



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE
E BIOTECNOLOGIA – REDE BIONORTE



**FRUTOS E RESÍDUOS SECOS DE CAMU-CAMU [*Myrciaria dubia* (KUNTH)
MCVAUGH]: FARINHAS, ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL E
VALORIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS E PROCESSOS AGROINDUSTRIAIS**

PEDRO VITOR PEREIRA GUIMARÃES

Boa Vista - RR

2024

PEDRO VITOR PEREIRA GUIMARÃES

**FRUTOS E RESÍDUOS SECOS DE CAMU-CAMU [*Myrciaria dubia* (KUNTH)
MCVAUGH]: FARINHAS, ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL E
VALORIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS E PROCESSOS AGROINDUSTRIAIS**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede BIONORTE, na Universidade Federal de Roraima, como requisito para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia.

Orientador: Pesq. Dr. Edvan Alves Chagas

Coorientadoras: Pesq. Dra. Maria Fernanda Berlingieri Durigan e Profa. Dra. Maria Luiza Grigio

Boa Vista - RR

JUNHO/2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

G963f Guimarães, Pedro Vitor Pereira.

Frutos e resíduos secos de camu-camu [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh]: farinhas, enriquecimento nutricional e valorização de subprodutos e processos agroindustriais / Pedro Vitor Pereira Guimarães. – Boa Vista, 2024.
103 f. : il.

Orientador: Pesq. Dr. Edvan Alves Chagas.

Coorientadora: Pesq. Dra. Maria Fernanda Berlingieri Durigan.

Coorientadora: Pesq. Dra. Maria Luiza Grigio.

Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) - Universidade Federal de Roraima. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede Bionorte.

1. Fruticultura tropical. 2. Pós-colheita. 3. Reaproveitamento integral. 4. Farinha biofortificada. 5. Ácido ascórbico. 6. Segurança alimentar. I. Título. II. Chagas, Edvan Alves (orientador). III. Durigan, Maria Fernanda Berlingieri (coorientadora). IV. Grigio, Maria Luiza (coorientadora).

CDU (2. ed.) 634.42

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária/Documentalista (UFRR):
Maria de Fátima Andrade Costa - CRB-11/453-AM

PEDRO VITOR PEREIRA GUIMARÃES

**FRUTOS E RESÍDUOS SECOS DE CAMU-CAMU [*Myrciaria dubia* (KUNTH)
MCVAUGH]: FARINHAS, ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL E
VALORIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS E PROCESSOS AGROINDUSTRIAIS**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de
Doutorado do Programa de Pós-Graduação em
Biodiversidade e Biotecnologia – Rede BIONORTE,
na Universidade Federal de Roraima, como requisito
para a obtenção do Título de Doutor em
Biodiversidade e Biotecnologia.

Aprovada em: 24/06/2024

Banca examinadora

Documento assinado digitalmente
 **EDVAN ALVES CHAGAS**
Data: 11/11/2024 14:09:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pesq. Dr. Edvan Alves Chagas (Orientador)
Embrapa Roraima

Documento assinado digitalmente
 **DANIEL AUGUSTO SCHURT**
Data: 12/11/2024 14:36:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pesq. Dr. Daniel Augusto Schurt
Embrapa Roraima

Documento assinado digitalmente
 **FABIANA GRANJA**
Data: 12/11/2024 16:18:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Fabiana Granja
Universidade Federal de Roraima

**MONTERO
FERNANDEZ ISMAEL
- 28972395P**

Firmado digitalmente por
MONTERO FERNANDEZ
ISMAEL - 28972395P
Fecha: 2024.11.12 21:52:38
+01'00'

Prof. Dr. Ismael Fernández Montero
Universidad de Extremadura

Documento assinado digitalmente
 **VALDINAR FERREIRA MELO**
Data: 12/11/2024 18:55:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo
Universidade Federal de Roraima

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE PUBLICAÇÃO

Eu, Pedro Vitor Pereira Guimarães, (X) autorizo () não autorizo a publicação da versão final aprovada de minha Tese de Doutorado intitulada “Frutos e resíduos secos de camu-camu [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh]: farinhas, enriquecimento nutricional e valorização de subprodutos e processos agroindustriais” no Portal do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE (PPG-BIONORTE), bem como no repositório de Teses da CAPES ou junto à biblioteca da Instituição Certificadora.

Boa Vista, 26 de junho de 2024

Documento assinado digitalmente
 PEDRO VITOR PEREIRA GUIMARAES
Data: 08/11/2024 14:13:08-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Pedro Vitor Pereira Guimarães

CPF: 003.580.252-90

RG: 7.604.821 (SDS/PE)

DEDICATÓRIA

Dedico a quem se empenha a produzir de forma sustentável, minha família, amigos, amigas e às vítimas da pandemia de COVID-19.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela criação deste universo incrível e pela permissão da minha existência.

À Universidade Federal de Roraima e ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos (Demanda Social). Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade do Pesq. Dr. Edvan Alves Chagas (CNPq/Produtividade 1C).

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária pela contribuição intelectual, logística e financeira.

Ao Dr. Edvan Alves Chagas, Dra. Maria Fernanda Berlingieri Durigan e Dra. Maria Luiza Grigio, pela orientação, ensinamentos, compromisso, encaminhamentos, incentivo, paciência e confiança.

A todas professoras e professores que tive durante o curso de mestrado, em especial, ao Prof. Dr. Antonio Alves de Melo Filho, pelo pronto atendimento, incentivo, conselhos, orientações e esclarecimentos diversos.

À professora do estágio de docência, Dra. Pollyana Cardoso Chagas, pela supervisão, ensinamentos, confiança e oportunidade de vivenciar a realidade do educador.

Ao professor Dr. José Fernando Durigan (*in memoriam*), pelas contribuições técnicas na etapa inicial da pesquisa.

Aos colaboradores e colegas Mattioni, Márcio, Cleiciane, Inácio, Rita, Paula, Nilma, Sylvia Juliana, Thiago, Arlene, Ezequiel, Rafael, Felipe, Gabriella, Kelly, Rafaela, Francisco, Raimundo, Victor, Caio, Vinícius, Isabel, Jayne e Rosiere pelo auxílio nas avaliações em campo e laboratório e, pelos momentos de descontração.

Aos amigos de jornada Fabiano, Nakai, Ana e Ariel pelos ensinamentos, discussões e esclarecimentos para análise técnica dos dados experimentais e geoespaciais.

À toda minha família, pelo apoio integral durante minha formação, em especial, minha mãe, avó, irmã e meu pai.

À Carolina Marques e Sr. Carlos Marques, pelas contribuições realizadas ao longo da minha trajetória acadêmica e parceria.

A todas aquelas pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

EPÍGRAFE

Esse é meu caminho e nele eu vou. Eu gosto de pensar que a luz do Sol, vai iluminar o meu amanhecer. Mas, se na manhã o Sol não surgir, por trás das nuvens cinzas tudo vai mudar. A chuva passará e o tempo vai abrir, a luz de um novo dia sempre vai estar. Para clarear você, para iluminar você, para proteger e para inspirar e alimentar você (Edi Rock, 2013).

GUIMARÃES, Pedro Vitor Pereira. **Frutos e resíduos secos de camu-camu [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh]: farinhas, enriquecimento nutricional e valorização de subprodutos e processos agroindustriais**. 2024. 103 f. Tese de Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede Bionorte – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2024.

RESUMO

A biodiversidade da Amazônia tem grande potencial para ser explorada de forma sustentável. Nas regiões produtoras de camu-camu [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh] são constatadas o desperdício dos frutos e, quando processados, dos resíduos da extração de polpas e produção de suco, que a maioria das vezes são descartados inadequadamente no meio ambiente. Desta maneira, desperdiçam-se insumos importantes, uma vez que, possuem potencial agroindustrial e nutracêutico para serem introduzidos em novos produtos, como matéria-prima ou complementação/suplementação, desde que, o processamento seja viável para região e o produto final atenda as normas regulamentadoras. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi formular e caracterizar produtos à base de frutos e resíduos da produção de polpa e suco de camu-camu gerados em Roraima. Foram formulados protótipos de farinha de camu-camu, a partir de frutos inteiros e de resíduos (cascas e sementes) da extração de polpas e da produção de suco secos, sob diferentes métodos secagem, enriquecendo, posteriormente, farinha de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), tipo d'água, tornando-a enriquecida nutricionalmente. A pesquisa buscou atender a demanda de agroindústrias familiares por alimentos regionais, desenvolvendo produtos funcionais à base de camu-camu e resíduos da produção de polpas e sucos. Utilizaram-se técnicas de baixo custo para que possam ser efetivamente reproduzidas e adotadas em regiões produtoras, inclusive avaliando a conservação no armazenamento. Com a formulação da farinha de camu-camu foi possível enriquecer outros alimentos de grande aceitação e alto valor energético, como é o caso da farinha de mandioca enriquecida, que desempenha papel importante na dieta alimentar da população brasileira, principalmente, na região Norte do país. Desta forma, o beneficiamento e reaproveitamento dos frutos e resíduos oriundos de extração de polpas e sucos, indica a viabilidade qualitativa para produção de bioprodutos, que possam contribuir com a segurança alimentar, amenizando a má nutrição da população da região, além de colaborar com a oportunidade de trabalho e geração de renda, garantindo também, ganhos econômicos e sociais. Os resultados apontam que, a qualidade agroindustrial e nutricional de protótipos de farinhas a base de camu-camu é diferenciada, em função da matéria-prima utilizada, do método de secagem e do tempo de armazenamento. As farinhas a base de frutos inteiros e resíduos do beneficiamento de camu-camu apresentam satisfatória concentração açúcares, ácidos com atividade antioxidante e macro e microelementos, sendo alternativas para industrialização dessa fruta, principalmente, em

regiões produtoras, resultando em um aproveitamento adequado de suas qualidades agroindustriais e nutricionais.

Palavras-chave: Fruticultura tropical; Pós-colheita; Reaproveitamento integral; Farinha biofortificada; Ácido ascórbico; Segurança alimentar.

GUIMARÃES, Pedro Vitor Pereira. **Dried fruits and residues of camu-camu [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh]: flours, nutritional enrichment and valorization of by-products and agro-industrial processes.** 2024. 103 p. Doctoral Thesis on Biodiversity and Biotechnology – Rede Bionorte – Federal University of Roraima, Boa Vista, 2024.

ABSTRACT

The biodiversity of the Amazon has great potential to be exploited in a sustainable way. In the regions that produce camu-camu [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh], the waste of the fruits and processed residues from the extraction of pulp and juice production can be observed, which often are improperly disposed of in the environment. In this way, important resources are wasted, since they have nutraceutical potential to be introduced in new products, as raw material or complementation/supplementation, provided that the processing is viable for the region and the final product meets regulatory standards. Therefore, the objective was to formulate and characterize products based on fruits and residues from the production of camu-camu pulp and juice produced in Roraima. Prototypes of camu-camu flour were formulated from whole fruits and residues including shells and seeds, from pulp extraction and juice production. Then used to nutritionally enrich cassava flour (*Manihot esculenta* Crantz). Based on the research, it is possible to meet the demand of family agroindustry by developing products made from camu-camu and residues deriving from the production of pulps and juices. During the research, low-cost techniques were used so that they can be effectively reproduced and adopted in producing regions, evaluating conservation in storage. With the formulation of camu-camu flour, it would be possible to enrich other foods of highly acceptance and high energy value, such as enriched cassava flour, which plays an important role in the diet of the Brazilian population, especially in the northern region of the country. In this way, processing fruits and residues from the extraction of pulps and juices can make viable the production of bioproducts that can contribute to food security, alleviating the malnutrition of the region's population, in addition to collaborating with the opportunity for work and to generate income, also ensuring economic and social gains. The partial results indicate that the evaluated camu-camu fruits have desirable quality characteristics, similar to the results found in the technical-scientific literature. The agro-industrial and nutritional quality of camu-camu-based flour prototypes is differentiated, depending on the raw material used and the drying method. Whole fruit flours and residues from the processing of camu-camu have a satisfactory concentration of sugars, acids with antioxidant activity and macro and microelements, being alternatives for the industrialization of this fruit, in its producing regions, resulting in good use of its agro-industrial and nutritional qualities.

Keywords: Tropical fruticulture; Post-harvest; Integral reuse; Biofortified flour; Ascorbic acid; Food security.

LISTA DE FIGURAS, TABELAS E QUADROS

	Página
CAPÍTULO I. CAMU-CAMU FLOUR PROCESSED IN CONVENTIONAL OVEN AND SOLAR DRYER: QUALITY PRODUCT AND ACCESSIBLE LOW TECHNOLOGY PRODUCTS AS AN OPPORTUNITY TO FAMILY AGRICULTURE	23
Figure 1. Georeferenced location of sampling point of camu-camu Morena Lake population in Boa Vista, Roraima, Brazil	27
Figure 2. Design of the solar food dryer prototype scheme, adapted for camu-camu drying	29
Table 1. Mean values of quality characters measured in whole fruits, pulp production residue and camu-camu juice production residue <i>in natura</i> .	31
Table 2. Average moisture values of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer.	31
Table 3. Mean values of soluble solids of flours derived from dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer.	32
Table 4. Mean values of titratable acidity of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer.	33
Table 5. Mean values of pH of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer.	33
Table 6. Mean values of luminosity of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer.	34
Table 7. Mean values of chromaticity of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer.	34
Table 8. Mean values of <i>hue</i> angle of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer.	35
Table 9. Mean values of ascorbic acid of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer.	36
Figure 3. Mean concentrations of nitrogen of whole fruit flours (WF), pulp production residue (PPR) and juice production residue (JPR) camu-camu	37
Table 10. Mean values of phosphorus of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer.	37
Table 11. Mean values of potassium of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer.	38
Table 12. Mean values of calcium of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer.	39
Figure 4. Mean magnesium and sulfur concentrations of whole fruit based flours, pulp production residue and camu-camu juice production residue.	40
Figure 5. Mean concentrations of copper of whole fruit flour (WF), pulp production residue (PPR) and juice production residue (JPR) camu-camu.	41

Figure 6. Mean concentrations of manganese of whole fruit flours (WF), pulp production residue (PPR) and juice production residue (JPR) camu-camu.	42
Figure 7. Mean iron, zinc and boron concentrations of whole fruit flours (WF), pulp production residue (PPR) and juice production residue (JPR) camu-camu.	43
CAPÍTULO II. FORMULAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO AGROINDUSTRIAL DE FARINHA DE MANDIOCA D'ÁGUA ENRIQUECIDA COM PROTÓTIPOS DE FARINHA DE CAMU-CAMU	49
Figura 1. Valores médios de umidade das doses de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água	56
Figura 2. Valores médios de sólidos totais das doses de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água	57
Figura 3. Valores médios de luminosidade das doses de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água	58
Figura 4. Valores médios de cromaticidade das doses de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água	59
Figura 5. Valores médios de cromaticidade das doses de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água	59
Figura 6. Valores médios de ângulo <i>hue</i> das doses de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água	60
Figura 7. Valores médios de sólidos solúveis das doses de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água	61
Figura 8. Valores médios de acidez titulável das doses de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água	62
Figura 9. Valores médios de pH das doses de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água	63
Figura 10. Valores médios de ácido ascórbico das doses de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água	64
CAPÍTULO III. EFFECT OF FREEZER STORAGE ON AGROINDUSTRIAL QUALITY OF CAMU-CAMU FLOUR PROTOTYPES OBTAINED BY DIFFERENT DRYING METHODS	68
Chart 1. Mean values of quality characters measured in whole fruits, pulp production residue and camu-camu juice production residue <i>in natura</i>	76
Table 1. Average moisture values (%) of camu-camu flours prepared using different drying methods and stored frozen over 360 days	77
Table 2. Average luminosity values of camu-camu flour made from different raw materials and drying methods	78
Table 3. Average chromaticity values of camu-camu flour made from different raw materials, drying methods and stored frozen over 360 days	79
Table 4. Average <i>hue</i> angle values (°) of camu-camu flours made from different raw materials, drying methods and stored frozen over 360 days	81

Table 5. Average soluble solids (°Brix) of camu-camu flours made from different raw materials, drying methods and stored frozen over 360 days	83
Table 6. Average titratable acidity values (g of citric acid 100 g ⁻¹ sample) of camu-camu flours made from different raw materials, drying methods and stored frozen over 360 days	85
Table 7. Average pH values of camu-camu flour made from different raw materials, drying methods and stored frozen over 360 days	87
Table 8. Average values of ascorbic acid (mg 100 g sample ⁻¹) of camu-camu flours made from different raw materials, drying methods and stored frozen over 360 days	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA: análise de variância

AT: acidez titulável

B(OH)₃: ácido bórico

Ca²⁺: cátion de cálcio bivalente

C*: cromaticidade

Cu²⁺: cátion de cobre bivalente

Fe²⁺: cátion de ferro bivalente

***h*^o:** ângulo *hue*

HPO₄²⁻: ânion de fosfato bivalente

H₂PO₄⁻: ânion de fosfato monovalente

K₂O: óxido de potássio

L*: luminosidade

Lab PAC: Laboratório de Pós-Colheita e Agroindústria da Embrapa Roraima

Mg²⁺: cátion de magnésio bivalente

NH₄⁺: cátion de amônia monovalente

NO₃⁻: ânion de nitrato monovalente

***p*:** valor *p* de Pearson

pH: potencial hidrogeniônico

Q.M.R.: quadrado médio dos resíduos

***R*²:** coeficiente de determinação

SO₄²⁻: ânion de sulfato bivalente

SS: sólidos solúveis

SS:AT: relação sólidos solúveis/acidez titulável

Zn²⁺: cátion de zinco bivalente

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1 CAMU-CAMU E SEUS SUBPRODUTOS COM POTENCIAL NUTRACÊUTICO	18
3.2 SECAGEM DE ALIMENTOS COMO ALTERNATIVA DE BENEFICIAMENTO	19
3.3 FARINHA DE MANDIOCA	21
4. CAPÍTULO I – Camu-camu flour processed in conventional oven and solar dryer: quality product and accessible low technology products as an opportunity to family agriculture.....	23
5. CAPÍTULO II – Formulação e caracterização agroindustrial de farinha de mandioca d’água enriquecida com protótipos de farinha de camu-camu.....	49
6. CAPÍTULO III - Effect of freezer storage on agroindustrial quality of camu-camu flour prototypes obtained by different drying methods	68
7. CONCLUSÕES.....	95
8. REFERÊNCIAS.....	96

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia é amplamente reconhecida como o maior repositório de diversidade genética vegetal do planeta, abrigando uma vasta gama de espécies que desempenham papéis essenciais na manutenção dos ecossistemas e oferecem promissoras oportunidades para a pesquisa científica (SOUZA *et al.*, 2023). A riqueza de flora na região é crucial não apenas para a preservação ambiental, mas também como fonte de compostos bioativos com potencial para aplicações em saúde e indústria (GRIGIO *et al.*, 2017; MONTERO *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2022). Essa diversidade vegetal ressalta a importância da conservação da Amazônia e do estudo contínuo de seus recursos para o desenvolvimento de novos produtos e terapias.

