sociedade moderna.

Valorizar uma fruta permeia esferas que vão além do seu valor de comercialização, é trazer destaque, relevância e importância ao produto em si, dentro de um contexto populacional, potencializando a sua cadeia produtiva e para além disso, realçar a sua tradição, os hábitos e preferências interpessoais adquiridas na infância, ao longo da vida adulta, estando alinhada as expectativas sensoriais, incentivo ao seu consumo e benefícios à saúde que a fruta pode proporcionar (SABIÃO; BRUGNARA, 2021).

In line with this perspective, agricultural production industrialization has become an alternative for the technological development of raw materials, supplying territories. As a consequence, cheaper products, easily spread to domestic and foreign markets, can be generated, enhancing their valorization in the most diverse niches (PREZZOTO, 2016). Industrial fruit processing is estimated to generate around 10 to 35% of waste (peel, bagasse, stone, and seeds). These residues have attracted attention from the most varied markets since they are potential sources of bioactive compounds, in addition to vitamins and minerals (HERNÁNDEZ-CARRANZA *et al.*, 2016).

Specifically, in the camu-camu production chain, around 40% of the total fruit weight is discarded as agro-industrial waste (59). Just as fruit pulp, these residues may have a composition rich in phenolic compounds, vitamins, and minerals, in addition to abundant fiber, even surpassing values in pulp itself (DO CARMO *et al.*, 2020).

Thus, the use and valorization of these residues can, in addition to mitigating the environmental impacts resulting from incorrect disposal, add value to new products and formulations in the food and pharmaceutical industry, promoting and valuing the use of national raw material, native in its totality (LOURENÇO, 2021).

In this perspective, to add value to camu-camu residues (peel, seeds, and pulp) and offer a new formulation to the pharmaceutical industry, Lourenço (2021) developed orally disintegrating biofilms based on pregelatinized starch, carboxymethylcellulose, and hydroxypropyl methylcellulose. They were used to deliver bioactive compounds with antioxidant potential by incorporation of camu-camu industrial residue extract. The incorporation of this extract into biofilms stabilized a great part of viable phenolic compounds for human ingestion after storage times, which were 20 weeks under normal conditions (25°C and 60% RH) and in accelerated conditions (40°C and 75% RH). An evaluation by DPPH and ORAC methods showed good antioxidant activity *in vitro* for the extract.

Alinhado a essa perspectiva, a industrialização na produção agrícola, tem se tornado uma alternativa para o processo de desenvolvimento tecnológico dessas matérias primas, abastecendo territórios, gerando produtos mais baratos para o consumidor e que sejam de fácil difusão no mercado nacional e internacional, podendo potencializar a sua valorização nos mais diversos nichos (PREZZOTO, 2016). Estima-se que o processamento industrial de frutos gere em torno de 10 a 35% de resíduos (casca, bagaço, caroço e sementes). Esses resíduos, tem atraído à atenção dos mais variados meios, uma vez que se apresentam como fontes potenciais de compostos bioativos, além de vitaminas e minerais (HERNÁNDEZ-CARRANZA *et al.*, 2016).

Especificamente na cadeia produtiva do camu-camu, um sobressalente de cerca de 40% do peso total do fruto é destinado como resíduo agroindustrial (LOURENÇO, 2021). Assim como a polpa do fruto, esses resíduos podem apresentar composição rica em compostos fenólicos, vitaminas, minerais, além de fibras em abundância, superando inclusive os valores observados na polpa do fruto em si (DO CARMO *et al.*, 2020).

Dessa forma, o aproveitamento e a valorização desses resíduos, pode além de amenizar os impactos ambientais decorrentes de um descarte incorreto, agregar valor a novos produtos e formulações na indústria alimentícia e farmacêutica, fomentando e valorizando o uso de matéria prima nacional, nativa em sua totalidade (LOURENÇO, 2021).

Nesta perspectiva, visando agregar valor à resíduos de camu-camu (casca, sementes e polpa) e promover a oferta de uma nova formulação à indústria farmacêutica, Lourenço (2021) desenvolveu biofilmes de desintegração oral a base de amido pré-gelatinizado, carboximetilcelulose e hidroxipropil metilcelulose para veiculação de compostos bioativos com potencial antioxidante provenientes da incorporação do extrato obtido do resíduo industrial de camu-camu. A incorporação desse extrato nos biofilmes foi capaz de estabilizar boa concentração de compostos fenólicos viáveis para ingestão humana após o período de armazenamento (20 semanas em condição normal 25 °C e UR: 60% e em condição acelerada 40 °C e UR: 75%), apresentando boa atividade antioxidante *in vitro*, avaliado pelos métodos DPPH e ORAC.