Dentro da vasta biodiversidade amazônica, as fruteiras representam uma oportunidade de exploração econômica sustentável dos recursos vegetais. Espécies frutíferas com potencial industrial demonstram a capacidade de agregar valor em diversos elos da cadeia produtiva, desde a produção até a comercialização. Este potencial para a valorização econômica regional é acompanhado pela promoção da conservação ambiental e da inovação tecnológica, destacando a importância das fruteiras na sustentabilidade e no desenvolvimento econômico local (SOUZA; SOUSA, 2002; CHAGAS *et al.*, 2015; SOUZA *et al.*, 2023).

O camu-camuzeiro [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh] pertencente à família *Myrtaceae*, também conhecido como camu-camuzeiro ou araçá d'água, é uma das fruteiras tipicamente amazônicas, que crescem na beira dos rios e lagos de toda a bacia Amazônica (YUYAMA, 2011). Os seus frutos são ricos em moléculas bioativas, minerais, compostos fenólicos, vitamina C e antocianina e demonstram potencial de aproveitamento em diferentes estádios de maturação. Recomenda-se colher o camu-camu no estágio semi-maturo, por conservar os atributos qualitativos, principalmente o teor de ácido ascórbico dos frutos por mais tempo, dando-lhes assim maior vida de prateleira (GRIGIO *et al.*, 2012, MONTERO *et al.*, 2018).

De acordo com Smiderle e Sousa (2008), os valores médios de vitamina C obtidos de polpas de frutos maduros e imaturos de camu-camu em Roraima foram de 2,59 e 2,52 g por 100 g, respectivamente, superando a acerola (1,79 g por 100 g), o caju (219,7 mg por 100 g) e a polpa do limão (44,2 mg por 100 g). Contudo, as maiores concentrações de antocianina em camu-camu, composto com ação anti-inflamatória, foram encontradas em frutos maduros, principalmente nas cascas (SILVA *et al.*, 2012; GRIGIO *et al.*, 2017; MONTERO *et al.*, 2018). As sementes de camu-camu também apresentam moléculas bioativas de interesse, a exemplo de vitamina C, totais de carotenoides e açúcares (MONTERO *et al.*, 2019).

Após o processo de beneficiamento do camu-camu, que inclui a produção da polpa e da produção de suco, as cascas e sementes do fruto são frequentemente descartadas como resíduos.

Este procedimento não apenas representa uma perda econômica potencial, mas também negligencia a oportunidade de reaproveitamento desses subprodutos. A ausência de estratégias para a valorização das cascas e sementes limita a implementação de práticas sustentáveis e a maximização dos benefícios derivados do camu-camu, não otimizando a eficiência e a responsabilidade ambiental na cadeia produtiva.

A geração de resíduos está presente em praticamente todas as atividades desenvolvidas pelo homem no decorrer da vida. Com o crescimento populacional mundial, a quantidade e diversidade de resíduos só tende a aumentar, exigindo novo posicionamento perante a esse assunto. Resíduo sólido é qualquer material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos (BRASIL, 2010).

No caso de agroindústrias, os resíduos em maior volume são os orgânicos, a exemplo dos resíduos de beneficiamento de produtos agropecuários, que quando são destinados de maneira correta, muitas das vezes transformam-se em substratos condicionadores de solos ou fertilizantes orgânicos. Entretanto, parte destes resíduos, a maioria com composição nutricional desejável (KIEHL, 2012), se segregada na fonte geradora, podem originar novos produtos ou processos de interesse biotecnológico, ou agroindustrial. Leitão e Leitão (2015) afirmam que o reaproveitamento de resíduos alimentares se apresenta como alternativa para a elaboração de novos produtos com boas referências nutricionais, além de favorecer o aproveitamento integral do alimento e a diminuição de impactos negativos ao meio ambiente.

Uma das formas de valorização de frutos e produtos (resíduos de beneficiamento) é a introdução em alimentos com boa aceitação no mercado, a exemplo da farinha de mandioca. A mandioca, matéria-prima da farinha desempenha papel importante na dieta alimentar da população brasileira, principalmente na região Norte do país (UNICAMP, 2011). Considerando a sua grande aceitação, apreciação, consumo e o alto valor energético, é também utilizada como complemento alimentar pela população carente onde, associada ao feijão, caldos e carnes, pode funcionar como grande potencial alternativo, amenizando a fome e a desnutrição.

Com esta pesquisa, foi possível formular e caracterizar produtos à base de frutos e resíduos, gerados na extração da polpa e produção de suco de camu-camu em Roraima. Possibilitando, viabilizar a adoção e reprodução nesta região por meio de procedimentos alternativos, de baixo custo e com alto rendimento, atendendo a demanda das agroindústrias familiares regionais, transformando desperdício em oportunidade. Através do reaproveitamento integral do fruto e resíduos de camu-camu foi possível popularizar o gosto da fruta nativa, contribuindo para segurança nutricional.

A biodiversidade da Amazônia tem um grande potencial para ser explorada de forma sustentável. Nas regiões produtoras de camu-camu (*M. dubia*) é constatado o desperdício dos frutos, e quando processados, dos resíduos da extração de polpas e produção de suco. Devido à dificuldade de destinação adequada, muitas das vezes são descartados inadequadamente no meio ambiente. Desta maneira, desperdiçam-se insumos, visto que, possuem potencial para serem introduzidos em novos produtos, como matéria-prima, ou complementação, ou suplementação, desde que, o processamento seja viável para região e o produto final atenda as normas regulamentadoras.

Durante a pesquisa foram utilizadas técnicas de baixo custo, para que possam ser efetivamente reproduzidas e adotadas em regiões produtoras de camu-camu de Roraima. Com a formulação da farinha de camu-camu, torna-se possível enriquecer outros alimentos de grande aceitação e alto valor energético, como é o caso da farinha de mandioca biofortificada, que desempenha papel importante na dieta alimentar da população brasileira, principalmente na região Norte do país.

Desta forma, o beneficiamento dos frutos e resíduos oriundos de extração de polpas e produção de suco, pode viabilizar a produção de bioprodutos que possam garantir a segurança alimentar, amenizando a má nutrição da população da região, além de contribuir com a oportunidade de trabalho e geração de renda, garantindo também, ganhos econômicos e sociais.

Como hipóteses do estudo, acreditou-se que, era possível obter farinha com potencial nutricional e funcional, a partir de frutos e resíduos do processamento de camu-camuzeiro. Também se acreditou que era possível formular produtos com farinha de frutos ou resíduos beneficiados da produção de polpa e suco de camu-camu como incentivo ao consumo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

A presente pesquisa teve por objetivo geral formular e caracterizar farinhas à base de frutos e de resíduos gerados no processamento de camu-camu [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh], visando a popularização e valorização de produtos e subprodutos da cultura, acessíveis a agricultura familiar local, possibilitando o aproveitamento integral de material em diferentes níveis tecnológicos, atendendo a demanda de agroindústrias familiares no desenvolvimento de produtos funcionais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar atributos qualitativos e funcionais de frutos inteiros e resíduos gerados no processamento de camu-camu para produção de polpa e suco.

Testar as principais técnicas de secagem de alimentos para a produção de protótipos de farinhas de camu-camu, com diferentes níveis tecnológicos, acessíveis às regiões nativas dos frutos.

Adaptar secador solar de alimentos e seus processos para secagem alternativa de camu-camu nas condições climáticas de Roraima.

Analisar atributos qualitativos e funcionais de protótipos de farinhas oriundas de frutos inteiros ou de seus resíduos orgânicos, gerados no processamento de camu-camu para produção de polpa e de suco.

Avaliar a vida útil comercial, ou tempo de armazenamento congelado, de diferentes protótipos de farinhas de camu-camu quanto aos atributos qualitativos e funcionais.

Formular o enriquecimento de farinha de mandioca d'água (*Manihot esculenta* Crantz) com diferentes protótipos de farinhas de camu-camu e avaliar os atributos qualitativos e funcionais dos formulados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

As moléculas bioativas desempenham papéis vitais em organismos vivos, oferecendo benefícios como propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas. Elas são fundamentais para a farmacologia e a biomedicina, oferecendo potenciais terapêuticos importantes (GUERRERO-ROMERO *et al.*, 2020). Substâncias como flavonoides, terpenoides e alcaloides, produzidas por plantas e microrganismos, são essenciais para defesa e comunicação, e têm um grande potencial no desenvolvimento de novos medicamentos (SHRINET *et al.*, 2021).

A formação dessas moléculas bioativas depende de rotas metabólicas específicas, como as vias do ácido chiquímico e do mevalonato. A via do ácido chiquímico, encontrada em plantas e microrganismos, é crucial para a produção de aminoácidos aromáticos e compostos fenólicos, que servem de base para flavonoides e outros metabólitos secundários (BENTLEY; HASLAM, 1990). Já a via do mevalonato é essencial para a produção de isoprenoides, incluindo esteróis e terpenos, que têm funções estruturais e regulatórias em células eucarióticas (VRANOVÁ; COMAN; GRUISSEM, 2013). Essas rotas metabólicas ilustram a complexidade e a especificidade dos processos bioquímicos que geram moléculas bioativas.

3.1 CAMU-CAMU E SEUS SUBPRODUTOS COM POTENCIAL NUTRACÊUTICO

O camu-camu é uma espécie tipicamente silvestre, com grande potencial econômico, capaz de colocá-la no mesmo nível de importância de outras frutíferas tradicionais da região Amazônica, como o açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e o cupuaçu [*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K.Schum.] (BRASIL, 2015), principalmente pela concentração de compostos bioativos, a exemplo do ácido ascórbico, entre outras muitas moléculas bioativas.

O ácido ascórbico é um composto que apresenta atividade antioxidante, que atua nas reações redox como transportador de elétrons para a cadeia respiratória, evita ou inibe a peroxidação lipídica e tem ação quelante de enzimas oxidativas (CHITARRA; CHITARRA, 2005). No entanto, além da vitamina C, muitas outras propriedades relevantes para Biotecnologia são encontradas no camu-camu. Kaneshima *et al.* (2017) encontraram vários constituintes antimicrobianos de interesse biotecnológico nos componentes vegetais de camu-camu, sugerindo-se que a casca (epicarpo) e as sementes podem ser utilizadas para aplicações terapêuticas.

Dentre as diversas possibilidades de uso do camu-camu na culinária, destaca-se o suco, que tem considerável poder antioxidante e propriedades anti-inflamatórias, em comparação com a vitamina C em comprimidos, contendo concentração equivalente de vitamina C,

portanto, pode ser esperado como um suplemento dietético, com potencial de prevenir a aterosclerose (INOUE *et al.*, 2008).

Montero *et al.* (2018) destacaram que cascas, polpas e sementes de frutos amazônicos, como o camu-camu e acerola apresentam boa contribuição de compostos fenólicos e alta atividade antirradical livre, indicando a presença de compostos bioativos, sendo um grande incentivo para elaboração de produtos fitoterápicos ou de alimentos funcionais. Pesquisas apontam que os produtos de camu-camu podem contribuir substancialmente, não apenas para o gerenciamento de condições inflamatórias e sua contribuição positiva para a boa saúde geral, mas também para seu potencial papel em muitos estados de doença (LANGLEY *et al.*, 2015).

Apesar de todos os benefícios do camu-camu, nas regiões produtoras de camu-camu é constatado o desperdício dos frutos, devido à falta de informações do potencial econômico, social, agroindustrial e biotecnológico dos frutos. Quando processados, os resíduos resultantes da extração de polpas, são normalmente descartados, inadequadamente, no meio ambiente. Desta maneira, vêm sendo desperdiçadas quantidades consideráveis de insumos, com elevado potencial nutricional e funcional que podem ser introduzidos em novos produtos, como matéria-prima ou complementação/suplementação, desde que, o processamento seja viável para região e o produto final atenda as normas regulamentadoras.

Na indústria de alimentos, são conhecidos como resíduos, partes da matéria-prima não utilizadas no processamento do produto principal (EVANGELISTA, 2008). De acordo com a legislação brasileira vigente (BRASIL, 2010), os resíduos de camu-camu são classificados quanto origem e periculosidade como resíduos industriais e não perigoso, respectivamente. De acordo com Evangelista (2008), a maior utilização de matérias-primas residuais, principalmente de cascas, sementes, ramas e bagaços, fez surgir novas fontes de riqueza, e tornou praticável a existência, no mercado, de subprodutos mais variados e de menor preço. Os resíduos da produção de polpa e suco caseiro de camu-camu são descartados durante o seu processamento e se, passar por manobras tecnológicas, podem se tornam subprodutos.

3.2 SECAGEM DE ALIMENTOS COMO ALTERNATIVA DE BENEFICIAMENTO

A secagem é uma tecnologia de pós-colheita com ampla utilização, que superam problemas relacionados à superprodução, excesso de oferta, manuseio pós-colheita, insetos-pragas, patógenos e vida útil curta. A secagem é aplicada para reduzir o teor de umidade da fruta a um nível que pode impedir o crescimento de fungos e fungos e, assim, minimizar a degradação microbiana (CHONG; LAW, 2010). Para Alasalvar e Shahidi (2013), frutas secas, com sua combinação única de sabor e aroma, nutrientes essenciais, fibras e fitoquímicos ou

compostos bioativos, são um passo conveniente para uma alimentação saudável e, um meio de preencher a lacuna entre o consumo recomendado de frutas e o consumo real.

Diferentes fontes de calor são utilizadas para a secagem de produtos agrícolas, os mais comuns são combustíveis fósseis, eletricidade e energia solar (EKECHUKWU, 1999). Para a secagem de alimentos existem vários tipos e variantes de secadores, de acordo com as características do alimento, a facilidade de processamento e, principalmente, a forma que se deseja dar ao produto (EVANGELISTA, 2008). Secagem ao sol, secagem com ar quente, secagem por aspersão, secagem por micro-ondas, desidratação osmótica e liofilização são amplamente utilizados para a secagem de frutas (CHONG; LAW, 2010).

De acordo com Ekechukwu (1999), basicamente, a secagem térmica é o método mais utilizado para secagem de produtos agrícolas, consistindo da vaporização da umidade dentro do produto pelo calor e, sua evaporação subsequente do produto, que pode ocorrer em métodos convencionais e alternativos, a exemplo da secagem solar. De acordo com Sharma, Chen e Lan (2009), o uso das tecnologias para secagem de alimentos, inclusive de baixo custo, pode reduzir a deterioração, melhorar a qualidade do produto e higiene geral de processamento, principalmente, em áreas rurais, o que leva a crer que, o uso destas tecnologias possa trazer impactos positivos para comunidades ribeirinhas também.

Há relatos de casos de sucesso em diversas localidades no mundo, que evidenciam e corroboram a importância do uso de secadores solares alternativos para alimentos. Almuhanha (2012) obteve bons resultados com a utilização de uma estufa solar com ventilação forçada como secador solar, na Província Oriental da Arábia Saudita. Em Assam, no nordeste da Índia, Basumatary *et al.* (2013) relataram que, é possível elaborar um secador solar de baixo custo, que possa funcionar de forma eficaz e eficiente, com necessidade reduzida de manutenção, podendo ser substituto para os caros secadores convencionais, tornando-os assim acessíveis para os agricultores e população da região.

No Brasil, diversas experiências bem-sucedidas também foram relatadas para secagem de material vegetal, em especial, frutas amazônicas, tais como acerola (*Malpighia emarginata* DC.), (REIS *et al.*, 2018), taperebá (*Spondias mombin* L.) (FREITAS *et al.*, 2018), tucumã (*Astrocaryum aculeatum* G.Mey.) (YUYAMA *et al.*, 2008).

A industrialização do camu-camu para obtenção de farinha, igualmente, aos processamentos de secagem de outras frutas amazônicas, com resultados bem satisfatórios, é uma alternativa para diversificar as possibilidades de comercialização dos frutos, o que permite aumentar a estabilidade e reduzir as perdas pós-colheita do produto, tornando possível o armazenamento e conservação em condições ambientais por maior tempo, e principalmente,

propiciando o consumo do produto fora da safra (REIS *et al.*, 2017; FREITAS *et al.*, 2018), que é um dos objetivos principais da secagem de alimentos.

De acordo com Azevêdo *et al.* (2014), o resíduo de camu-camu liofilizado e seco ao ar apresentam valores significativos de fenólicos totais residuais, antocianinas, proantocianidinas, carotenoides e flavonóides importantes, além de atividades antioxidantes, antimicrobianas e antienzimáticas.

3.3 FARINHA DE MANDIOCA

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é um tubérculo utilizado como alimento básico para grandes populações, consumido na forma de farinha, amido ou cozido (*in natura*) e tem grande importância sociocultural para o crescimento de grupos populacionais (FIALHO; VIEIRA, 2011). Recentes estudos mostram que a mandioca é uma excelente fonte de carboidratos, especialmente amido, que representa a principal fração do seu conteúdo nutricional e fornece uma energia significativa (MOHIDIN *et al.*, 2023).

Além disso, a mandioca contém níveis relevantes de fibras dietéticas, que são benéficas para a saúde digestiva e o controle glicêmico (BOUKHERS *et al.*, 2022). Sua composição também inclui vitaminas do complexo B, como tiamina e riboflavina, e minerais como cálcio e ferro, que contribuem para diversas funções metabólicas e manutenção da saúde geral (HURTADA *et al.*, 2020). A mandioca, portanto, desempenha um papel crucial na nutrição, especialmente em regiões tropicais onde é um alimento básico, oferecendo não apenas uma fonte de energia, mas também benefícios nutricionais adicionais.

Segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO), 100 gramas de farinha de mandioca crua apresentam 361 kcal, sendo rica em carboidratos que representam 87,9 g (UNICAMP, 2011). Além disso, a legislação brasileira determina que a farinha de mandioca apresente valores abaixo de 13% de teor de umidade (BRASIL, 2005). Essa baixa presença de água contribui para que seja reduzida a atividade microbológica, elevando a segurança alimentar durante o tempo armazenado.

A necessidade e o valor da inovação para trazer ao mercado diversos tipos de farinha de mandioca, como crua, torrada, fina, amarela, branca, diferenciando-as e podendo atender de forma conveniente aos consumidores é uma demanda crescente. Ademais, temperos, vitaminas e minerais podem ser adicionados para aumentar o valor nutricional e o sabor do produto final (SEBRAE, 2012).

A região Norte é a maior consumidora de farinha de mandioca no Brasil, com média de 23,54 kg/per capita/ano, enquanto a média de consumo do país é de 5,3 kg/per capita/ano. Em segundo lugar fica a região Nordeste, com 9,67 kg/per capita/ano, demonstrando que as duas

ficam bastante acima das demais regiões que apresentam 1,3 kg/per capita/ano (SEBRAE, 2012). Devido a riqueza nutricional da mandioca em carboidratos, facilidade de cultivo, baixa incidência de fitopatologias e pragas, resistência a secas e solos com elevada acidez, contribui significativamente na segurança alimentar de algumas nações sendo um importante cultivo da agricultura (VENTURINI *et al.*, 2015).

Em realidades ribeirinhas, a elaboração da farinha de mandioca tem alto impacto na economia familiar, sendo importante produto de comercialização e consumo, visto que é um dos principais itens na alimentação diária da população da região Norte (PEREIRA; ROCHA; FORMIGOSA, 2020). A dieta dessas famílias consiste principalmente em frutas, verduras e legumes, além de peixes e farinha (PASSOS *et al.*, 2001). Além disso, o excedente da produção de farinha, propicia uma forma de renda por meio da venda e trocas com moradores próximos que também apresentam características de subsistência familiar (CORRÊA *et al.*, 2018).

Na região Norte a produção de farinha ocorre em ambientes chamados de “Casas de Farinha”, que apresentam baixas condições higiênico-sanitárias, com inúmeras irregularidades que afetam a segurança alimentar. Além disso, por não haver padronização durante o processo, são muitos os fatores que contribuem para a variação na qualidade final do que é produzido (CHISTÉ *et al.*, 2006). Mesmo assim, no Pará quase toda produção é realizada da maneira citada, de forma artesanal, movimentando a economia local por meio de pequenos negócios da zona rural (MODESTO JÚNIOR; ALVES, 2016).

O Brasil em 2016, foi responsável por produzir 23,71 milhões de toneladas em 1,55 milhões de hectares (CONAB, 2017). Grande parte da plantação de mandioca brasileira está localizada nas regiões Norte e Nordeste do país e é primordialmente utilizada para a produção de farinha. Nesse cenário, a agricultura familiar em zonas rurais e ribeirinhas se destacam como principais responsáveis por esse processo, produzindo e comercializando, sendo importante ingrediente da subsistência e fonte renda (FREITAS; FARIAS; VILPOUX, 2011).

De acordo com a RDC nº 263 as farinhas são os produtos obtidos de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas por moagem e ou outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos (BRASIL, 2005). Para a farinha de mandioca, os processos de pós-colheita da raiz são: recepção e seleção, armazenamento das raízes, lavagem-descascamento, descascamento manual ou repinicação, lavagem, amolecimento em água, mistura, ralação, prensagem, esfarelamento, peneiramento, escaldamento ou grolagem, uniformização, torração, resfriamento, peneiramento e classificação, embalagem, armazenagem (RINALDI *et al.*, 2017).

4. CAPÍTULO I – GUIMARÃES, P. V. P.; DURIGAN, M. F. B.; CHAGAS, E. A.; GRIGIO, M. L.; SILVA, T. Í. da; MELHO FILHO, A. A. de; MARQUES, C. S.; MATTIONI, J. A. M. Camu-camu flour processed in conventional oven and solar dryer: quality product and accessible low technology products as an opportunity to family agriculture. **Journal of Agricultural Science**, v. 15, n. 6, p. 1-18, 2023.

Camu-Camu Flour Processed in Conventional Oven and Solar Dryer: Quality Product and Accessible Low Technology Products as an Opportunity to Family Agriculture

Pedro V. P. Guimarães¹, Maria F. B. Durigan², Edvan A. Chagas³, Maria L. Grigio⁴, Thiago Í. N. da Silva⁵, Antonio A. de M. Filho⁶, Carolina S. Marques⁷ & José A. M. Mattioni⁸

¹ Postgraduate Program in Biodiversity and Biotechnology Network of the Legal Amazon (BIONORTE), Federal University of Roraima, Boa Vista, Roraima, Brazil

² Post-harvest and Agro-industrialization Technology, Embrapa Instrumentation, São Carlos, São Paulo, Brazil

³ Fruticulture Science, Embrapa Roraima, Boa Vista, Roraima, Brazil

⁴ National Postdoctoral Program, Federal University of Roraima, Boa Vista, Roraima, Brazil

⁵ Nutrition, Estacio University Center from Amazon, Boa Vista, Roraima, Brazil

⁶ Department of Chemical, Federal University of Roraima, Boa Vista, Roraima, Brazil

⁷ Postgraduate Program in Agroecosystems, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Roraima, Brazil

⁸ Tecnology Transfer, Embrapa Roraima, Boa Vista, Roraima, Brazil

Correspondence: Pedro V. P. Guimarães, Postgraduate Program in Biodiversity and Biotechnology Network of the Legal Amazon (BIONORTE), Federal University of Roraima, Av. Cap. Enê Garcez, 2413, Boa Vista, Roraima, Brazil. Tel: 55-095-981-092-836. E-mail: pedrovpg@hotmail.com

Received: February 1, 2023 Accepted: March 26, 2023 Online Published: May 15, 2023

doi:10.5539/ URL: <https://doi.org/10.5539/>

Abstract

The culture of camu-camu fruit is one of the most promising in the Amazon region; with proper industrialization the fruit could contribute to local food security, which raises excellent

opportunities to further elaborate products with higher aggregate value to introduce to population living in natural producing areas. The aim of this research was to carry out a comparison of the agro-industrial and nutritional quality of fruit flour prototypes and residues from the processing of camu-camu dehydrated in a conventional electric oven and an alternative solar dryer, verifying the possibility of obtaining a standardized flour product with the techniques used. The camu-camu fruits was harvested in March of 2018 at Morena Lake, Boa Vista municipality, Roraima State, Brazil and, processed into flour at Embrapa Laboratories. Furthermore, an analysis of moisture, soluble solids, titratable acidity, pH, color and N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe and B contents of the flour, were carried out and evaluated. The experimental design was completely randomized in a factorial scheme, evaluating three raw materials by two drying methods. The data was statistically validated using an analysis of variance, when there was statistical difference, the means of agroindustrial and elemental characteristics were compared by the T (0.05) and Tukey (0.05) tests. The main quality differences in the interaction between raw materials and drying methods are in moisture, soluble solids, titratable acidity, color and P, K and Ca contents. In general, the macro and microelement contents of the camu-camu flour dehydrated in a hot air oven with forced ventilation, and in a low-cost convection solar dehydrator presented the following order $N > K > P > Ca > S > Mg > Mn > Fe > B > Zn > Cu$. The evaluated camu-camu flours are presented as alternatives for the integral use of the fruit and processing residues, having satisfactory qualities, with the possibility of being used in agro-industrial products.

Keywords: agroindustrial quality, agroindustrial waste, alternative dryer, macroelements, microelements, *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh

1. Introduction

Brazil has biodiversity capable of guaranteeing the security and food sovereignty of its population. The camu-camu [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh] is a wild species with considerable economic potential, capable of placing it at the same level of importance as other traditional Amazon native fruits, such as açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) and cupuaçu [*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K.Schum.] (Brazil, 2015). Among the vast possibilities of using camu-camu daily, the juice stands out for its convenience, which has considerable antioxidant and anti-inflammatory properties, when compared with vitamin C (ascorbic acid) tablets containing the equivalent concentration; consequently, it could be used as a dietary supplement with the potential to prevent atherosclerosis (Inoue et al., 2008).

In addition to ascorbic acid, other properties relevant to biotechnology are found in the camu-camu fruit. Kaneshima et al. (2017) discovered several antimicrobial constituents of biotechnological interest in the vegetal components of camu-camu, suggesting that the bark (epicarp) and the seeds can be used for therapeutic applications. Montero et al. (2018) pointed out that bark, pulp and seeds of fruits, such as camu-camu and acerola (*Malpighia emarginata* DC.), present good contribution of phenolic compounds and high antiradical activity, which indicates the presence of bioactive compounds and encourages the elaboration of phytotherapeutic and commercial food products. Additionally, research has shown that camu-camu products can contribute to the management of inflammatory conditions affecting a wide range of illnesses, and overall promoting good-health (Langley et al., 2015).

Despite all the benefits of camu-camu, waste is an issue due to lack of information on the socioeconomic, agroindustrial and biotechnological potential of the fruit, in its naturally producing regions. When processed, the residues from the extraction of the pulps are normally disposed of inappropriately in the environment. Over the years, considerable amounts of residue have been wasted, with high nutritional and functional potential that could have been introduced in new products, as raw material complementation or supplementation, provided that the processing is viable for the region, and the final product meets standards set by regulatory authorities.

In the food industry, waste residues are defined as raw material not used in the processing of the main product (Evangelista, 2008). According to the current Brazilian legislation (Brazil, 2010), the camu-camu waste is classed as origin and hazard as industrial and non-hazardous waste, respectively. According to Evangelista (2008), the increase in the use of residual raw materials, primarily bark, seeds, branches and bagasse; has given rise to new sources income, making possible the existence of low-cost and varied byproducts in the market. Using technological methods, domestic fruit waste generated from processing of camu-camu pulp and juice can become profitable by-products.

In order to increase stability and reduce post-harvest losses, industrialization of camu-camu residues to produce flour can yield very satisfactory results, when methods comparable to the drying processes of acerola and taperebá (*Spondias mombin* L.) are applied; serving as an alternative to diversify the commercialization possibilities of the camu-camu fruit. Such industrialized products, allows the storage and consumption of camu-camu, after harvest periods (Freitas et al., 2016; Reis et al., 2017), which has long been one of main objectives in food conservation.

Drying is a widely used post-harvest technology, that reduces the moisture content of the fruit to a level that prevents growth of fungi, minimizing microbial degradation of the products; this method aids in overcoming problems that arise from overproduction, oversupply, post-harvest handling, insect pests, pathogens and short shelf-life (Chong & Law, 2010). Besides, for and Shahidi (2013), dried fruits with their unique combination of flavor, aroma, essential elements, fiber, phytochemicals and bioactive compounds, are convenient step for healthy eating and a means of bridging the gap between recommended and actual consumption.

The most common heat sources used for drying agricultural products are fossil fuels, electricity and solar energy (Ekechukwu, 1999). According to Sharma, Chen, and Lan (2009), even low-cost food drying equipment can help reduce deterioration, improve product quality and hygiene standards of processing. The use of this technology could have a significant impact on rural and riparian communities. Around the world, there has been collaboration on the benefits of food drying, and evidently the use of alternative methods for processing has gained traction. Almuhanha (2012) obtained good results with the use of a forced-air solar oven as a solar dryer, under the climatic conditions of the Eastern Province of Saudi Arabia. Alternatively, a low-cost solar that functions efficiently, with reduced maintenance needs can be a substitute for expensive conventional dryers, as reported by Basumatary et al. (2013) in Assam, northeastern India.

In the Amazon region, production systems found in small farms and businesses are commonly low budget technology, such as blenders or mixers, with few establishments having access to industrial pulpers. Flour presents a flexible alternative to small farms and businesses, increasing the likelihood of implementing this type of camu-camu residue. Furthermore, a combination of low budget agricultural conditions and high levels of solar radiation flux, these alternative methods of food processing are attractive options to optimize the use of native fruits, resulting in an enhanced production in low-income communities with limited technological access, Junior et al. (2012).

As emphasized by Sharma et al. (2009), the desired result when applying drying methods is to significantly improve agricultural returns to farmers in recognition of their dedication to growing crops. In the case of tucumã (*Astrocaryum aculeatum* G. Mey.), another fruit native to the Amazon region, one of the viable alternatives of sustainable use was the dehydration of fruit pulp, followed by spraying. It is a relatively simple technology in which the fruit can be processed with the use of equipment accessible to small farmers, increasing shelf-life and reducing costs (Yuyama et al., 2008).

The objective of this research was to carry out a comparison of the agro-industrial and nutritional quality of fruit flour prototypes and residues from the processing of camu-camu dehydrated in a conventional electric oven and an alternative solar dryer, verifying the possibility of obtaining a standardized flour product with the techniques used.

2. Method

2.1 Plant Material Used

The fruits samples were collected manually in March 2018, from adult native plants, in good physiological conditions, in an area on the shores of Lake Morena (Figure 1), in the municipality of Boa Vista, Roraima (reference geographic coordinates of reference 02°27'45"N and 60°50'14"W, with 60 m of altitude).

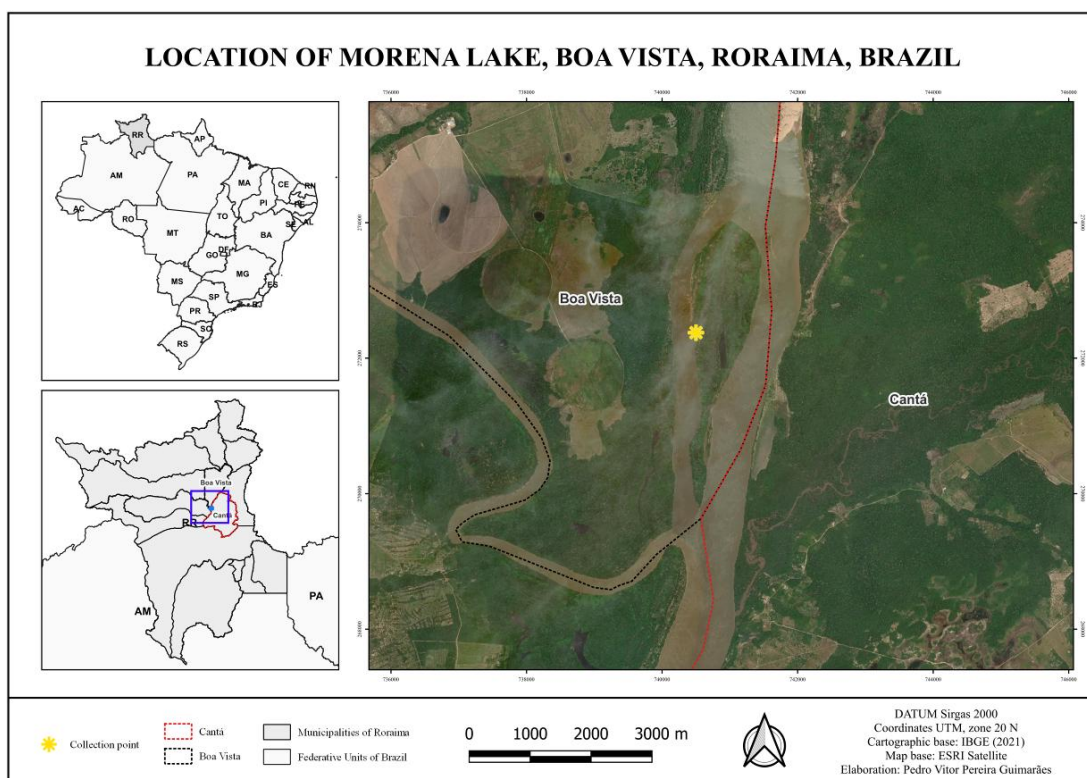


Figure 1. Georeferenced location of sampling point of camu-camu (02°27'45"N and 60°50'14"W) Morena Lake population in Boa Vista, Roraima, Brazil

2.2 Fruit Sampling and Preparation

After collection, the fruit samples were packed in small plastic bags and placed in ice filled styrofoam boxes, further transported 70 km to the Post-Harvest and Agroindustrialization Laboratory of Embrapa Roraima, in Boa Vista. The samples were handled in a controlled ambient room (25±1 °C; 60±5% R.U.), where sorting and elimination of soil and fruits with mechanical injuries was carried out.

Subsequently, in accordance with recommendations by National Sanitary Surveillance Agency (ANVISA, 2004), sanitation was carried out using a solution of tap water and 0.02% sodium hypochlorite (NaClO) for 10 minutes. After rinsing, the fruits were processed by separating the liquid from pulp, to obtain raw materials used in the production of the flour prototypes. Sub-samples of the fresh fruits were reserved for biometric characterization.

2.3 Whole Fruit (WF) Processing to Obtain Pulp Production Residue (PPR) and Juice Production Residue (JPR)

Two methods of fruit processing were tested to obtain the residue: the pulp production using a industrial vertical fruit pulper, and production of homemade juice using a blender, being the latter commonly found in small farms and homes throughout the region.

To prevent shaving the integument of seeds, which can release astringent substances, in the pulp using the vertical fruit pulper a 1mm sieve was used (compact model, with 1 cv of power, brand Bonina). The production of homemade juice was carried out in an electric blender (model

optimix plus, with 550 W of power, brand Arno), using the pulse function for five times, to prevent crusing of the seeds, after which the juice was filtered in a 1 mm plastic sieve.

2.4 Characterization of Whole Fruits, Pulp Production Residue and Juice Production Residue in Natura

The moisture or water content was determined by gravimetric method, in circulating hot air oven, set around the 105 °C range, with results expressed as a percentage. The determination of moisture, soluble solids titratable acidity and pH were performed in a controlled temperature room (25±1 °C), using the methods of the Adolf Lutz Institute (IAL, 2008), correcting the data at 25 °C, accordingly.

Soluble solids of the samples were determined using a digital refractometer, with results expressed in °Brix, previously calibrated with deionized water (0.0 °Brix). The titratable acidity of the frozen samples was determined by volumetry using 0.1 N NaOH solution as titrant and 1% phenolphthalein as indicator. The titratable acidity of the flours was determined by potentiometry, using 0.1 N NaOH solutions as titrant until pH in the range of 8.2-8.4. Each titratable acidity analyzes had values expressed in grams (g) of citric acid 100 g⁻¹ samples. The ratio was obtained by the relationship between soluble solids and titratable acidity.

For determination of pH a digital potentiometer was used, where the measurements were performed in a homogeneous extract diluting of 10 g of the sample in 100 mL of deionized water (1:10 w/v). The samples were homogenized in a mixer for approximately 60 seconds per sample. To calibrate the potentiometer, buffer solutions of pH 4.0 and 7.0 were used. Colorimeter calibrated on a standard plate ($Y = 87.2$; $x = 0.3167$; $y = 0.3237$) was used to determine the color (luminosity, chromaticity and *hue* angle), with the results expressed in the CIE L*C*h system. The samples were extracted using 0.5% oxalic acid and tritated with 2,6dichlorophenolindophenol (Ranganna, 1986). Results were expressed in mg of ascorbic acid 100 g⁻¹ sample.

2.5 Drying of Fruits and Waste From Professional Pulp and Juice Production

The fruit and the two different residues obtained were dried using two methods classed hereby as traditional and alternative. As a traditional method, the drying oven with forced air circulation and renewal was adopted. The alternative method consisted of using a solar dryer adapted for the experiment, with natural air circulation and renewal.

2.5.1 Conventional Dryer Oven

For the conventional drying of whole fruits and camu-camu processing residues, an electric oven was used with forced air circulation and hot air renewal, set in the range of 60±5 °C, in accordance to the methods described by Adolf Lutz Institute (2008).

The samples were placed in aluminium containers and added to the electric oven with forced air circulation and hot air renewal. The process was carried out in a controlled environment (25±1 °C; 60±5% R.U.), until the display showed a constant mass, after approximately 96 hours.

2.5.2 Alternative Solar Dryer

The solar drier used in the experiment is a 80 cm × 30 cm × 30 cm prototype made out of marine grade plywood. The samples separated for drying were accommodated in roasting trays of 27 cm by 12 cm, with 3 cm of height, arranged in a support, made with galvanized screen, and a 0.2 cm thick glass cap was used. To optimize the solar incidence radiation the dryer has a slope (Figure 2).