Incorporation of fruit extract into carboxymethylcellulose film had a shorter disintegration time in the oral cavity ( $50 \pm 5$  s), with a shorter time for maximum release of phenolic compounds to the individual (30 minutes). This allows the incorporation of extract to obtain a product with a high potential for functional delivery and commercial value (LOURENÇO, 2021).

Sabino (2020) studied beers added with *camu-camu* and noted a high antioxidant activity by both the DPPH and ABTS assays, showing inhibition of  $5.15 \pm 1.60$  mmol L<sup>-1</sup> and  $12.66 \pm 0.13$  mmol L<sup>-1</sup> of Trolox equivalent, respectively. Such an activity can be attributed to its high levels of total phenols ( $308.80 \pm 2.84$ ) and flavonoids ( $222.29 \pm 1.02$ ), which further enhances the economic and functional importance of the fruit and its by-products.

*Camu-camu* peel-derived extracts, which are called 70% hydroalcoholic extracts (EHA) and 10 and 20% glycolic extracts (EG10 and EG20), influence their antioxidant activity (SILVA; MOURÃO, 2022). These extracts have antioxidant capacity due to their high contents of bioactive compounds, such as polyphenols and ascorbic acid, which are intrinsic and characteristic of the matrix. However, EHA showed higher content of bioactive compounds, adding  $7011 \pm 39$  mg per 100 mL of ascorbic acid and 7.75% of total polyphenols, while in EG10 and EG20 the ascorbic acid content was 3034 and 6137 mg per 100 mL of total polyphenols of 2.65 and 3.55% respectively. These characteristics also reflected its higher antioxidant capacity, with an inhibition potential of  $88.03 \pm 0.44$  by the DPPH method and  $92.91 \pm 0.21$   $\mu$ M Trolox equivalent g<sup>-1</sup> by the ABTS<sup>+</sup> method. The authors also pointed out that both extracts showed significant contents of bioactive compounds, but the solvent influenced the content and biological activity, with EHA being the one with the highest content of bioactive compounds and, consequently, the highest antioxidant capacity. This finding will enable concrete ways to formulate different bioproducts and culinary ingredients that will serve as a framework to replace synthetic antioxidants.

O biofilme a base de carboximetilcelulose, incorporado do extrato do fruto, apresenta menor tempo de desintegração na cavidade oral ( $50 \pm 5$  s) com menor tempo para liberação máxima dos compostos fenólicos para o indivíduo (30 minutos). Isso possibilita a incorporação do extrato para a obtenção de um produto de alto potencial de entrega funcional e comercial (LOURENÇO, 2021).

No estudo de Sabino (2020), cervejas adicionadas de *camu-camu* tiveram alta atividade antioxidante tanto no ensaio de DPPH quanto ABTS, apresentando inibição de  $5,15 \pm 1,60$  mmol L<sup>-1</sup> e  $12,66 \pm 0,13$  mmol L<sup>-1</sup> eq. de trolox, respectivamente. Essa atividade pode ser atribuída aos seus altos teores de fenóis totais ( $308,80 \pm 2,84$ ) e flavonoides ( $222,29 \pm 1,02$ ), o que fomenta ainda mais a importância econômica e funcional do fruto e seus subprodutos.

Extratos obtidos de cascas de *camu-camu*, denominados extratos hidroalcológicos 70% (EHA) e glicólicos 10 e 20% (EG10 e EG20), influenciam na sua atividade antioxidante (SILVA; MOURÃO, 2022). Esses extratos apresentam capacidade antioxidante devido ao alto teor de compostos bioativos como polifenóis e ácido ascórbico intrínsecos e característicos da matriz. Entretanto, o EHA, apresentou maior conteúdo de compostos bioativos somando  $7011 \pm 39$  mg por 100 mL de ácido ascórbico e 7,75% de polifenóis totais, enquanto nos EG10 e EG20 o teor de ácido ascórbico foi 3034 e 6137 mg por 100 mL de polifenóis totais de 2,65 e 3,55% respectivamente. Essas características refletiram também na sua maior capacidade antioxidante, apresentando potencial de inibição de  $88,03 \pm 0,44$  pelo método DPPH e  $92,91 \pm 0,21$   $\mu$ M trolox g<sup>-1</sup> pelo método ABTS<sup>+</sup>. Os autores, ainda, destacam que os dois extratos apresentaram conteúdos importantes de compostos bioativos, porém, o solvente influenciou no conteúdo e na atividade biológica, sendo o EHA o que apresentou maior teor de bioativos e, consequentemente, na maior capacidade antioxidante. Esse achado, viabilizará caminhos concretos para a formulação de diferentes bioproductos e ingredientes culinários que servirão de arcabouço para substituir antioxidantes sintéticos.

Also using agro-industrial residues, Chagas (2019) produced and characterized flours from pulping waste of camu-camu at different temperatures (50, 60, and 70 °C). They evaluated their potential as culinary ingredients for cookies.

In general, all temperatures affected the physicochemical properties of flours, but that obtained after drying at 70 °C showed higher concentrations of bioactive compounds (carotenoids, tannins, vitamin C, and total phenolics) and, consequently, higher antioxidant activity *in vitro*, as for the DPPH, FRAP, and ORAC methods.

Based on these findings, the flour obtained at 70°C was used in cookie formulations, replacing wheat flour, at different proportions (5, 10, 15, and 20%). After this substitution, there were major changes in the physical aspects of the product, such as height, diameter, volume, and hardness compared to the standard. But, above all, there was an increase in the antioxidant activity of cookies, evaluated by the same methods. Thus, camu-camu waste-derived flours, due to their higher added nutritional value, can be used as a culinary ingredient of by-product formulations in the food industry.

Azevêdo *et al.* (2018) evaluated the contents and composition of bioactive compounds extracted from camu-camu peel and found high concentrations of anthocyanins, vitamin C, and carotenoids (223.14 mg 100g<sup>-1</sup>, cyanidin-3-glycoside eq. 100 g<sup>-1</sup>, 1109.62 mg 100 g<sup>-1</sup>, and 619.98 µg 100 g<sup>-1</sup> of dry matter, respectively), even surpassing concentrations in the pulp.

Agro-industrial waste valorization is a great bet for the food and pharmaceutical industries, enhancing benefits from the entire fruit, besides bringing relevance to residues that are often neglected. Such compounds can be used as additives or culinary ingredients and in pharmaceutical formulas.

Também utilizando resíduos agroindustriais do camu-camu, Chagas (2019) produziu e caracterizou farinhas obtidas do resíduo de despulpamento do camu-camu à diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e avaliou o seu potencial como ingrediente culinário na formulação de *cookies*.

Observou-se que de um modo geral, todas as temperaturas afetaram as propriedades físico-químicas das farinhas, entretanto, a farinha obtida após secagem à 70 °C, apresentou valores maiores na concentração de compostos bioativos (carotenóides, taninos, vitamina C e fenólicos totais) e, conseqüentemente, maior atividade antioxidante *in vitro*, sendo avaliada pelos métodos DPPH, FRAP e ORAC.

Em função desses achados, a farinha obtida à 70°C foi utilizada na formulação de *cookies* onde substituiu uma fração da farinha de trigo convencionalmente utilizada, em diferentes proporções (5, 10, 15 e 20%). Mediante a esta inserção, verificou-se importantes modificações nos aspectos físicos do produto, tais como altura, diâmetro, volume e dureza, quando comparado a um padrão, além do aumento da atividade antioxidante desempenhada pelos *cookies*, quando avaliada pelos mesmos métodos utilizados na farinha. Assim, as farinhas obtidas do resíduo agroindustrial do camu-camu, por possuir alto valor nutricional agregado, pode ser utilizada como ingrediente culinário na formulação de subprodutos para a indústria alimentícia.

Azevêdo *et al.* (2018), ao avaliar teores e composição de compostos bioativos extraídos da casca do camu-camu, verificaram concentrações elevadas de antocianinas, vitamina C e carotenóides no fruto (223,14 mg 100g<sup>-1</sup>; Cianidina-3-glicosídeo eq. 100 g<sup>-1</sup>; 1.109,62 mg 100 g<sup>-1</sup> e 619,98 µg 100 g<sup>-1</sup> de matéria seca, respectivamente), superando inclusive as concentrações dos mesmos elementos na polpa.