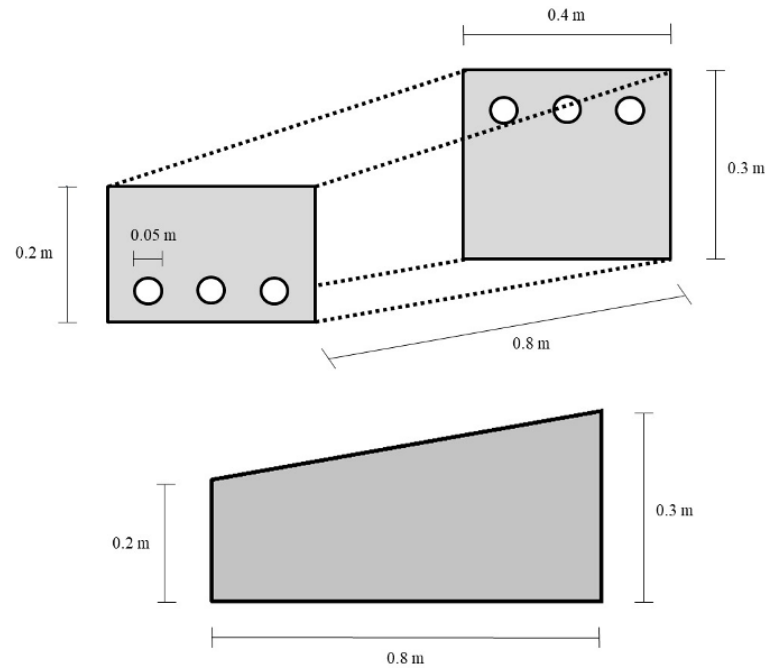


Figure 2. Design of the solar food dryer prototype scheme, adapted for camu-camu drying

The sides of the cabinet were painted in matte black color for wood conservation and absorption of solar radiation transmitted through the glass cover. Six holes (5 cm diameter) were drilled for ventilation on the front and back of the dryer cabinet; a screen was placed in the airing holes to protect against dust, insects and birds. It is classified as a cabinet dryer, with direct sunlight exposure and natural air circulation, where the solar radiation passes through the glass, to be incident on the samples placed for drying. The glass cover reduces direct convective losses to the environment and increases the temperature inside the dryer. This solar dryer prototype was based on the model developed by Jairaj, Singh, and Srikant (2009).

The samples were arranged in aluminium containers and added to the alternative solar dryer. During the drying process, the samples were exposed daily to temperatures ranging between 45 to 63 °C (average 53 ± 6.45 °C), from 8:00 am to 5:00 pm, until it presented a constant mass rate, after approximately 120 hours.

2.6 Grinding/Milling

After completely drying, the fruit samples and residues were processed in blender (Arno brand, model optimix plus, with 550 W power) for 5 minutes, aiming to obtain a homogenous material with flour texture.

2.7 Characterization of Dried Fruit Flours and Dried Camu-Camu Waste

2.7.1 Agroindustrial Quality

The humidity was determined by gravimetric method, in an air oven with circulation, graduated in the range of 105 °C, with values expressed as a percentage. Moisture, soluble solids, titratable acidity and pH were determined in an air-conditioned room (25±1 °C), using the methods of the Adolf Lutz Institute (IAL, 2008) and the data, when necessary, corrected at 25 °C.

The soluble solids of the samples were determined using a digital refractometer, previously calibrated with deionized water (0.0 °Brix). The titratable acidity of the frozen samples was determined by volumetry using 0.1 N NaOH solution as titrant and 1% phenolphthalein as indicator. The titratable acidity of the flours was determined by potentiometry, using 0.1 N NaOH solution as titrant until pH in the range of 8.2-8.4. Both titratable acidity analyzes had values expressed in g of citric acid. Soluble solids ratio was obtained: acidity titrable by the algebraic operation of dividing values found for soluble solids and titratable acidity. The samples were extracted using 0.5% oxalic acid and tritated with 2,6dichlorophenolindophenol (Ranganna, 1986). Results were expressed in mg of ascorbic acid 100 g⁻¹ sample.

For determination of pH, a digital potentiometer was used, the measurements were performed in a homogeneous extract of the dilution of 10 g of the sample in 100 mL of deionized water (1:10 w/v). The samples were homogenized in a mixer for approximately 60 seconds per sample. For calibration of the potentiometer, buffer solutions of pH 4.0 and 7.0 were used. Colorimeter calibrated on a standard plate ($Y = 87.2$; $x = 0.3167$; $y = 0.3237$) was used to determine the color (luminosity, chromaticity and *hue* angle), with the results expressed in the CIE L*C*h system.

2.7.2 Nutritional Quality

Flour prototype samples stored in paper bags, underwent a macro and microelement analysis using sulfuric acid digestion to determine contents for nitrogen (N); and nitric-perchloric acid digestion to determine P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn and Zn contents. Colorimetry was used for analysis of P, S and B; atomic absorption spectrophotometry was used for Ca, Mg, Cu, Fe, Mn and Zn analysis, and for K, flame photometry emission was used.

2.8 Experimental Design and Statistical Analysis

The experimental design used was the completely randomized, in a factorial scheme (3 × 2). One of the factors studied was the raw material, containing three levels [whole fruit (WF), pulp residue production (PPR) and juice residue production (JPR)]. On the other hand, the second factor analysed was the drying method by conventional dryer oven or alternative solar dryer, being all analysis performed with four replicates. The data was submitted to the normality test (Shapiro-Wilk) and homogeneity test (Levene), were statistically validated by analysis of variance and, if found to be significant (0.05), compared by Tukey test (raw material) and test F (drying method factor), both to 5% probability. Analysis and plots of the figures were performed in the R 4. 2. 2. Environment (R Core Team, 2023), using the Rcmdr package (Fox & Bouchet-Valat, 2019).

3. Results and Discussion

The whole fruit and waste juice used as raw materials in the production of camu-camu flour, are acidic, high in water content and reddish-purple colour. Table 1 shows the results of the physio-chemical analysis obtained for the frozen raw materials at the time of the start of the experiment.

Table 1. Mean values of quality characters measured in whole fruits, pulp production residue and camu-camu juice production residue *in natura*

Parameters measured	WF	PPR	JPR
Moisture (%)	80.13±0.95	88.28±0.51	75.30±1.70
Total solids (%)	19.87±0.95	11.72±0.51	24.70±1.70
Soluble solids (°Brix)	7.08±0.17	6.45±0.13	6.80±0.25
Titrateable acidity (g citric acid 100 g ⁻¹)	4.28±0.11	2.82±0.15	2.23±0.10
Solid soluble: titrateable acidity	1.65±0.01	2.29±0.09	3.05±0.08
pH	2.99±0.05	3.37±0.05	3.46±0.06
Luminosity	25.52±0.71	28.63±1.51	36.28±1.37
Chromaticity	28.65±2.52	30.01±1.90	24.61±2.05
Angle <i>hue</i> (°)	16.86±2.41	19.61±2.89	20.19±1.02
Acid ascorbic (mg ascorbic acid 100 g ⁻¹)	2203.19±200.72	1449.16±40.10	1034.00±41.97

Note. WF = whole fruit; PPR = pulp production residue; JPR = juice production residue.

During the analysis, a significant difference (0.05) was verified in the interaction of the treatments tested for the majority of the variables, being necessary to perform the unfolding of treatments. The prototypes of camu-camu flour presented satisfactory low moisture values, since water content is a parameter that must be maintained at a low percentage to avoid growth of microorganisms (Reis et al., 2017). Flours elaborated with raw materials processed in the solar dryer showed the higher moisture values (from 1.22 to 2.04%), compared to those processed in the conventional oven (from 0.20 to 0.37%), worth noting that the moisture widely range depending on the equipment used (Table 2).

Table 2. Average moisture values of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer

Camu-camu flours	Conventional dryer oven	Alternative solar dryer
	----- % -----	
Whole fruit	0.25±0.01 aB	1.42±0.17 bA
Pulp production residue	0.37±0.15 aB	2.04±0.16 aA
Juice production residue	0.20±0.01 aB	1.22±0.17 bA
C.V. (%)	14.51	
Overall mean	0.91	

Note. Averages of the same lowercase letters in the columns do not differ statistically when analysed by Tukey test at 5% probability. Similarly, the averages represented

by the same uppercase letter in the rows also do not diverge when applying F test at 5%.

The flour evaluated in this experiment presented less moisture than the camu-camu flour analysed by Azevêdo et al. (2014) in hot air oven experiments at two temperatures (50 and 80 °C) and lyophilizer, yielding values ranging from 5.90 ± 0.90 to $5.90 \pm 1.20\%$. The prototype camu-camu flours tested here also present lower moisture than those studied by Chagas, Vanin, and Carvalho (2016) in a dehydration experiment at temperatures of 40 and 60 °C, with values between $10.55 \pm 0.15\%$ and $7.26 \pm 0.06\%$, respectively.

Analysis of the flour processed in the alternative solar dryer presented soluble solids values of up to 2.43 ± 0.13 °Brix, above the average found in flour dried in a conventional oven, up to 1.78 ± 0.10 °Brix (Table 3). Soluble solids are the portions of the total solids that are dissolved in the vacuolar sap, in fruits especially it corresponds primarily to sugars, minerals and pectin (M. I. Chitarra & A. B. Chitarra, 2006). Considering that solar drying methods preserves sugar content better than conventional ovens, the higher soluble solid content found in this study can be anticipated.

Table 3. Mean values of soluble solids of flours derived from dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer

Camu-camu flours	Conventional dryer oven	Alternative solar dryer
	----- °Brix -----	
Whole fruit	1.78 ± 0.10 aB	2.43 ± 0.13 aA
Pulp production residue	0.95 ± 0.13 cB	1.48 ± 0.10 bA
Juice production residue	1.15 ± 0.06 bB	1.30 ± 0.08 bA
C.V. (%)	6.66	
Overall mean	1.51	

Note. Averages of the same lowercase letters in the columns do not differ statistically when analysed by Tukey test at 5% probability. Similarly, the averages represented by the same uppercase letter in the rows also does not diverge when applying F test at 5%.

It was observed that, in the two types of drying, the flours elaborated with whole fruits of camu-camu had the highest soluble solids contents, consequently, were the sweetest samples. Prototypes of camu-camu flour have similar soluble solids values under pasteurization and dehydration in a forced circulation oven (50 °C) of acerola juice production (1.07 and 1.23 °Brix) and grape (0.20 and 2.33 °Brix), as recorded by Storck et al. (2015). However, these values are lower than residual values of soluble solids found in flour made of oranges (3.50 and 3.77 °Brix) and apple (3.47 to 5.10 °Brix), manufactured by using residual byproducts of juice.

It was verified that the prototype of camu-camu flour, elaborated with raw materials processed in conventional greenhouse, are statistically more acid than the prototypes of flour elaborated with raw materials processed in the solar dryer. Analysis of both drying methods yielded the

highest results, greater than 4 g of citric acid 100 g⁻¹, when flour made of whole fruit was tested (Table 4).

Table 4. Mean values of titratable acidity of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer

Camu-camu flours	Conventional dryer oven	Alternative solar dryer
	----- g of citric acid 100 g ⁻¹ ----	
Whole fruit	4.19±0.04 aA	4.04±0.07 aB
Pulp production residue	2.38±0.06 bA	1.59±0.08 cB
Juice production residue	2.64±0.14 bA	2.32±0.07 bB
C.V. (%)	2.93	
Overall mean	2.86	

Note. Averages of the same lowercase letters in the columns do not differ statistically when analysed by Tukey test at 5% probability. Similarly, the averages represented by the same uppercase letter in the rows also do not diverge when applying F test at 5%.

The average concentration of citric acid (titratable acidity) present in the flours studied is close to the values reported by Juliano et al. (2014) in a preservation experiment of lyophilized camu-camu pulp, with averages of 2.32 to 3.1 g of citric acid 100 g⁻¹. For M. I. Chitarra and A. B. Chitarra (2006) citric acid is an organic tricarboxylic acid, used as a respiratory substrate for carbon supply, and energy production in the different phases of vegetables life cycles, which can prevent enzymatic browning and potentiate other antioxidants like ascorbic acid, highly present in the camu-camu fruit.

Corroborating the titratable acidity data, mean values of pH 3.04 indicated that the camu-camu evaluated were acidic (Table 5), being the nuts the most acidic among the evaluated raw materials. The flour dried in a conventional oven presented more acidity than those processed in a solar dryer. The pH measurements of camu-camu flour, based on pulp and juice production residues, are within the range found by Azevêdo et al. (2014), in which dehydration of camu-camu waste was evaluated in different methods, with values varying between 3.30±0.10 and 3.80±0.10.

Table 5. Mean values of pH of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer

Camu-camu flours	Conventional dryer oven	Alternative solar dryer
Whole fruit	2.71±0.03 cA	2.74±0.06 cA
Pulp production residue	3.43±0.02 aA	3.26±0.06 aB
Juice production residue	3.10±0.03 bA	3.01±0.03 bB
C.V. (%)	1.20	
Overall mean	3.04	

Note. Averages of the same lowercase letters in the columns do not differ statistically when analysed by Tukey test at 5% probability. Similarly, the averages represented by the same uppercase letter in the rows also do not diverge when applying F test at 5%.

Colour determined by measurement of luminosity, chromaticity and *hue* angle, of the camu-camu flour was influenced by not only the raw materials or the drying methods, but an interaction of both factors; with colour and appearance being fundamental, if not the most important attributes of food quality (Toci & Zanoni, 2016). The luminosity, a light indicator, ranged from 23.12 ± 1.24 to 51.56 ± 1.29 , which represents low and medium values (Table 6). It has been observed that the residue-based flours of home-made juice are the clearest, with the whole-fruit at the opposite end of the spectrum.

Table 6. Mean values of luminosity of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer

Camu-camu flours	Conventional dryer oven	Alternative solar dryer
Whole fruit	23.12 ± 1.24 cB	35.98 ± 1.14 cA
Pulp production residue	37.14 ± 1.57 bB	40.59 ± 0.86 bA
Juice production residue	43.40 ± 1.61 aB	51.56 ± 1.29 aA
C.V. (%)	3.39	
Overall mean	38.63	

Note. Averages of the same lowercase letters in the columns do not differ statistically when analysed by Tukey test at 5% probability. Similarly, the averages represented by the same uppercase letter in the rows also do not diverge when applying F test at 5%.

The prototype solar dryer yielded better results at reducing enzymatic browning, when compared to the flour processed using the conventional oven, as evidenced by lower luminosity values. Another influencing factor was the drying temperature as evidenced by Azevêdo et al. (2014), where higher temperatures provided flour of darker colouring, and low luminosity values of 58.90 ± 1.10 . The intensity of the color tone of the flour was more significant when drying the raw materials in the solar dryer, indicating that the prototypes of camu-camu flour processed in the solar dryer have a more vibrant color (Table 7).

Table 7. Mean values of chromaticity of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer

Camu-camu flours	Conventional dryer oven	Alternative solar dryer
Whole fruit	14.46 ± 0.44 bB	22.74 ± 0.40 cA
Pulp production residue	22.85 ± 0.39 aB	26.50 ± 0.81 aA
Juice production residue	23.70 ± 0.62 aA	24.40 ± 0.18 bA
C.V. (%)	2.28	
Overall mean	22.44	

Note. Averages of the same lowercase letters in the columns do not differ statistically when analysed by Tukey test at 5% probability. Similarly, the averages represented by the same uppercase letter in the rows also do not diverge when applying F test at 5%.

Among the samples evaluated, those made with pulp residue presented more chromaticity with values between 22.85 ± 0.39 and 26.50 ± 0.81 . The chromaticity values recorded in the camu-camu flour prototypes are considered low, indicating low intensity of the tonality. However, they are close to the results of Azevêdo et al. (2014), with a variation of 26.00 ± 0.20 and 27.20 ± 0.20 . The prototypes of flour evaluated have an orange-red *hue*, not so evident, due to the low values of chromaticity, being the camu-camu flour processed in the solar dryer with the highest values of *hue* angle (Table 8).

Table 8. Mean values of *hue* angle of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer

Camu-camu flours	Conventional dryer oven	Alternative solar dryer
	----- °	----- °
Whole fruit	52.15 ± 0.66 cB	55.04 ± 0.23 bA
Pulp production residue	53.00 ± 0.50 bB	54.71 ± 0.40 cA
Juice production residue	56.45 ± 0.34 aA	57.02 ± 0.26 aA
C.V. (%)	0.78	
Overall mean	54.73	

Note. Averages of the same lowercase letters in the columns do not differ statistically when analysed by Tukey test at 5% probability. Similarly, the averages represented by the same uppercase letter in the rows also do not diverge when applying F test at 5%.

For Evangelista (2008), residues of pigmented vegetables can be used in food products and culinary preparations, acquiring sophisticated characteristics such a colour. In this experiment, it was observed that the camu-camu flours evaluated have the potential to be used as food colouring adding pigmentation to homemade recipes. According to Toci and Zanoni (2016) this type of food additive is classed as natural organic, if principles such as chlorophyll, carotenoids, anthocyanins, tannins and betalains are isolated using technological processes. Like this, in addition of having functionality when applied to food, it has a significant nutritional value.

When comparing camu-camu flours dried a conventional oven with circulation and hot air renewal at 60 ± 5 °C, with the prototypes processed in a solar dryer, the latter presented optimal values in all three aspects of the colorimetric analysis, that being luminosity, chromacity and *hue* angle. This experimental result is justifiable since natural heat sources, such as direct sunlight, result in processed food with higher qualities. Although, dehydrated foods can incur higher costs at production, the improvement of such qualities increase commercial value of the product (Evangelista, 2008).

Analysis of the concentration of ascorbic acid, yielded a significant effect (0.05) in the interactions between raw materials and types of drying (Table 9). The flours produced in the alternative dryer had more ascorbic acid content. The whole fruit being the raw material provided the highest values of ascorbic acid, followed by the pulp production residue and the juice production residue, in either type of drying. The camu-camu flour prototypes tested here present ascorbic acid values like those found in the literature.

Table 9. Mean values of ascorbic acid of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer

Camu-camu flours	Conventional dryer oven	Alternative solar dryer
	----- mg 100 g ⁻¹ -----	
Whole fruit	556.74±aB	650.33±aA
Pulp production residue	393.11±bB	436.67±bA
Juice production residue	188.33±cB	211.67±cA
C.V. (%)	3.12	
Overall mean	406.14	

Note. Means followed by the same lowercase letter in the column and upper case in the row do not differ statistically from each other at the 5% probability level by the Tukey test. C.V. = coefficient of variation.

In addition to ascorbic acid, an essential nutrient, the flour prototypes made of fruit and residues of camu-camu presented significant levels of macro and microelements. In general, microelement of dehydrated camu-camu flour in either a conventional or a low-cost solar convection dryer, presented the following content order $N > K > P > Ca > S > Mg$. The relation $K > Ca$ recorded here is further corroborated in several articles in the scientific literature with camu-camu results being like fruits and squash (Zapata & Dufuor, 1993; Justi et al., 2000; Yuyama et al., 2003; Aguiar & Souza, 2015; Freitas et al., 2016; Ribeiro et al., 2016; Sousa, 2016; Abanto-Rodriguez et al., 2018). The results suggest that there is a correlation between macroelements mentioned above.

The statistical difference of 5% in the nitrogen concentration among the evaluated flours prototypes was observed only in the raw materials (Figure 3). With the highest mean values of 0.86 ± 0.09 g 100 g⁻¹, from flour elaborated with homemade juice. The nitrogen values of camu-camu flours were higher than the results of Zapata and Dufuor (1993) analyzing pulps, with a concentration varying from 0.57 to 0.74g of 100 g⁻¹ sample.