A valorização dos resíduos agroindustriais é uma grande aposta para a indústria alimentícia e farmacêutica, potencializando a oferta dos benefícios oferecidos pelo fruto em sua totalidade, fomentando e trazendo relevância para os resíduos muitas vezes desprezados. Tais compostos podem ser utilizados como aditivos ou ingredientes culinários e no desenvolvimento de fórmulas farmacêuticas.

## FINAL CONSIDERATIONS

Agricultural technological modernization should seek conservation actions to reduce post-harvest losses of camu-camu fruits. In this sense, our review points out that the uses of the cold chain, chemical agents, and modified atmosphere can considerably reduce physicochemical changes in the product, especially if combined methodically and under favorable storage conditions;

For the socioeconomic conditions in the Amazon region, the use of cold chain or any of these technologies may be a bottleneck, preventing proper post-harvest management of the fruit;

Last but not least, we suggested the marketing and use of camu-camu *in natura* or minimally processed, until knowledge about its physiological behavior is generated or expanded to increase the useful life of the fruit and expand its use as an agro-industrial raw material.

## ACKNOWLEDGMENTS

This study was funded in part by the Coordination for Improvement of Higher Education Personnel - Brazil (CAPES 001); the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq 311108/2021-0), and the Research Support Foundation of the State of Rio de Janeiro (FAPERJ: E -26/202.187/2020; E-26/201.302/2022).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modernização tecnológica, na interface dos processos agrícolas deve-se debruçar na busca de ações de conservação que contribuam na redução das perdas pós-colheita dos frutos de camu-camu. Neste sentido, essa revisão aponta que o uso da cadeia de frio, de agentes químicos e da atmosfera modificada podem reduzir consideravelmente as alterações físico-químicas do produto, principalmente quando combinados de forma metódica e em condições favoráveis de armazenamento;

Para as condições socioeconômicas da região amazônica, o emprego da rede de frio ou o uso de qualquer uma dessas tecnologias pode ser um gargalo, podendo inviabilizar o manejo pós-colheita adequado do fruto;

Para o camu-camu, sugere-se a comercialização e utilização na forma “*in natura*” ou “minimamente processado”, até que seja gerado ou ampliado conhecimentos sobre seu comportamento fisiológico, a fim de aumentar a vida útil e expansão como matéria prima agroindustrial.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES 001); Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 311108/2021-0) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ: E -26/202.187/2020; E-26/201.302/2022).

## CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- AGOSTINI, J. S.; CÂNDIDO, A. C. S.; TEODÓSIO, T. K. C.; RODRIGUES, J. N.; GARCETE, G. J.; SCALON, S. P. Q. Atmosfera modificada e condições de armazenamento nas características físico-químicas de jabuticabas da cultivar 'paulista'. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2601-2608, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000205>
- AGUIRRE-NEIRA, J. C. Diversidade e conhecimento local assistido de camu-camu (*Myrciaria dúbia* – *Kunth McVaugh*) de povos indígenas na Amazônia colombiana. 2020. 96p. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.
- AMARANTE, C. V. T.; STEFFENS, C. A.; ESPINDOLA, B. P. Preservação da qualidade pós-colheita de araçá-vermelho através do tratamento com 1-metilciclopropeno e do acondicionamento em embalagens plásticas, sob refrigeração. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 4, p. 969-976, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000400009>
- ARÉVALO, P. R. Estudo da estabilização da polpa de camu-camu (*Myrciaria dúbia* (*H.B.K*) *Mc Vaugh*) congelada visando à manutenção de ácido ascórbico e de antocianinas. 2007. 180p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES EXPORTADORES DE FRUTAS E DERIVADOS. **Dados estatísticos**. Brasília: ABRAFRUTAS, 2020. <https://abrafrutas.org/dados-estatisticos>
- AWALGAONKAR, G.; BEAUDRY, R.; ALMENAR, E. Ethylene-removing packaging: Basis for development and latest advances. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 6, p. 3980-4007, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12636>
- AZEVEDO, L.; DE ARAUJO RIBEIRO, P. F.; DE CARVALHO OLIVEIRA, J. A.; CORREIA, M. G.; RAMOS, F. M.; DE OLIVEIRA, E. B.; BARROS, F.; STRINGHETA, P. C. Camu-camu (*Myrciaria dubia*) from commercial cultivation has higher levels of bioactive compounds than native cultivation (Amazon Forest) and presents antimutagenic effects in vivo. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 2, p. 624–631, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9224>
- BALAGUERA-LÓPEZ, H. E.; ORTEGA, E. A. P.; CONSUEGRA, S. A. L. Effects of thermal treatments on chilling injury and shelf lifetime of *Citrus reticulata* Blanco. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, e56821, 2019. DOI: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/56821>
- BARDALES, X. L.; CARRILLO, M. P.; HERNANDEZ, M. S.; BARRERA, J. A.; FERNANDEZ-TRUJILLO, J. P.; MARTINEZ, O. Camu-camu fruit (*Myrciaria dúbia*), a new option for productive systems in the Colombian Amazonian Region. **Acta Horticulturae**, v. 773, p. 173-178, 2008. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.773.24>
- BURG, S.P.; BURG, E. A. Interaction of ethylene, oxygen and carbon dioxide in the control of fruit ripening. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 19, n. 1, p. 185, 1969. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01101152>
- BURG, S.P.; BURG, E. A. Molecular requirements for the biological activity of ethylene. **Plant physiology**, v. 42, n. 1, p. 144-152, 1967. DOI: <https://doi.org/10.1104%2Fpp.42.1.144>
- CALAI, F. A. Produção e qualidade de frutos de amoreira preta submetida a diferentes intensidades de podas. 2019. 48p. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, RS, 2019.