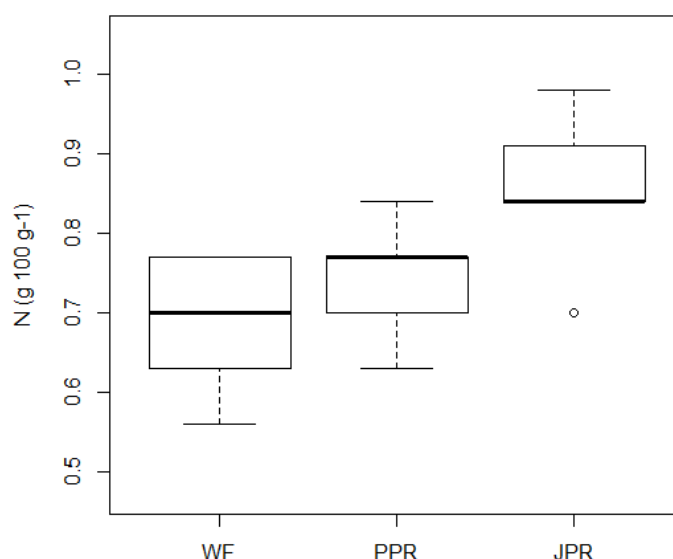


Figure 3. Mean concentrations of nitrogen of whole fruit flours (WF), pulp production residue (PPR) and juice production residue (JPR) camu-camu

According to Troeh and Thompson (2007), organic components essential to plants for example amino acids like enzymes and energy transfer materials such as chlorophyll, adenosine diphosphate and adenosine triphosphate, contain nitrogen in their composition. Higher values of nitrogen found in the manufactured with homemade juice are a result of lower water content, in relation to other raw materials. that, by processing the fruits in the blender using a "pulse" function, could have caused mechanical injuries in the seed coatings releasing, for example, chlorophyll a pigment that gives green color to the vegetables. Mahan and Raymond (2018) state that nitrogen is an essential element in the human body, corresponding to about 3% of body mass, being present in nucleic acids, amino acids and proteins.

The prototypes of camu-camu flour with higher values of phosphorus were based on the pulp production residue, with averages of 0.09 ± 0.01 and 0.10 ± 0.01 g 100 g⁻¹. Remarkably, the conventional oven yielded a higher concentration of phosphorus in flour than in a solar dryer, when whole fruits and pulp residue was used (Table 10).

Table 10. Mean values of phosphorus of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer

Camu-camu flours	Conventional dryer oven	Alternative solar dryer
	----- g 100 g ⁻¹ -----	
Whole fruit	0.09±0.01 bA	0.07±0.01 cB
Pulp production residue	0.10±0.01 aA	0.09±0.01 aB
Juice production residue	0.08±0.01 cA	0.08±0.01 bA
C.V. (%)	3.40	
Overall mean	0.09	

Note. Averages of the same lowercase letters in the columns do not differ statistically when analysed by Tukey test at 5% probability. Similarly, the averages represented by the same uppercase letter in the rows also does not diverge when applying F test at 5%.

The phosphorus values of the flours recorded here are higher than the frozen pulps evaluated by Zapata and Dufuor (1993), with an average of $0.03 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ of sample. Taiz et al. (2017) state that phosphorus plays a central role in reactions involving adenosine triphosphate, being a component of sugars-phosphate, nucleic acids, nucleotides, coenzymes, phospholipids, phytic acid and others. According to Whitney and Rolfes (2008), phosphorus is the second most abundant mineral in the human body, and not only found in bones and teeth, but in all cells of the body as part of a main buffer system composed of phosphoric acid and their salts.

Similarly, interactions between drying methods and raw materials also influenced potassium content of the flour prototypes. Flour based on whole fruits showed the highest concentration of potassium, mainly when processed in the conventional oven, with a mean of $0.84 \pm 0.08 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (Table 11).

Table 11. Mean values of potassium of flours of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer

Camu-camu flours	Conventional dryer oven	Alternative solar dryer
	----- $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ -----	
Whole fruit	$0.84 \pm 0.08 \text{ aA}$	$0.64 \pm 0.01 \text{ aB}$
Pulp production residue	$0.69 \pm 0.03 \text{ bA}$	$0.71 \pm 0.01 \text{ aA}$
Juice production residue	$0.53 \pm 0.03 \text{ cA}$	$0.53 \pm 0.03 \text{ bA}$
C.V. (%)	6.01	
Overall mean	0.66	

Note. Averages of the same lowercase letters in the columns do not differ statistically when analysed by Tukey test at 5% probability. Similarly, the averages represented by the same uppercase letter in the rows also do not diverge when applying F test at 5%.

It is worth noting that the whole fruit processed in a conventional oven presented higher values of potassium than those reported by Aguiar and Souza (2015), with $0.80 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ of camu-camu pulp dehydrated by lyophilization, which is considered the best method of food processing available today. Zapata and Dufuor (1993) reported that potassium was the most abundant mineral in their studies, with values of up to $0.07 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ in frozen pulp, which is considered nutritionally significant and may be related to high vitamin content C. The flours tested here were richer in potassium than the *in natura* pulps evaluated by Justi et al. (2000), with mean values of $0.08 \text{ g of K } 100 \text{ g}^{-1}$.

Troeh and Thompson (2007) point out that the plants absorb potassium in the form of K^+ ions, which help to maintain the osmotic concentration necessary to maintain cellular turgidity, being essential for the formation of sugars in leaves and for their transport to other plant organs such

as roots, tubers, stems, and fruits. According to Mahan and Raymond (2018), potassium is the main electrolyte within the cells of the body acting in close association with other elements in the maintenance of bodily fluids, as well as in the production of electrical impulses in the nerves, muscles and heart. As a result, cases of loss of potassium element in skeletal muscle tissue can result in fatigue.

Calcium was another element that showed significant influences (0.05) when interactions of drying methods and raw material was analysed. Being the main statistical difference observed in the process of solar drying the juice and pulp residues, with an average value of 0.06 ± 0.01 and 0.09 ± 0.01 g of Ca 100 g^{-1} , respectively (Table 12).

Table 12. Mean values of calcium of dried camu-camu raw materials in a conventional drying oven and in an alternative solar dryer

Camu-camu flours	Conventional dryer oven	Alternative solar dryer
	----- g 100 g^{-1} -----	
Whole fruit	0.08 ± 0.01 aA	0.07 ± 0.02 abA
Pulp production residue	0.07 ± 0.01 aA	0.09 ± 0.01 aA
Juice production residue	0.08 ± 0.01 aA	0.06 ± 0.01 bB
C.V. (%)	13.08	
Overall mean	0.07	

Note. Averages of the same lowercase letters in the columns do not differ statistically when analysed by Tukey test at 5% probability. Similarly, the averages represented by the same uppercase letter in the rows also do not diverge when applying F test at 5%.

The dry camu-camu prototypes evaluated a satisfactory average calcium concentration, with values higher than those found in the frozen pulps evaluated by Zapata and Dufuor (1993), the pulps *in natura* by Justi et al. (2000) and pulps lyophilized by Aguiar and Souza (2015), with recorded values between 0.01 and 0.02 g of calcium 100 g^{-1} . According to Taiz et al. (2017), calcium occurs in plants as a bivalent Ca^{2+} cation and is a constituent of the middle lamella of cell walls. Calcium is required as a cofactor by some enzymes involved in the hydrolysis of ATP and phospholipids acting as a secondary messenger in the metabolic regulation. According to Silva, Pires, and Cozzolino (2016), calcium is the most abundant mineral in the human body responsible for up to 2% of body weight and has structural and functional roles ranging from skeletal formation and maintenance to the regulation of spatial neuronal function.

In this experiment, no significant differences (0.05) were observed in the macroelement concentration of magnesium and sulfur, in relation to drying methods and raw material of the samples. Literature reported for *in natura*, frozen and lyophilized pulp by several authors such as Zapata and Dufuor (1993), Justi et al. (2000), Aguiar and Souza (2015), provided results similar to those observed in this study using the conventional oven drying method (Figure 4).

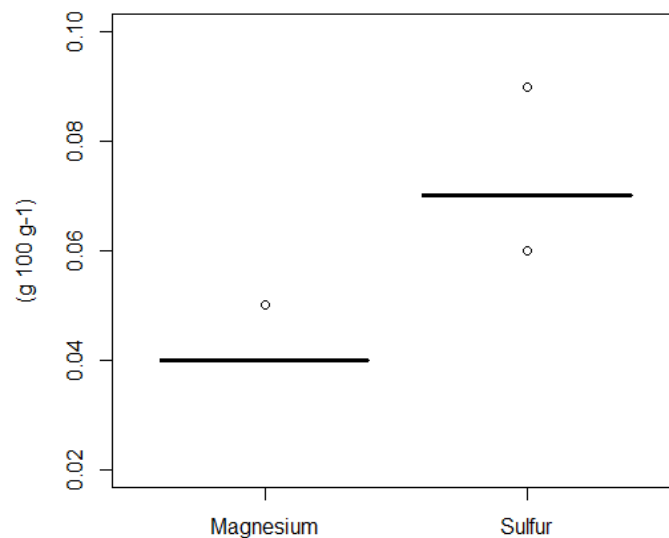


Figure 4. Mean magnesium and sulfur concentrations of whole fruit based flours, pulp production residue and camu-camu juice production residue

It is important to note that magnesium is present in plants in the form of Mg^{2+} ion, and is vital for photosynthesis, since every chlorophyll molecule contains Mg^{2+} at the core of its complex structure, as well as being a substrate to many enzymes (Troeh & Thompson, 2007). Magnesium is an essential mineral that assists in more than 300 enzymatic reactions, including glycolysis, lipid and protein metabolism, and the hydrolysis of adenosine triphosphate. In addition, it is a regulator of neuromuscular, immunological and hormonal function (Mahan & Raymond, 2018).

Plants absorb soil sulfur as sulfate ions (SO_4^{2-}) or sulfur dioxide (SO_2) from the air, aiding in the composition of certain amino acids, such as cystine, cysteine and methionine, and as a constituent of several coenzymes and vitamins, such as coenzyme A, biotin, vitamin B1 and pantothenic acid (Taiz et al., 2017). According to Whitney and Rolfes (2008), sulfur appears in vitamin B, thiamine and the amino acids methionine and cysteine, being mainly required for the composition proteins of the skin, hair and nails.

In this study, the micronutrient contents of camu-camu flour processed in a hot air oven with forced ventilation and low-cost convection dryer were as follows $Mn > Fe > B > Zn > Cu$. In the analysis of fruits of Zapata and Dufuor (1993) of the Nanay River, Iquitos-Peru, de Justi et al. (2000) from the Morretes Experimental Station of the Agronomic Institute of Paraná, Paraná-Brazil and Sousa (2016) with fruits collected manually in Roraima regions, the $Mn > Fe > Zn > Cu$ ratio was also observed in pulps, and seeds bio-processed from camu-camu, indicating the possibility of a strong correlation between these microelements.

The significant difference (0.05) in the copper concentration among the flour prototypes evaluated was observed only in the raw materials (Figure 5), mainly between whole fruit flours ranging between 0.65 ± 0.09 mg 100 g⁻¹ and 0.95 ± 0.09 mg 100 g⁻¹, the latter being higher than those found by Aguiar and Souza (2015) in lyophilized pulps, of an average of 0.84 mg of Cu 100 g⁻¹, and similar to the data presented by Sousa (2016) with bio-processed seeds (1.00 mg Cu 100 g⁻¹).

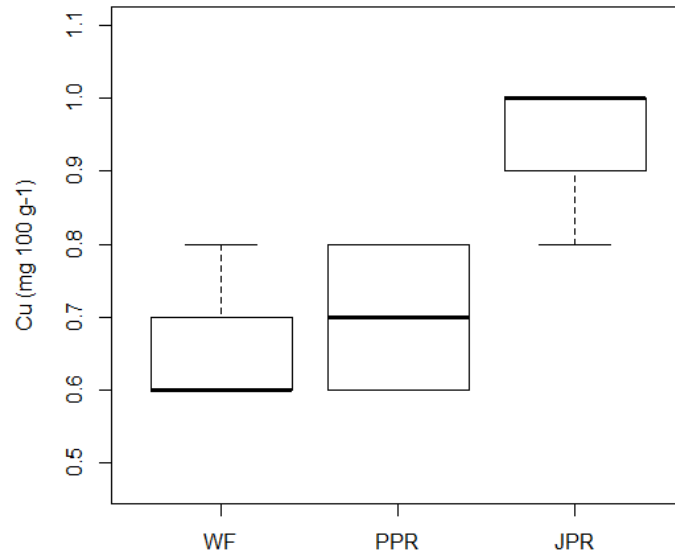


Figure 5. Mean concentrations of copper of whole fruit flour (WF), pulp production residue (PPR) and juice production residue (JPR) camu-camu

According to Dechen, Haag, and Carmello (1991), copper controls the production of DNA and RNA in plants, influencing the permeability of xylem vessels to water, and participating in physiological processes such as photosynthesis, respiration, carbohydrate distribution, nitrogen fixation, protein and cell wall metabolism. Copper and other heavy metals are essential for the proper formation of hemoglobin, and it is a cofactor in several enzymes that can potentially affect health, including antioxidant defense, oxygen transport and utilization, immune function, and synthesis of catecholamines and connective tissue (Mahan & Raymond, 2018).

Similar to that observed in nitrogen and copper concentrations, the significant difference (0.05) in the manganese concentration among the flour prototypes evaluated was found only in the raw materials, mainly among the flour made with pulp production residue (2.73 ± 0.30 mg 100 g⁻¹) and residue of homemade juice (3.28 ± 0.30 mg 100 g⁻¹). Flour samples elaborated with whole fruits presented the highest amplitudes in the concentration of manganese (Figure 6).

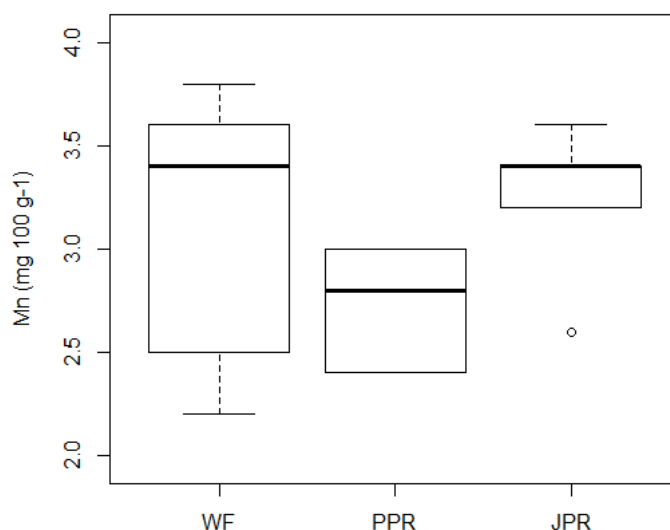


Figure 6. Mean concentrations of manganese of whole fruit flours (WF), pulp production residue (PPR) and juice production residue (JPR) camu-camu

The average manganese values of the flours tested are lower than Mn values of bioavailable sourced seeds used by Sousa (2016), with averages of 7.50 and 9.40 mg of Mn 100 g⁻¹. However, it was observed that whole-fruit flour and dried camu-camu residues, independently of the drying method used, presented manganese values higher than those found by Aguiar and Souza (2015) in lyophilized pulps, with an average of 1.29 mg Mn 100 g⁻¹.

Assuring foods with considerable microelement values such as manganese is a necessity, as it is a crucial component the composition of human bones and metabolically activates organs such as the liver, kidneys and pancreas (Whitney & Rolfes, 2008). In plants, manganese in its ionic form (Mn²⁺) is required for the activity of some dehydrogenases, decarboxylases, kinases, oxidases and peroxidases. Furthermore, it is involved with other enzymatic reactions activated by cations and in photosynthetic evolution of O₂ (Taiz et al., 2017).

Under the conditions established in this experiment, the drying methods and the raw materials evaluated did not influence the concentrations of iron, zinc and boron microelements, presenting no significant differences (0.05) in the evaluated samples, being boron and iron the elements with the greatest amplitudes. The evaluated flour prototypes had in the general an average content concentration of 2.57±1.31 mg of Fe 100 g⁻¹, 1.06±0.18 mg of Zn 100 g⁻¹ and 1.18±0.68 mg of B 100 g⁻¹ (Figure 7).

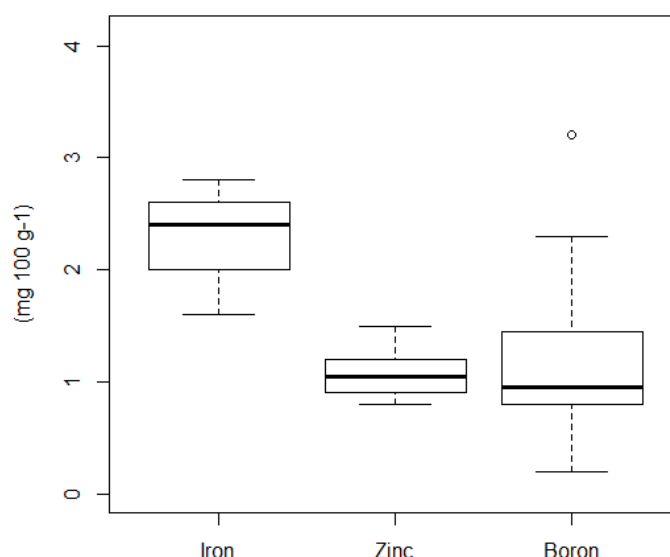


Figure 7. Mean iron, zinc and boron concentrations of whole fruit flours (WF), pulp production residue (PPR) and juice production residue (JPR) camu-camu

Noteworthy, flour prototypes evaluated had higher iron values than those found in the scientific literature of frozen and freeze-dried pulps, where mean values varied from 0.18 to 2.23 mg of Fe 100 g⁻¹ (Zapata & Dufuor, 1993; Aguiar et al., 2000). According to Dechen et al. (1991) iron is considered a key metal for energy transformations needed for synthesis and other vital processes of cells, including the development and reduction of chloroplasts, mitochondria and perixomes. Iron is an essential component of hemoglobin, hence critical for the transport of oxygen from the lungs to tissues. It plays a similar role in myoglobin, which acts on the muscle as an oxygen receptor to maintain an oxygen supply readily available for mitochondria (Mahan & Raymond, 2018).

In the present study, the average zinc concentration was higher than values found in the scientific literature for *in natura* pulps (Justi et al., 2000), average values of 0.36 mg of Zn 100 g⁻¹ and frozen (Zapata & Dufuor, 1993), with 0.13 mg Zn 100 g⁻¹. However, for lyophilized pulp and bioprocessed seeds zinc values are lower than those reported by Aguiar and Souza (2015) and Sousa (2016), with a average of 1.26 mg of Zn 100 g⁻¹ and 3.10 mg of Zn 100 g⁻¹, respectively.

Many enzymes require zinc ions (Zn²⁺) for their activities, and for some plants, zinc for chlorophyll biosynthesis (Taiz et al., 2017). Dehydrogenases, proteinases, peptidases and phosphohydrolases are among the many enzymes that require zinc (Dechen et al., 1991). According to the results of Mahan and Raymond (2018), in the human body zinc is the primary cofactor of more than 300 enzymes, many of which participate in inflammatory responses. Besides being necessary for wound healing, zinc aids in maintaining the taste and olfact, supporting normal growth and development during various life stages, including gestation, childhood and adolescence.

The values of boron in the types of flour tested present satisfactory results, in accordance with an average of 1.00 mg of B 100 g⁻¹ of bio-processed seeds reported by Sousa (2016); and, well above the low average of 0.05 mg of B 100 g⁻¹ in frozen pulps published by Zapata and Dufuor

(1993). According to Dechen et al. (1991) the main functions attributed to boron are the metabolism of carbohydrates and sugar transportation through membranes, synthesis of nucleic acids and phytohormones, formation of cell walls and cell division. According to Whitney and Rolfes (2008), boron is an element that strengthens bones and plays a key role in brain activities.