- CARRILLO, M.P.; HERNÁNDEZ, M.S.; CARDONA, J.E.C.; BARRERA, J.; MARTÍNEZ, O.; FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P. Prolonging postharvest quality of camu-camu (*Myrciaria dubia* H.B.K.) as the first step in the commercial chain. **Acta Horticulturae**, v. 906, p. 31-36, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.906.3>
- CASTELLANOS, D. A.; CERISUELO, J. P.; HERNANDEZ-MUÑOZ, P.; HERRERA, A. O.; GAVARA, R. Modelling the evolution of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations in MAP of a fresh product: Application to tomato. **Journal of Food Engineering**, v. 168, p. 84-95, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.07.019>
- CASTRO, R. D.; MARRACCINI, P. Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 175-199, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100013>
- CHAGAS, E. G. L. Produção, caracterização e aplicação de farinhas obtidas a partir do resíduo agroindustrial do processamento de camu-camu. 2019. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia de Alimentos) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2019.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2005. 785p.
- CORREA, S. I.; FREYRE, S. P.; ALDANA, M. M. Caracterización morfológica y evaluación de la colección nacional de germoplasma de camu camu *Myrciaria dubia* (H.B.K) Mc Vaugh, Del INIA, Loreto-Perú. **Scientia Agropecuaria**, v. 2, p. 189-201, 2011. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2011.04.01>
- CUNHA-SANTOS, E. C. E.; VIGANO, J.; NEVES, D. A.; MARTINEZ, J.; GODOY, H. T. Vitamin C in camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh): evaluation of extraction and analytical methods. **Food Research International**, v. 115, p. 160-166, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.031>
- DAMIANI, C.; VILAS-BOAS, E.V. B.; SOARES JUNIOR, M. S.; CALIARI, M.; PAULA, M. L.; PEREIRA, D. E. P.; SILVA, A. G. M. Análise física, sensorial e microbiológica de geleias de manga formuladas com diferentes níveis de cascas em substituição à polpa. **Ciência Rural**, v. 38, n. 5, p. 1418-1423, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000500035>
- DE FREITAS, C. A. B.; MÜLLER, R. C. S.; DO NASCIMENTO, W. M. O.; LIMA, M. O.; FAIAL, K. C. F.; LOPES, S. A. Análise Multivariada da Composição Mineral de Frutos de Camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 6, p. 741-753, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20190054>
- DIAS, T. C.; MOTA, W. F.; OTONI, B. S.; MIZOBUTSI, G. P.; SANTOS, M. G. P. Conservação pós-colheita de mamão formosa com filme de PVC e refrigeração. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 2, p. 666-670, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000200040>
- DO CARMO, M. A. V.; FIDELIS, M.; SANCHEZ, C. A.; CASTRO, A. P.; CAMPS, I.; COLOMBO, F. A.; MARQUES, M. J.; MYODA, T.; GRANATO, D.; AZEVEDO, L. Camu-camu (*Myrciaria dubia*) seeds as a novel source of bioactive compounds with promising antimalarial and antischistosomicidal properties. **Food Research International**, v. 136, p. 109334, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109334>
- DUBOIS, M.; VAN DEN BROECK, L.; INZÉ, D. The Pivotal Role of Ethylene in Plant Growth. **Trends in Plant Science**, v. 23, n. 4, p. 311-323, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.01.003>
- FAÇANHA, R. V. Estudo das relações entre etileno e 1-metilciclopropeno (1-MCP) em mamões “Golden”. 2016. 119f. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Universidade de São Paulo, 2016.
- FIDELIS, M.; OLIVEIRA, S. M.; SANTOS, J. S.; ESCHER, G. B.; ROCHA, R. S.; CRUZ, A. G.; CARMO, M. A. V.; AZEVEDO, L.; KANESHIMA, T.; OH, W. Y.; SHAHIDI, F.; GRANATO, D. From byproduct to a functional ingredient: Camu-camu (*Myrciaria dubia*) seed extract as an antioxidant agent in a yogurt model. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 2, p. 1131-1140, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17173>
- GRIGIO, M. L.; DURIGAN, M. F. B.; CHAGAS, E. A.; CHAGAS, P. C.; NASCIMENTO, C. R.; ALMEIDA, M. S. Post-harvest conservation of camu-camu fruits (*Myrciaria dubia* (Kunth) Mc Vaugh) using different temperatures and packages. **Food Science and Technology**, v. 35, n. 4, p. 652-658, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6788>

- HERNÁNDEZ-CARRANZA, P.; ÁVILA-SOSA, R.; GUERRERO-BELTRÁN, J. A.; NAVARRO-CRUZ, A. R.; CORONA-JIMÉNEZ, E.; OCHOA-VELASCO, C. E. Optimization of Antioxidant Compounds Extration from Fruit Bt-Products: Apple pomace, Orange and Banana Peel. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 40, n. 1, p. 103-115, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.12588>
- LIBERATI, A.; ALTMAN, D. G.; TETZLAFF, J.; MULROW, C.; GÖTZSCHE, P. C.; IOANNIDIS, J. P.; MOHER, D. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and metanalyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. **PLOS Medicine**, v. 6, n. 7, e1000100, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>
- LOURENÇO, C. A. M. **Veiculação de compostos bioativos extraídos do resíduo industrial de camu-camu em filmes de desintegração oral**. 2021. 104p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, Pirassuninga, 2021.
- MANGARAJ, S.; GOSWAMI, T. K.; GIRI, S. K.; JOSHY, C. G. Design and development of modified atmosphere packaging system for guava (cv. Baruipur). **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 11, p. 2925-2946, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007%2Fs13197-012-0860-3>
- MATTIETTO, R. A.; CARVALHO, A. V.; RIBEIRO, S. I. Características físico-químicas da polpa de camu-camu provenientes de diferentes genótipos. **Embrapa Amazônia Oriental**, 2019. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1113690/1/BPD133.pdf>.
- MEIR, S.; PHILOSOPH-HADAS, S.; SALIM, S.; SEGEV, A.; RIOV, J. Reevaluation of ethylene role in Arabidopsis cauline leaf abscission induced by water stress and rewatering. **Plant Direct**, v. 6, n. 9, e444, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/pld3.444>
- MORAES-DE-SOUZA, R. A. Qualidade da polpa de camu-camu (*Myrciaria dúbia* (HBK) Mc. Vaugh), submetida aos processos de congelamento, pasteurização, alta pressão hidrostática e liofilização e armazenada por quatro meses. 2011. 112p. Tese (Doutorado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- NASCIMENTO, W. M. O; GURGEL, F. L.; BHERING, L. L.; RIBEIRO, O. D.; SOARES, A. C. S. Avaliações preliminares e parâmetros genéticos de acessos de *myrciaria dúbia* por marcadores fenotípicos. **Embrapa Amazônia Oriental**, ed.634.6, 2013.
- NEVES, L. C.; CAMPOS, A. J.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; COLOMBO, R. C.; ROBERTO, S. R. Postharvest behavior of camu-camu fruits based on harvesting time and nutraceutical properties. **Scientia Horticulturae**, v. 217, p. 276-284, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.030>
- NEVES, L. C.; SILVA, V. X.; CHAGAS, E. A.; LIMA, C. G. B.; ROBERTO, S. R. Determining the harvest time of camu-camu [*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh] using measured preharvest attributes. **Scientia Horticulturae**, v. 186, p. 15-23, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.006>
- OLIVEIRA, A. E. Z. Armazenamento pós-colheita de camu-camu sob atmosfera modificada e refrigeração. 2012. 59 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, São Paulo, 2012.
- OLIVEIRA, E. N. A.; SANTOS, D. C. Tecnologia e processamento de frutos e hortaliças. Natal: **IFRN**, 2015, p. 234.
- OLIVEIRA, J.; SILVA, I. G.; SILVA, P. P. M.; SPOTO, M. H. F. Atmosfera modificada e refrigeração para conservação pós-colheita de camu-camu. **Ciência Rural**, v. 44, n. 6, p. 1126-1133, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000600028>
- PINTO, P. M. Pós-colheita de abiu, bacupari e camu-camu, nativos da Região amazônica, cultivados no Estado de São Paulo. 2013. 146p. Tese (Doutorado em Ciências, na área de concentração em Fitotecnia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- PINTO, P. M.; SPRICIGO, P. C.; DA SILVA, S. R.; SARGENT, S. A.; JACOMINO, A. P. Effect of 1-MCP and low-temperature storage on postharvest conservation of camu-camu. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 40, n. 205, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2768-7>