The experimental data indicates that dried fruits and residues of the camu-camu, processed under the conditions tested could lead to alternative products for farmers and familiar agroindustries, with solid agroindustrial and nutritional quality. Evangelista (2008) emphasizes that institutions responsible for processing residues, from varied and distant origins, could establish a larger variety of subproducts with greater technical and economical yield, especially when it comes to producers specializing in certain by-products, which often, cannot consume all the surplus raw material.

4. Conclusion

The evaluated fruits of camu-camu have desirable quality characteristics, similar to the results found in the technical-scientific literature. Under the conditions tested, there is statistical difference (0.05) in the agroindustrial and nutritional quality of camu-camu flours prototypes, depending on the raw material used and the drying method. Flours elaborated with whole fruits and camu-camu processing residues present satisfactory macro and microelement concentration, often surpassing some elements, including comparisons to results obtained in literature referent to frozen and *in natura* pulps, bio-processed seed powder and whole-fruit camu-camu.

A standardized farinaceous product was obtained from the drying processes tested, presenting desirable characteristics for the national and international market. Solar drying can be a technical-economical alternative for drying camu-camu fruits and residues generated in processing due to their low cost and high quality, mainly in areas with availability of sun throughout the year, such as camu-camu producing regions.

The flour processing methods based on whole fruits and residues from camu-camu is an adequate alternative for the industrialization of this fruit, especially in its naturally producing regions, being a viable use of its agroindustrial and nutritional qualities.

References

- Abanto-Rodriguez, C., Chagas, E. A., Siqueira, R. H. da S., Araújo, W. F., Zborowski, L. G. C., Souza, C. C. P., ... Sánchez-Choy, J. (2018). Element contents in camu-camu plants (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh) fertirrigateds with different doses of nitrogen. *Acta Agronomica*, 67(1), 79-87. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.64667>
- Adams, C., Murrieta, R. S. S., & Sanches, R. A. (2005). Agricultura e alimentação em populações ribeirinhas das várzeas do Amazonas: Novas perspectivas. *Ambiente & Sociedade*, 8(1), 65-86. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2005000100005>
- Aguiar, J. P. L., & Souza, F. C. A. (2015). Antioxidants, Chemical Composition and Minerals in Freeze-Dried Camu-Camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh) Pulp. *Food and Nutrition Sciences*, 6, 869-874. <https://doi.org/10.4236/fns.2015.610091>

- Alasalvar, C., & Shahidi, F. (2013). Composition, phytochemicals, and beneficial health effects of dried fruits: An overview. In C. Alasalvar, & F. Shahidi (Eds.), *Dried Fruits: Phytochemicals and Health Effects* (pp. 1-8). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781118464663.ch1>
- Almuhanna, E. A. (2012). Utilization of a Solar Greenhouse as a Solar Dryer for Drying Dates under the Climatic Conditions of the Eastern Province of Saudi Arabia. *Journal of Agricultural Science*, 4(3), 237-246. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n3p237>
- ANVISA. (2004). *Cartilha sobre Boas Práticas para Serviços de Alimentação* (Resolução No. 216/2004).
- Azevêdo, J. C. S. de, Fujita, A., Oliveira, E. L. de, Genovese, M. I., & Correia, R. T. P. (2014). Dried camu-camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. McVaugh) industrial residue: A bioactive-rich Amazonian powder with functional attributes. *Food Research International*, 62, 934-940. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.018>
- Basumatary, B., Roy, M., Basumatary, D., Narzary, S., Deuri, U., Nayak, P. K., & Kumar, N. (2013). Design, Construction and Calibration of Low Cost Solar Cabinet Dryer. *International Journal of Environmental Engineering and Management*, 4(4), 351-358.
- Brasil. (2010). *Lei n. 12.305, de 2 de Agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Brasília, DF: Casa Civil.
- Brasil. (2015). *Alimentos regionais brasileiros* (2nd ed.). Brasília, DF: Ministério da Saúde.
- Chagas, E., Vanin, F., & Carvalho, R. A. de. (2018). Technological functional properties of camu-camu residue flour. *Anais do Simpósio Latino Americano de Ciência dos Alimentos*, 12. Retrieved from <https://proceedings.science/slaca/slaca-2017/trabalhos/technological-functional-properties-of-camu-camu-residue-flour?lang=en>
- Chitarra, M. I., & Chitarra, A. B. (2006). *Pós-colheita de frutas e hortaliças: Glossário*. Lavras, MG: Editora UFLA.
- Chong, C. H., & Law, C. L. (2010). Drying of Exotic Fruits, Vegetables and Fruits. In S. V. Jangam, C. L. Law, & A. S. Mujumdar (Eds.), *Drying of Foods, Vegetables and Fruits* (Vol. 2, pp. 1-42). Singapore.
- Dechen, A. R., Haag, H. P., & Carmello, Q. A. de C. (1991). Funções dos microelementos nas plantas. In M. E. Ferreira, & M. C. P. de Cruz (Eds.), *Microelementos na agricultura*. Piracicaba: POTAFOS/CNPq.
- Ekechukwu, O. V. (1999). Review of solar-energy drying systems I: an overview of drying principles and theory. *Energy Conversion & Management*, 40, 593-613.
[https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(98\)00092-2](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(98)00092-2)
- Evangelista, J. (2008). *Tecnologia de Alimentos* (2nd ed.). São Paulo, SP: Editora Atheneu.
- Fox, J., & Bouchet-Valat, M. (2019). *Rcmdr: R Commander* (R Package Version 2.5-2).

- Freitas, C. A. B., Silva, A. S., Alves, C. N., Nascimento, W. M. O., Lopes, A. S., Lima, M. O., & Muller, R. C. S. (2016). Characterization of the Fruit Pulp of Camu-Camu (*Myrciaria dubia*) of Seven Different Genotypes and Their Rankings Using Statistical Methods PCA and HCA. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 27(10), 1838-1846. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20160067>
- Inoue, T., Komoda, H., Uchida, T., & Node, K. (2008). Tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*) has anti-oxidative and anti-inflammatory properties. *Journal of Cardiology*, 52, 127-132. <https://doi.org/10.1016/j.jjcc.2008.06.004>
- Instituto Adolfo Lutz. (2008). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos* (4th ed.) São Paulo, SP: Instituto Adolfo Lutz.
- Jairaj, K. S., Singh, S. P., & Srikant, K. (2009). A review of solar dryers developed for grape drying. *Solar Energy*, 83, 1698-1712. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.06.008>
- Junior, H. S. M., Cavalcante R. L., Galhardo M. A. B., & Macedo W. N. (2012). Aplicação de Energia Solar Fotovoltaica—Um Estudo de Caso na Região Amazônica. *Revista Geonorte*, 3(5), 1303 -1309.
- Justi, K. C., Visentainer, J. V., Souza, N. E. de, & Matsushita, M. (2000). Nutritional composition and vitamin C stability in stored camu-camu (*Myrciaria dubia*) pulp. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 50(4), 405-408.
- Kaneshima, T., Myoda, T., Toeda, K., Fujimori, T., & Nishizawa, M. (2017). Antimicrobial constituents of peel and seeds of camu-camu (*Myrciaria dubia*). *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 81(8), 1461-1465. <https://doi.org/10.1080/09168451.2017.1320517>
- Langley, P. C., Pergolizzi Jr., J. V., Taylor Jr., R., & Ridgway, C. (2015). Antioxidant and associated capacities of camu camu (*Myrciaria dubia*): a systematic review. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 21, 8-14. <https://doi.org/10.1089/acm.2014.0130>
- Mahan, L. K., & Raymond, J. L. (2018). *Krause Alimentos, Nutrição e Dietoterapia* (14th ed.). Elsevier Brasil.
- Montero, I. F., Chagas, E. A., Melo Filho, A. A. de, Saraiva, S. A. M. de, Santos, R. C., Chagas, P. C., & Duarte, E. D. R. da S. (2018). Evaluation of total phenolic compounds and antioxidant activity in Amazon fruit. *Chemical Engineering Transactions*, 64, 649-654. <https://doi.org/10.3303/CET1864109>
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.r-project.org>
- Ranganna, S. (1986). *Analysis and quality control for fruit and vegetable products* (p. 1112). Tata McGraw-Hill Publishing.

- Reis, D. S., Figueiredo Neto, A., Ferraz, A. de V., & Freitas, S. T. de. (2017). Produção e estabilidade de conservação de farinha de acerola desidratada em diferentes temperaturas. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20, e2015083. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.8315>
- Ribeiro, P. F. de A., Stringheta, P. C., Oliveira, E. B. de, Mendonça, A. C., & Sant'Ana, H. M. P. (2016). Teor de vitamina C, β -caroteno e minerais em camu-camu cultivado em diferentes ambientes. *Ciência Rural*, 46(3), 567-572. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150024>
- Sharma, A., Chen, C. R., & Lan, N. V. (2009). Solar-energy drying systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1185-1210. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.015>
- Silva, A. G. H., Pires, L. V., & Cozzolino, S. M. F. (2016). Cálcio. In S. M. F. Cozzolino (Ed.), *Biodisponibilidade de elementos* (5th ed, pp. 599-636). Barueri, SP: Manole.
- Sousa, R. de C. P. de. (2016). *Bioprospecção e desenvolvimento de produtos com potencial biotecnológico a partir das sementes de Myrciaria dubia (H.B.K.) McVaugh, Myrtaceae, da Amazônia Setentrional* (135f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia), Universidade Federal de Roraima, Boa Vista).
- Storck, C. R., Basso, C., Favarin, F. R., & Rodrigues, A. C. (2015). Qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias. *Brazilian Journal of Food Technology*, 18(4), 277-284. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.1615>
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. A., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal* (6th ed.). Porto Alegre, RS: Artmed.
- Toci, A. T., & Zanoni, M. V. B. (2016). Corantes alimentícios. In M. V. B. Zanoni, & H. Yamanaka (Eds.), *Corantes: Caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento* (pp. 37-54). São Paulo, SP: Cultura Acadêmica.
- Troeh, F. R., & Thompson, L. M. (2007). *Solos e fertilidade do solo* (6th ed.). São Paulo, SP: Andrei.
- Whitney, E., & Rolfes, S. R. (2008). *Nutrição: Entendendo os elementos* (10th ed.) Brasil: Cengage Learning.
- Yuyama, L. K. O., Aguiar, J. P. L., Yuyama, K., Lopes, T. M., Fávaro, D. I. T., Bergil, P. C. P., & Vasconcellos, M. B. A. (2003). Teores de elementos minerais em algumas populações de camu-camu. *Acta Amazonica*, 33(4), 549-554. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672003000400002>
- Zapata, S. M., & Dufour, J. P. (1993). Camu-camu *Myrciaria dubia* (HBK) McVaugh: Chemical composition of fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 61, 349-351. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740610310>

Copyrights

Copyright for this article is retained by the author(s), with first publication rights granted to the journal.

This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

5. CAPÍTULO II – GUIMARÃES, P. V. P.; CHAGAS, E. A.; DURIGAN, M. F. B.; GRIGIO, M. L.; ZANCHETTA, J. J.; MELO FILHO, A. A. de. Formulação e caracterização agroindustrial de farinha de mandioca d'água enriquecida com protótipos de farinha de camu-camu. Cuadernos de Educación y Desarrollo, v.16, n.1, p. 488-511, 2024

DOI: 10.55905/cuadv16n1-027
Recebimento dos originais: 08/12/2023
Aceitação para publicação: 08/01/2024

Formulação e caracterização agroindustrial de farinha de mandioca d'água enriquecida com protótipos de farinha de camu-camu

Formulation and agro-industrial characterization of cassava flour enriched with camu-camu flour prototypes

Pedro Vitor Pereira Guimarães

Doutorando em Biotecnologia pela Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal (BIONORTE) - Rede Norte
Instituição: Universidade Federal de Roraima (UFRR)
Endereço: Campus Paricarana, Av. Cap Enê Garcêz, 2413, Aeroporto, Boa Vista - RR, CEP: 69310-000
E-mail: pedrovpg@hotmail.com

Edvan Alves Chagas

Doutor em Produção Vegetal pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV - UNESP)
Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Endereço: Rodovia BR 174 Km 8 sn, Boa Vista - RR, CEP: 69301-970
E-mail: edvan.chagas@embrapa.br

Maria Fernanda Berlingieri Durigan

Doutora em Produção Vegetal pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV - UNESP)
Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Endereço: R. 15 de Novembro, 1452, Centro, São Carlos - SP, CEP: 13560-970
E-mail: maria.durigan@embrapa.br

Maria Luiza Grigio

Doutora em Biotecnologia pela Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal (BIONORTE) - Rede Norte
Instituição: Agência de Defesa Agropecuária (ADAF - AM)
Endereço: Avenida Sucupira, 492, Morada do Sol, Presidente Figueiredo – AM, CEP: 69735-000
E-mail: luizagrigio@hotmail.com

Jayne Julia Zanchetta

Graduada em Zootecnia

Instituição: Universidade Federal de Roraima (UFRR)

Endereço: Campus Paricarana, Av. Cap Enê Garcêz, 2413, Aeroporto, Boa Vista - RR, CEP: 69310-000

E-mail: jaynezanchetta13@gmail.com

Antonio Alves de Melo Filho

Doutor em Química pela Universidade Estadual de Campinas

Instituição: Universidade Federal de Roraima (UFRR)

Endereço: Campus Paricarana, Av. Cap Enê Garcêz, 2413, Aeroporto, Boa Vista - RR, CEP: 69310-000

E-mail: antonio.alves@ufr.br .

RESUMO

Dada a enorme gama de biodiversidade nativa presente na Amazônia, é possível enriquecer produtos amplamente consumidos na região com produtos e subprodutos nativos, a exemplo de superfrutas como o camu-camu [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh], que tem propriedades organolépticas, funcionais e agroindustriais desejáveis. Produtos à base do aproveitamento integral de vegetais nativos podem contribuir com a qualidade nutricional e a segurança alimentar regional, desde que atendam às normas reguladoras. Desta forma, objetivou-se formular farinhas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) enriquecidas com protótipos de farinha de frutos e resíduos de camu-camu, gerados na produção de polpa e suco, visando obtenção de alimento enriquecido e estável, que possa ser consumido de diferentes formas. Os camu-camu utilizados neste experimento foram coletados manualmente em março de 2018, em uma área natural às margens do Lago da Morena, no município de Cantá, Roraima, Brasil. Os frutos foram acondicionados em sacos plásticos e dispostos em caixas de isopor, cobertos com gelo e transportados para o laboratório de Pós-colheita e Agroindustrialização da Embrapa Roraima. Utilizou-se delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial duplo (3 matérias-primas x 5 concentrações em farinha de mandioca d'água), totalizando 15 tratamentos. Os dados foram validados estatisticamente por meio de análise de variância (0,05). Verificou-se efeito significativo nas interações da maioria das variáveis estudadas. Os protótipos de farinhas de camu-camu desidratados são ácidos, baixo conteúdo de água, com tonalidade amarela e laranja, textura farinácea e consideráveis teores de sólidos solúveis e ácidos cítrico e ascórbico. A farinha de mandioca d'água quando enriquecida com os protótipos de farinhas de camu-camu, apresenta incremento significativo (0,05) na cor, teor de sólidos totais e solúveis, além de ácidos antioxidantes, como o ascórbico e cítrico. Acredita-se que, os protótipos de farinhas de camu-camu aqui avaliados têm potencial para contribuir com o enriquecimento de outras farinhas e alimentos com boa aceitação local, regional e internacional.

Palavras-chave: reaproveitamento integral, sustentabilidade, fruta nativa, farinha fortificada, segurança alimentar, alimento funcional.

ABSTRACT

Given the enormous range of biodiversity present in the Amazon, it is possible to enrich products widely consumed in the region with native products and byproducts, considered super-fruits such as camu-camu [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh]. Such fruits have desirable organoleptic, functional and agro-industrial properties. Products based on the full use of native plants can contribute to nutritional quality and regional food security, if they meet regulatory standards. Thus, the objective was to formulate cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour enriched with fruit flour prototypes and camu-camu residues, generated in the production of pulp and juice, in order to obtain enriched and stable food that can be consumed in different ways. The camu-camu used in this experiment was collected manually in March 2018, in a natural area on the shores of Lake Morena, in the municipality of Cantá, Roraima, Brazil. The fruits were packed in plastic bags and arranged in Styrofoam boxes, covered with ice, and transported to the Post-harvest and Agroindustrialization laboratory at Embrapa Roraima. The experimental design used was completely randomized, in a double factorial scheme (3 raw materials x 5 concentrations in cassava flour and water), totaling 15 treatments. The data was statistically validated using analysis of variance (0,05). There was a significant effect on the interactions of most of the studied variables. The prototypes of dehydrated camu-camu flours are acidic, low in water, with a yellow and orange hue, floury texture and considerable contents of soluble solids and citric and ascorbic acids. Cassava flour, when enriched with camu-camu flour prototypes, shows a significant increase (0,05) in color, total and soluble solids content, as well as antioxidant acids, such as ascorbic and citric acids. It is believed that the prototypes of camu-camu flour evaluated here have the potential to contribute to the enrichment of other flours and foods with good local, regional and international acceptance.

Keywords: integral reuse, sustainability, native fruit, fortified flour, food security, functional food.

INTRODUÇÃO

A privação e falta de acesso aos alimentos é um problema socioeconômico e nutricional que atinge cerca de 828 milhões de pessoas em todo o mundo na atualidade (FAO, 2022). Em uma escala global alarmante, a fome no mundo tem sido apontada como principal entrave e desafio para o desenvolvimento sustentável das nações, colocada como um dos objetivos centrais a “fome zero e agricultura sustentável”, até 2030.

Dietas de baixa qualidade nutricional são o principal fator de risco para a carga global de doenças e estão intrinsecamente relacionadas com impactos antrópicos nas mudanças climáticas e perda de biodiversidade aceleradas nas últimas décadas (BURIGO; PORTO, 2021). Em suas nuances e subdivisões, a fome, compreendida como “uma sensação desconfortável ou dolorosa causada pelo consumo insuficiente de calorias” (FAO, 2022), abrange também a subalimentação, a má nutrição, e os diferentes graus de insegurança alimentar (BEZERRA et al., 2020).

Embora seja um consenso que a fome precisa ser combatida e erradicada, seus atuais índices no cenário mundial são cada vez mais graves e alarmantes. Em relatório sobre a situação da segurança alimentar e nutricional (FAO, 2022), a Organização das Nações Unidas (ONU), em parceria com importantes instituições mundiais, indica o aumento de 150 milhões de pessoas afetadas pela fome,

entre os anos de 2019 e 2021, situação complexificada e agravada em decorrência da pandemia mundial de COVID-19.

Esse contexto é ainda mais preocupante no cenário brasileiro, com o retorno do país ao mapa da fome da ONU (MACHADO; FRANÇA; RANGEL, 2021; OLIVEIRA, 2022). As regiões Norte e Nordeste são as mais afetadas, apresentando os maiores índices e fome e risco de fome no Brasil (SILVA et al., 2020). Esses elementos indicam a urgente necessidade de formulação e execução de políticas públicas sustentáveis para o efetivo combate à fome.