- PINTO, P.; JACOMINO, A. P.; SILVA, S. R.; ANDRADE, C. A. W. Harvest point and maturation of camucamu fruit harvested at different stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 6, p. 605-612, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000600005>
- PREZZOTO, L. L. Agroindústria da agricultura familiar: regularização e acesso ao mercado. Brasília, 60 p, 2016.
- RIBEIRO, P. F. A.; STRINGHETA, P. C.; OLIVEIRA, E. B.; MENDONÇA, A. C.; SANT'ANA, H. M. P. Levels of vitamin C,  $\beta$ -carotene and minerals in camu-camu cultivated in different environments. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 567-572, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20150024>
- RIYAZUDDIN, R.; VERMA, R.; SINGH, K.; NISHA, N.; KEISHAM, M.; BHATI, K. K.; KIM, S. T.; GUPTA, R. Ethylene: A Master Regulator of Salinity Stress Tolerance in Plants. **Biomolecules**, v. 10, n. 6, p. 959, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom10060959>
- RODRIGUES, L. M.; ROMANINI, E. B.; SILVA, E.; PILAU, E. J.; COSTA, S. C.; MADRONA, G. S. Camu-camu bioactive compounds extraction by ecofriendly sequential processes (ultrasound assisted extraction and reverse osmosis). **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 64, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105017>
- RODRIGUES, R.B.; MARX, F. Camu-camu (*Myrciaria dúbia*): a promising fruit from the Amazon Basin. **Nutrition**, v.30, n.9, p.376-381, 2006.
- RUFINO, M. D.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PEREZJIMENEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; Y MANCINI FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.037>
- SABIÃO, R. R.; BRUGNARA, E. C. A valorização das frutas. **Agropecuária Catarinense**, v. 34, n. 3, 2021. <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/view/1203>
- SABINO, C. V. M. Caracterização físico-química e estudo da atividade antioxidante de cervejas adicionadas de matérias-primas da Amazônia. 2020. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.
- SANTANA, G. C. S. Desenvolvimento de microcápsulas de camu-camu (*Myrciaria dúbia* Mc Vaugh) obtidas pelo processo de gelificação iônica: estudo da estabilidade dos compostos bioativos. 2020. 76p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020.
- SANTOS, I. L.; MIRANDA, L. C. F.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M.; AMANTE, E. R. Camu-camu [*Myrciaria dubia* (HBK) McVaugh]: A review of properties and proposals of products for integral valorization of raw material. **Food Chemistry**, v. 372, p. 131290, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131290>
- SCALON, S. P. Q.; DELL'OLIO, P.; FORNASIERI, J. L. Temperatura e embalagens na conservação pós-colheita de *Eugenia uvalha* Cambess - Mirtaceae. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1965-1968, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000600048>
- SENHOR, R. F.; DE SOUZA, P. A.; NETO, R. C. A.; MARACAJÁ, P. B.; NASCIMENTO, F. J. Manejo de doenças pós-colheita. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, n. 1, p. 1-13, 2009.
- SILVA, C. S. M.; MOURÃO, R. H. V. Antioxidant activity of *Myrciaria dubia* (camu-camu) extracts Myrtaceae. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e5811225130, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25130>
- SILVA, M. A.; SOBRAL, P. J. A.; KIECKBUSCH, T. G. Relationship between glass-transition curves and sorption isotherms for the evaluation of storage conditions of freeze-dried camu-camu (*Myrciaria dúbia* (HBK) Mc Vaugh) pulp with and without maltodextrin addition. **Food Preservation Technology Series**, v. 9, p. 715-721, 2006c. DOI: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/mono/10.1201/9781420001181-68>
- SILVA, M. A.; SOBRAL, P.J.A; KIECKBUSCH, T.G. State diagrams of freeze-dried camu-camu (*Myrciaria dúbia* (HBK) Mc Vaugh) pulp with and without maltodextrin addition. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 3, p. 426-432, 2006a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.07.009>

- SILVA, M. A.; SOBRAL, P. J. A.; KIECKBUSCH, T. G. Water sorption and glass transition of camu-camu (*Myrciaria dúbia* (HBK) Mc Vaugh) pulp. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 84, n. 2, p. 435-439, 2006b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10973-005-7111-z>
- SOUZA, F. C. A.; MOURA, L. G. S.; BEZERRA, K. O.; AGUIAR, J. P. L.; MAR, J. M.; SANCHES, E. A.; SANTOS, F. F.; BAKRY, A. M.; PAULINO, B. N.; CAMPELO, P. H. Termo-sonicação aplicada no processamento de camu-camu nectars: Efeito em compostos bioativos e parâmetros de qualidade. **Processamento de Alimentos e Bioprodutos**, v. 116, p. 212-218. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2019.06.003>
- SOUZA, O. M.; SMIDERLE, O. J.; SOUZA, A. G.; CHAGAS, E. A.; CHAGAS, P. C.; BACELAR-LIMA, C. G.; MORAIS, B. S. Influence of seed size on germination and vigor of seedlings of Camu-Camu. **Scientia Agropecuaria**, v. 8, n. 2, p. 119-125, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.04>
- Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). **Food Research Center (FoRC)**. Versão 7.1. São Paulo, 2020. <http://www.fcf.usp.br/tbca>.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Trad. Santarén. 3<sup>rd</sup>. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 722p.
- VILAS-BOAS, E. V.; KADER, A. A. Effect of 1- MCP on fresh fruits. **Perishable handling quarterly**, n.108, p. 25-25, 2001. [https://ucanr.edu/sites/Postharvest\\_Technology\\_Center\\_/files/230819.pdf](https://ucanr.edu/sites/Postharvest_Technology_Center_/files/230819.pdf)
- WATKINS, C. B.; NOCK, J. F.; WHITAKER, B. D. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air-controlled atmosphere storage conditions. **Postharvest Biology and Technology**. Amsterdam, v. 19, n. 1, p. 17-32, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00070-3](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00070-3)
- WINKLER, L. M.; QUOIRIN, M.; AYUB, R.; ROMBALDI, C.; SILVA, J. Produção de etileno e atividade da enzima ACCoxidase em frutos de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa deg.*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 634-636, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000300014>
- YUYAMA, L. K. O.; AGUIAR, J. P. L.; YUYAMA, K.; LOPES, T. M.; FÁVARO, D. I. T.; BERGL, P. C. P.; VASCONCELLOS, M. B. A. Teores de elementos minerais em algumas populações de camu-camu. **Acta Amazônica**, v. 33, n. 4, p. 549-554, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000300014>
- ZAPATA, S. M.; DUFOUR, J. P. Camu-camu *Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh: chemical composition of fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 61, n. 3, p. 349-351, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740610310>
- ZHANG, J.; MA, Y.; DONG, C.; TERRY, L. A.; WATKINS, C. B.; YU, Z.; CHENG, Z. M. Meta-analysis of the effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on climacteric fruit ripening. **Horticulture Research**, v. 7, n. 208, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41438-020-00405-x>