Nesse sentido, a comunidade científica investiga o uso de tecnologias que auxiliem diretamente na garantia da segurança alimentar, apontando o combate às vulnerabilidades econômicas, com o desenvolvimento da economia popular e a produção agroecológica integrada como alternativas ao desenvolvimento socioeconômico (NACHTIGALL, 2019).

Além de tais tecnologias sociais, dentre possíveis soluções e estratégias, também se destacam inovações biotecnológicas que atuam no enfrentamento à fome (GRASSI NETO, 2013; BARBA; SANTOS, 2020), incluindo o desenvolvimento de alimentos alternativos, através do processamento de resíduos que seriam convencionalmente descartados (SHIRAHIGUE; CECCATO-ANTONINI, 2020). Mais do que os diversificados componentes nutricionais, os produtos resultantes do processamento indicam benefícios à saúde, incluindo o aumento do valor nutricional ingerido e, consequentemente, a prevenção a doenças crônicas não transmissíveis para quem os consome (BRENNAN, 2006).

Na categoria do processamento mínimo dos alimentos, encontra-se a produção de pó alimentício, alimento farináceo ou a farinha. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) identifica as farinhas como “produtos obtidos de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas por moagem e/ou outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos”. Segundo o mesmo órgão, a umidade máxima que o produto deve ter para ser considerado farinha é de 15,0% ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) (BRASIL, 2005).

Os tipos de farinhas de mandioca podem ser divididos em grupos, conforme a classificação de Álvares, Miqueloni e Negreiros (2016). Os grupos são: grupo seca, grupo bijusada e grupo d'água. O grupo d'água, mais aceito pela população roraimense, é produto predominantemente fermentado, obtido das raízes de mandiocas sadias, maceradas, descascadas, trituradas ou moídas, prensadas, desmembradas, peneiradas e secas à temperatura adequada, podendo ser novamente peneiradas.

Dada a enorme gama de biodiversidade nativa presente na Amazônia, acredita-se que é possível enriquecer produtos amplamente consumidos na região com produtos e subprodutos nativos, a exemplo de superfrutas como o camu-camu que tem propriedades organolépticas, funcionais e agroindustriais desejáveis. Produtos à base do aproveitamento integral de vegetais nativos podem

contribuir com a qualidade nutricional e a segurança alimentar regional, desde que atendam às normas reguladoras.

Desta forma, objetivou-se formular farinhas de mandioca enriquecidas com protótipos de farinha de frutos e resíduos de camu-camu, gerados na produção de polpa e suco, visando obtenção de alimento enriquecido e estável, que possa ser consumido de diferentes formas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os camu-camu utilizados neste experimento foram coletados manualmente em março de 2018, em estágio maturo, de plantas adultas nativas, com aproximadamente 13 anos, em boas condições fisiológicas, em uma área natural às margens do Lago da Morena, no município de Cantá, Roraima (coordenadas geográficas de referência 02°27'45" N e 60°50'14" W, com 60 m de altitude).

O lote de frutos foi acondicionado em sacos plásticos e disposto em caixas de isopor, cobertos com gelo, e transportado para o laboratório de Pós-colheita e Agroindustrialização da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Roraima), em Boa Vista, Roraima (coordenadas geográficas de referência 2°45'23" N; 60°43'52" W), onde se procederam à recepção, triagem, higienização, sanitização, beneficiamento, processamento e caracterização dos frutos.

Os frutos foram recebidos e triados em sala climatizada (20 °C), onde foi possível realizar a seleção e retirada de frutos com injúrias mecânicas. Posteriormente, procedeu-se à higienização dos frutos com água potável e sanitização utilizando hipoclorito de sódio (NaClO) a 0,02%, por 10 minutos, seguindo as recomendações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2004). Em seguida, os frutos foram enxaguados com água potável e dispostos em bandeja forrada com papel toalha.

Em seguida, procedeu-se a despulpagem mecanizada dos frutos utilizando despulpadeira elétrica, marca Bonina, modelo compacta, com 1 cv de potência, tela de 1 mm, inserindo aproximadamente 2,5 kg de frutos frescos

(integralmente, sem diluições) no tubo coletor, e processando até o ponto de não triturar/raspar as sementes. Posteriormente, os resíduos gerados na despulpadeira foram coletados em bandejas de plástico.

Para simulação da produção do suco caseiro utilizou-se a recomendação da Embrapa Roraima, de 300 g de frutos para 1000 mL de água potável. No experimento utilizou-se água deionizada. Utilizou-se um liquidificador elétrico, marca Arno, modelo *optimix plus*, com 550 W de potência. No processamento, usou-se a função “pulsar” por cinco vezes, de modo que, a polpa extravasa-se e a casca fosse triturada grosseiramente, evitando-se triturar as sementes. O suco foi

filtrado em peneira de plástico de 0,5 mm. Posteriormente, coletaram-se os resíduos do processamento.

Visando obter a farinha de camu-camu, ambos os resíduos gerados na produção de polpa e suco foram desidratados em estufa elétrica convencional, com circulação e renovação de ar quente, graduada na faixa de 60 °C, até peso constante. Neste momento, também se desidrataram frutos inteiros, para servir de comparação, na mesma condição de ensaio. Posteriormente, as amostras foram processadas em liquidificador elétrico, objetivando-se uma textura farinácea uniforme.

Em pose dos protótipos de farinhas de camu-camu desidratados, iniciou-se a adição crescente (0; 5; 25; 50; 100) dos protótipos em farinha de mandioca d'água (tipo 1), visando enriquecê-las. Conforme a informação disponibilizada pelo fornecedor, a farinha de mandioca d'água tem granulometria média, baixa acidez e cor amarela, uma das mais populares de Roraima, estando presente em diversas receitas locais. Para fins de garantias sanitárias, todas as farinhas de mandiocas utilizadas neste experimento eram autorizadas e com selo de garantia de qualidade. As farinhas de mandioca d'água foram adquiridas no comércio local.

No laboratório de Pós-colheita e Agroindustrialização da Embrapa Roraima, foram avaliados quanto aos parâmetros de umidade, sólidos toais, luminosidade, cromaticidade, ângulo *hue*, sólidos solúveis, acidez titulável, pH e ácido ascórbico. A umidade foi determinada em estufa com circulação e renovação de ar quente, graduada na faixa de 105 °C (BRASIL, 2005). Os sólidos totais foram calculados por diferença entre a umidade encontrada. Os valores de umidade e sólidos totais foram expressos em porcentagem.

A coloração das amostras [luminosidade (L^*), cromaticidade (C^*) e ângulo *hue* (h°)] foi mensurada pela leitura direta utilizando colorímetro digital, com resultados expressos no sistema CIE $L^* a^* b^*$. Os valores de L^* (luminosidade), a^* (componente vermelho-verde) e b^* (componente amarelo-azul) foram obtidos diretamente do colorímetro e utilizados para cálculo do ângulo *hue* [$h^\circ = \arctan b^*/a^*$] e cromaticidade [$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$]

As determinações foram realizadas em sala climatizada (25 ± 1 °C), e os dados, quando necessário, corrigidos a 25 °C. Utilizaram-se as metodologias do Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008) para AT, SS e pH. Os sólidos solúveis das polpas foram determinados a partir do sumo filtrado das amostras maceradas, utilizando-se um refratômetro digital, previamente calibrado com água deionizada. Para determinar a acidez titulável, expressa em g de ácido cítrico, utilizou indicador fenolftaleína a 1% e solução de NaOH 0,1 N.

Para determinação de pH utilizou-se potenciômetro digital, com as mensurações realizadas em extrato homogêneo da diluição de 10 gramas de amostra em 100 mL de água deionizada (1:10 m/v). A homogeneização das amostras foi realizada com auxílio de liquidificador industrial, em

potência leve, por aproximadamente, 60 segundos por amostra. Para calibração do potenciômetro, utilizaram-se soluções tampões de pH 4,0 e 7,0. O conteúdo de ácido ascórbico foi determinado pelo método de Ranganna (1986), sendo os resultados expressos em mg de ácido ascórbico de 100 mL de amostra⁻¹.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial (3 x 5), com 15 tratamentos. Um fator estudado foi a matéria-prima, contendo três níveis (fruto inteiro, resíduo da produção de polpa e resíduo da produção de suco). O outro fator estudado foi a concentração adicionada dos protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água (0; 5; 25; 50 e 100%). Todas as análises foram realizadas com quatro repetições.

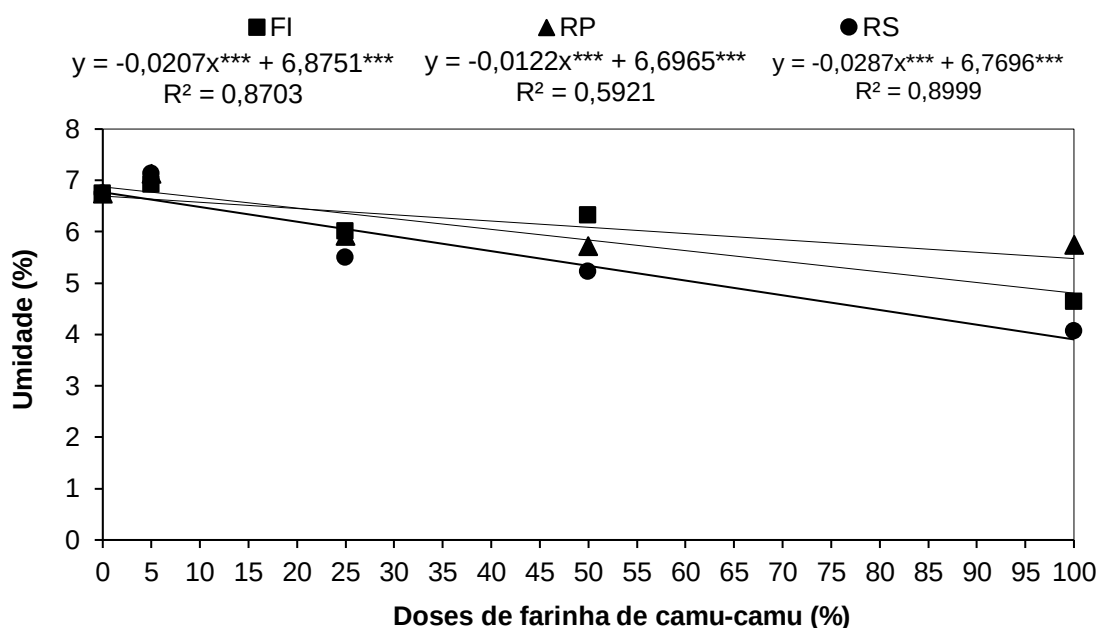
Os dados foram tabulados em planilha digital. Posteriormente, foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade, sendo validados estatisticamente por meio de análise de variância (0,05). Quando significativos (0,05), os dados qualitativos foram comparados pelo teste Tukey (0,05) e os dados quantitativos por meio de regressão (0,05) linear e polinomial. Foram montadas matrizes de correlações lineares (0,05) para as combinações, duas a duas, entre as variáveis estudadas, avaliando seus coeficientes de correlação. As análises e plotagem das figuras foram realizadas no ambiente R 4.2.2 (R CORE TEAM, 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Verificou-se efeito significativo na interação dupla (matéria-prima * concentração) em umidade ($p = 0,0009$), sólidos totais ($p = 0,0009$), sólidos solúveis ($p = 0,0001$), acidez titulável ($p = 0,0001$), pH ($p = 0,0001$), luminosidade ($p = 0,0001$), ângulo *hue* ($p = 0,0001$) e ácido ascórbico ($p = 0,0001$). A variável cromaticidade teve efeito significativo apenas na fonte de variação concentração ($p = 0,0001$).

Os valores de umidade dos protótipos avaliados variaram de 6,92% na concentração 0% a 4,07% quando se avaliaram as concentrações 100%, indicando uma redução significativa a medida em que se adicionava as farinhas de camu-camu à farinha de mandioca d'água. Verificou-se que, os protótipos de farinhas de camu-camu elaboradas com resíduos gerados na produção de suco apresentaram os menores valores de umidade, quando adicionados à farinha de mandioca d'água. Os valores médios de umidade das concentrações de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água estão apresentados na figura 1

Figura 1 - Valores médios de umidade das concentrações de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água



Fonte: autores, 2023.

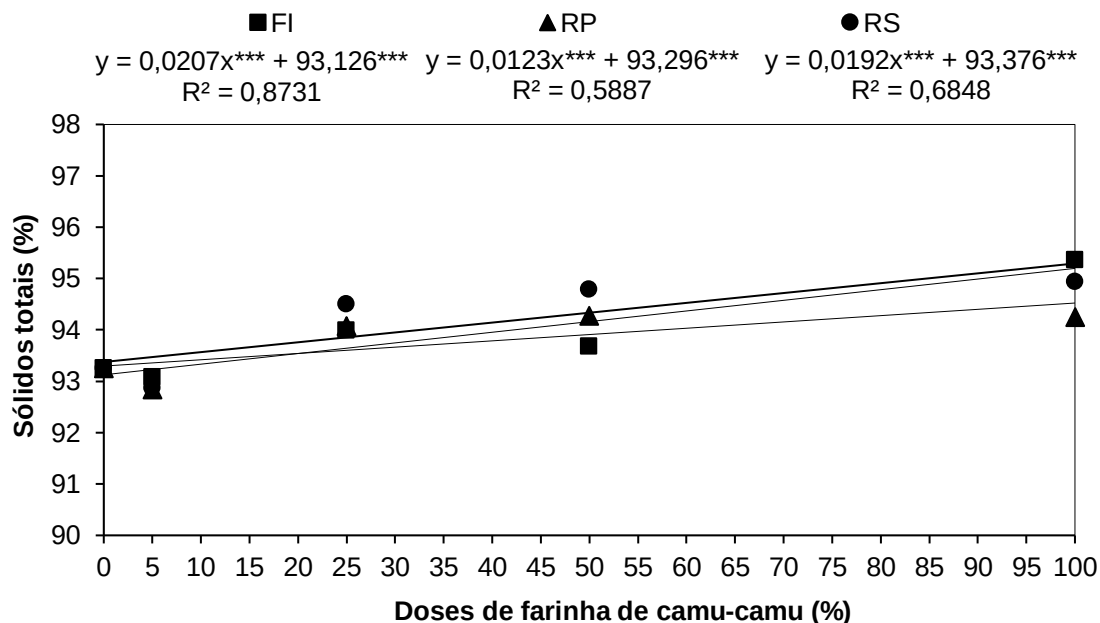
A umidade é um fator determinante na estabilidade e durabilidade da farinha, sendo sua quantificação é crucial para determinar as condições de armazenamento necessárias, evitando o crescimento de micro-organismos e a deterioração do produto. A umidade excessiva pode contribuir para o desenvolvimento de mofo, leveduras e bactérias, comprometendo a segurança alimentar (MAHAN; RAYMOND, 2018). Segundo Azevêdo et al. (2014), farinhas obtidas com resíduos de camu-camu apresentam umidade média de 5,90%, valor bem aproximado dos registrados nos protótipos avaliados nesta pesquisa.

Em relação aos valores de umidade das concentrações de farinha de mandioca com farinha de camu-camu, notou-se que são próximo aos encontrados na literatura técnico-científica para farinha de mandioca amarela, com valores variando de 3,10 a 12,74% (DIAS; LEONEL, 2006; SOUZA et al., 2008; ÁLVARES, MIQUELONI e NEGREIROS, 2016; NEVES et al., 2020).

Os sólidos totais representam a concentração de substâncias presentes na farinha, incluindo nutrientes e compostos não-nutricionais. A análise dos sólidos totais permite avaliar a densidade nutricional do produto, contribuindo para a compreensão de sua contribuição para a dieta. Além disso, essa análise auxilia na padronização do produto, assegurando consistência de qualidade.

Constatou-se que, os valores de sólidos totais dos protótipos avaliados variaram de 95,36% na concentração 0% de camu-camu (100% farinha mandioca d'água) a 92,86% nas concentrações de 100% de camu-camu, indicando um incremento significativo a medida em que se adicionava as farinhas de camu-camu à farinha de mandioca d'água (Figura 2).

Figura 2 Valores médios de sólidos totais das concentrações de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água



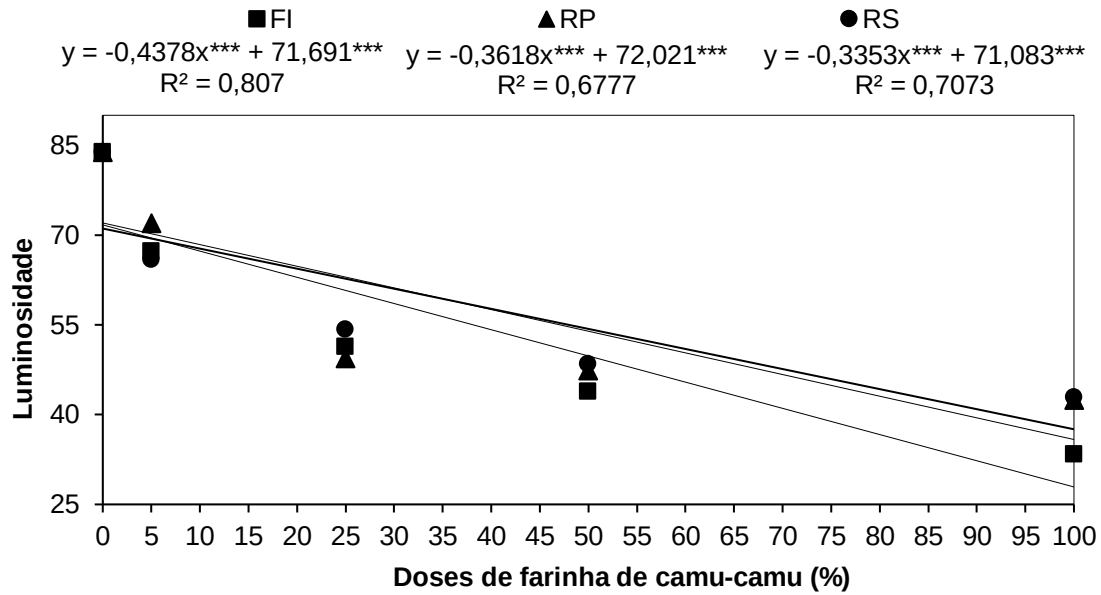
Fonte: autores, 2023.

Os valores de sólidos totais aqui registrados, assemelham-se aos resultados de Azevêdo et al. (2014), onde farinhas obtidas de resíduos de camu-camu apresentam teor de sólidos totais de 94,10%, que principalmente são, cálcio, magnésio, potássio, sódio, bicarbonatos, cloretos e sulfatos (IAL, 2008).

Outro parâmetro físico aferido foi a cor da farinha, por ser um atributo sensorial e funcional de grande relevância. Pigmentos naturais presentes nos resíduos agroindustriais podem conferir cores distintas às farinhas. A avaliação precisa da cor permite monitorar a uniformidade do produto e identificar variações indesejadas que podem afetar sua aceitação pelos consumidores.

Analisando a luminância, constatou-se que, houve um decréscimo nos valores de luminosidade, indicando que ao acrescentar as concentrações de farinha de camu-camu, obtém-se amostras mais escuras. Os valores de luminosidade variaram de 83,83% na farinha de mandioca d'água 42,82% nos protótipos de farinhas de camu-camu (Figura 3).

Figura 3 Valores médios de luminosidade das concentrações de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água

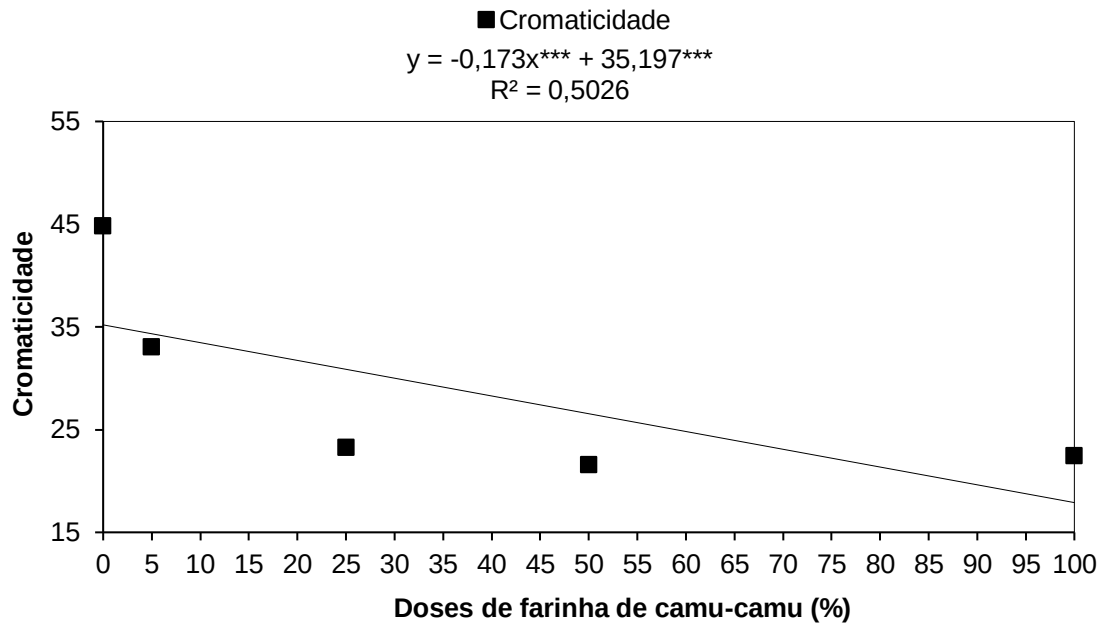


Fonte: autores, 2023.

Nota-se que, a farinha de camu-camu elaborada com frutos inteiros, proporciona as amostras mais escuras, com menos luminância, quando adicionadas na farinha de mandioca. Os valores de luminosidade aqui registrados para farinha de camu-camu são inferiores aos resultados de Azevêdo et al. (2014), com L^* variando de 58,90 a 65,30. A luminosidade das farinhas de mandioca deste experimento é semelhante aos valores mencionados por Neves et al. (2020), de 77,58 a 85,53 de L^* em farinhas de mandioca comercializadas em Belém, Pará, Brasil.

Já para a variável cromaticidade, constatou-se o efeito significativo na fonte de variação concentrações de farinha de camu-camu e nas matérias-primas, isoladamente. Houve uma diminuição expressiva nos valores de cromaticidade (44,76 a 22,40), indicando redução da intensidade de cor vibrante, ao acrescentar farinha de camu-camu na farinha de mandioca. Isto é normal, devido à coloração natural da farinha de camu-camu (Figura 4).

Figura 4 Valores médios de cromaticidade das concentrações de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água

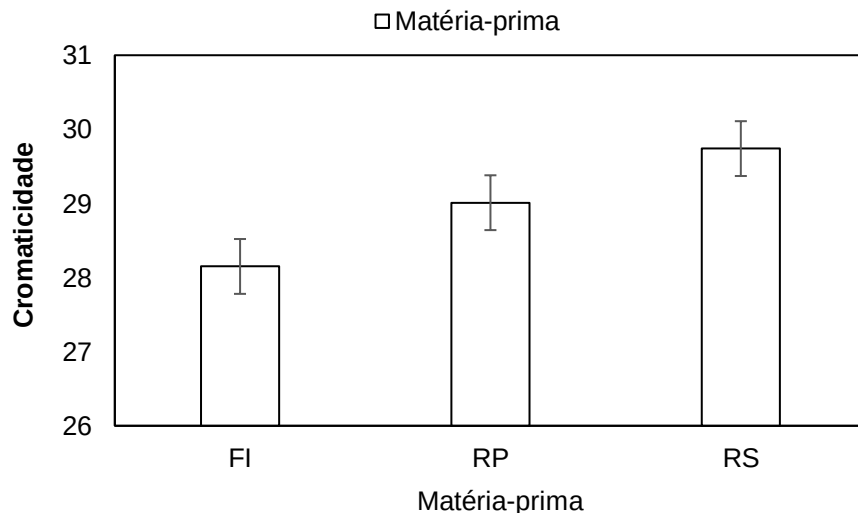


Fonte: autores, 2023.

Os valores de cromaticidade de farinha de mandioca aqui apresentados são maiores que, os apresentados por Fernandes et al. (2013), com média de 31,69 de C* em farinhas de mandioca cultivada em Ourém, Pará, Brasil, indicando que as farinhas testadas são tem coloração mais intensa.

Quando se comparou a cromaticidade entre a fonte de variação de matérias-primas de camu-camu, verificou-se que, a farinha obtida a partir do resíduo da produção de suco apresenta mais cor intensa (29,74), possivelmente, em função do tipo de processamento, ao conteúdo de água e concentração de pigmentos contidos nas cascas, sementes e polpa (Figura 5).

Figura 5 Valores médios de cromaticidade das concentrações de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água

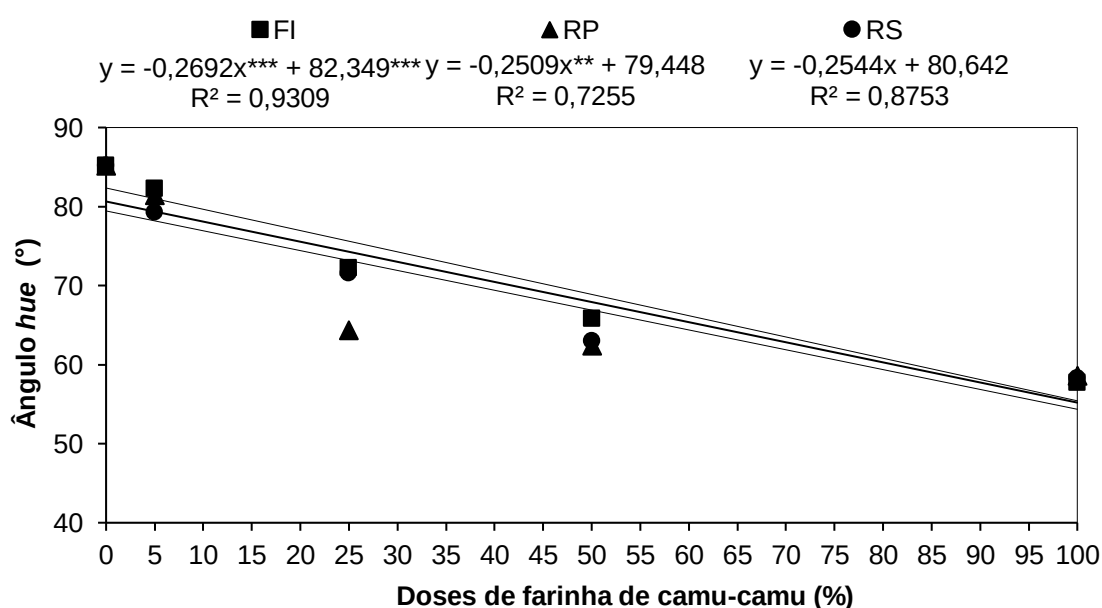


Fonte: autores, 2023.

Os valores de cromaticidade das farinhas de camu-camu, são bem próximos aos destacados por Azevêdo et al. (2015), variando de 26,00 a 27,20 em farinhas de camu-camu produzidas com resíduos agroindustriais do Amazonas, Brasil, corroborando a intensidade da cor das amostras. Vale evidenciar que, apesar de ser farinhas obtidas por secagem quente, apresentam valores de C^* semelhantes aos registrados por Fujita et al. (2013), em polpas de camu-camu processadas em liofilizador, tipo de desidratação em baixas temperaturas e a vácuo, com média de 26,04 de cromaticidade.

Quanto a tonalidade (ângulo *hue*), os protótipos de farinhas testados neste experimento têm cor que varia do alaranjado ao amarelo, com valores correspondentes de ângulo *hue* entre 55,00 e 85,00°. Os valores médios de ângulo *hue* das concentrações de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água estão apresentados na figura 6.

Figura 6 - Valores médios de ângulo *hue* das concentrações de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água



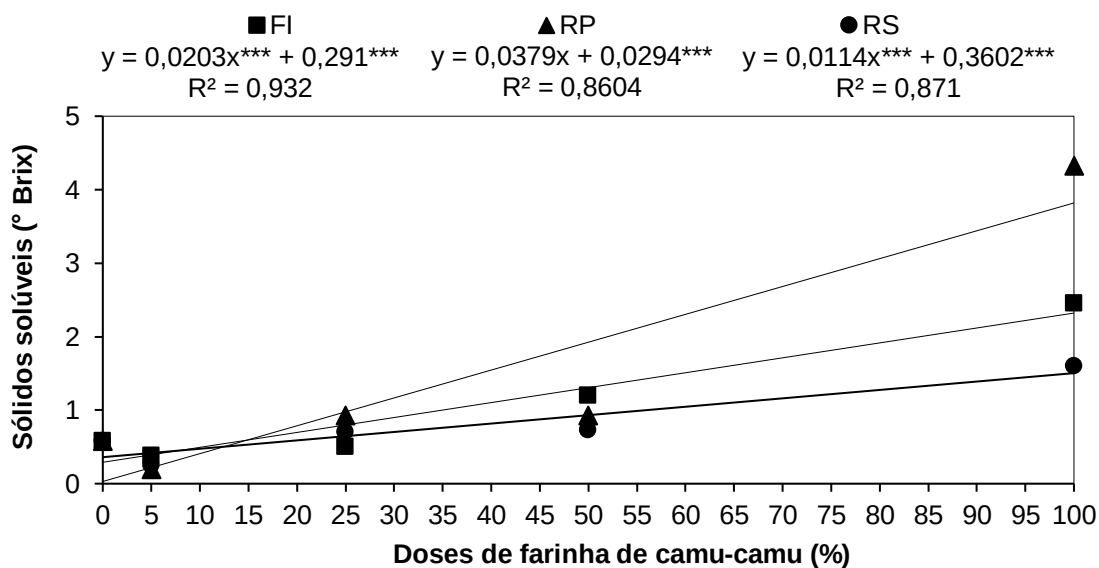
Fonte: autores, 2023.

Verificou-se que, o acréscimo de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca reduz significativamente os valores de ângulo *hue*, tornando os protótipos de farinhas enriquecidas com aspecto mais alaranjado, característico das farinhas de camu-camu processadas em temperaturas elevadas. As farinhas de mandioca amarela utilizadas neste experimento tinham cor semelhante a citada por Neves et al. (2020), bem como, ressalta-se que, os protótipos de farinhas de camu-camu testados apresentam tonalidade semelhante a registrada por Azevêdo et al. (2014).

Já na avaliação físico-química de sólidos solúveis, os quais desempenham papéis múltiplos, incluindo influência no sabor, na cor e na textura dos produtos alimentícios, também se verificou o

efeito positivo da adição na concentração de protótipos de farinha de camu-camu em farinha de mandioca. Após o ensaio, evidenciou-se que, a adição das farinhas de camu-camu na farinha de mandioca contribuiu positivamente na elevação dos teores de sólidos solúveis de todas as amostras testadas, agregando mais valor aos produtos e tornando as farinhas mais “atraentes ao paladar” (Figura 7).

Figura 7 - Valores médios de sólidos solúveis das concentrações de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água



Fonte: autores, 2023.

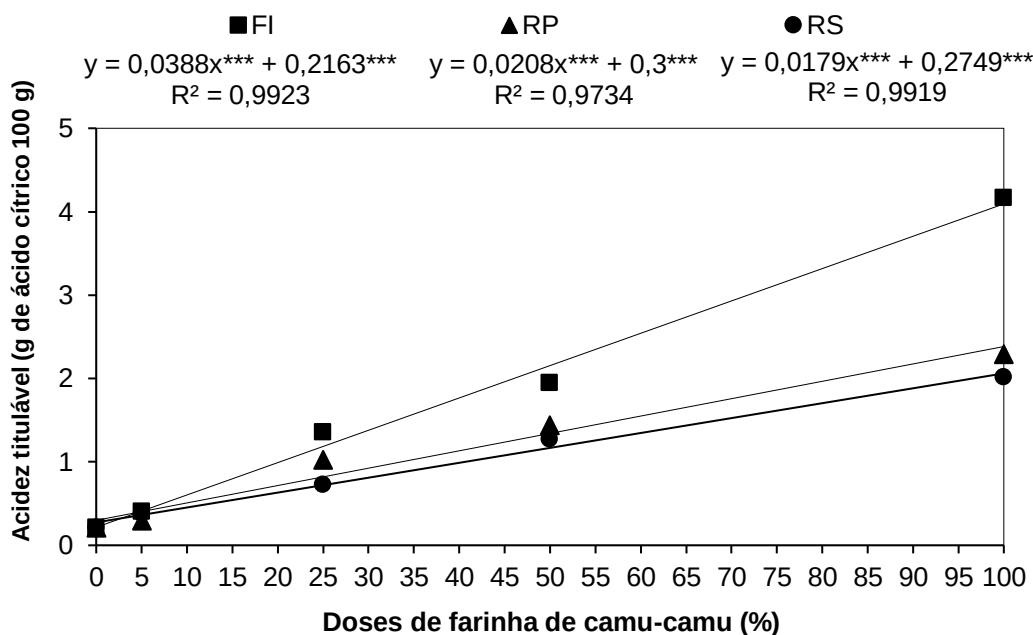
A determinação destes teores é crucial para garantir que esses compostos estejam em níveis aceitáveis, evitando alterações indesejadas e contribuindo para o perfil sensorial desejado do produto. As amostras de farinhas de mandioca d'água apresentam baixos teores de sólidos solúveis (0,58 °Brix), enquanto, os protótipos de farinhas de camu-camu apontam valores de até 4,33 °Brix, indicando que, a medida em que se adiciona as farinhas de camu-camu na farinha de mandioca d'água, aumenta-se a teor de açúcares nas amostras.

Não houve diferença significativa de sólidos solúveis entre as matérias-primas nas dosagens 0, 5, 25 e 50%, só sendo estatisticamente diferente na sua forma pura (100%), onde destacaram-se as farinhas obtidas a partir do resíduo da produção de polpa (RP), indicando que o processo de despolpamento direto, sem diluição, evita o desperdício de açúcares da amostra, gerando um resíduo agroindustrial ricos em sólidos solúveis.

Constatou-se efeito significativo em acidez titulável na adição de farinha de camu-camu na farinha de mandioca. As concentrações de ácido cítrico dos protótipos de farinhas de mandioca enriquecida com camu-camu variaram de 0,21 a 4,16 (meq NaOH 0,1 N 100 g⁻¹). Ao adicionar farinha de camu-camu na farinha de mandioca, observou-se um incremento significativo nos valores de ácido

cítrico nas amostras. Os protótipos de farinhas elaboradas com frutos inteiros, mostraram-se mais ácidas testadas. Os valores médios de acidez titulável das concentrações de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água estão apresentados na figura 8.

Figura 8 - Valores médios de acidez titulável das concentrações de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água

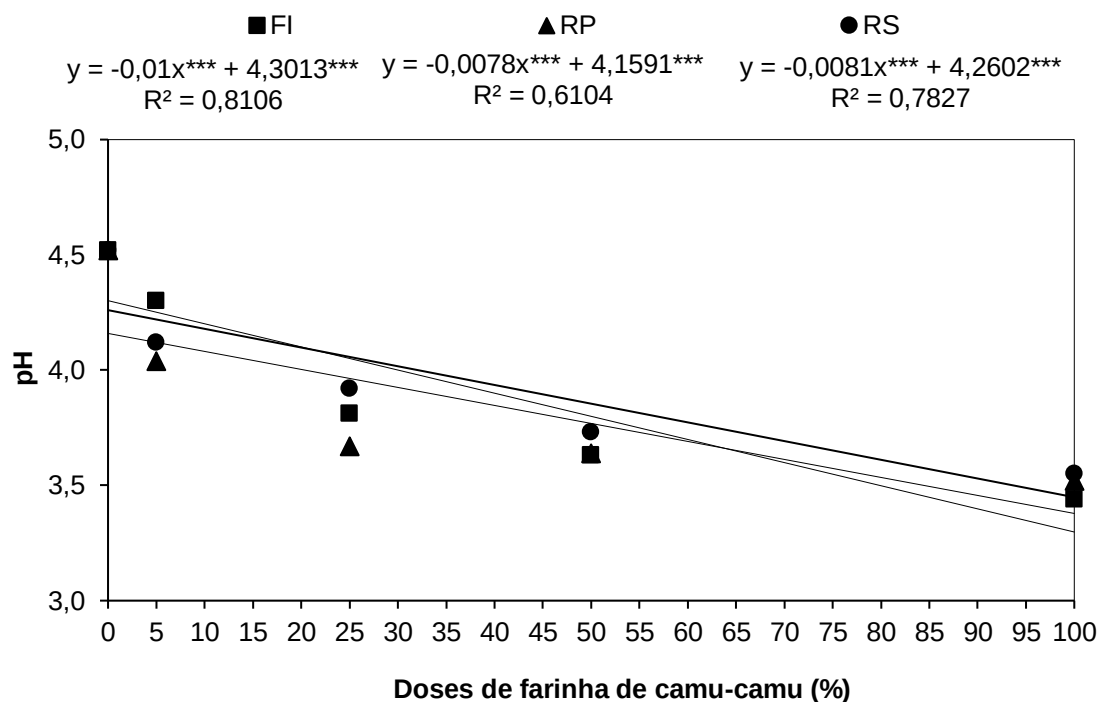


Fonte: autores, 2023.

A acidez determinada pela acidez titulável, por sua vez, pode impactar nas propriedades organolépticas do produto, alterando sabor e textura, bem como influenciando na vida útil do produto, sendo necessário considerar seu valor em relação à estabilidade do alimento. Os valores de acidez titulável aqui apresentados estão dentro da faixa encontrada na literatura técnico-científica, onde são encontrados valores entre 1,01 e 7,40 (meq NaOH 0,1 N 100 g⁻¹) em farinhas de mandioca produzidas e comercializadas no Brasil (DIAS; LEONEL, 2006; SOUZA et al., 2008; ÁLVARES, MIQUELONI e NEGREIROS, 2016; NEVES et al., 2020).

Ao avaliar o pH (atividade de íons de hidrogênio) dos protótipos de farinhas de mandioca enriquecida com camu-camu, verificou-se que as amostras são levemente ácidas, com valores de pH variando de 3,4 a 4,5, indicando acidez moderada. Os valores médios de pH das concentrações de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água estão apresentados na figura 9.

Figura 9 - Valores médios de pH das concentrações de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água



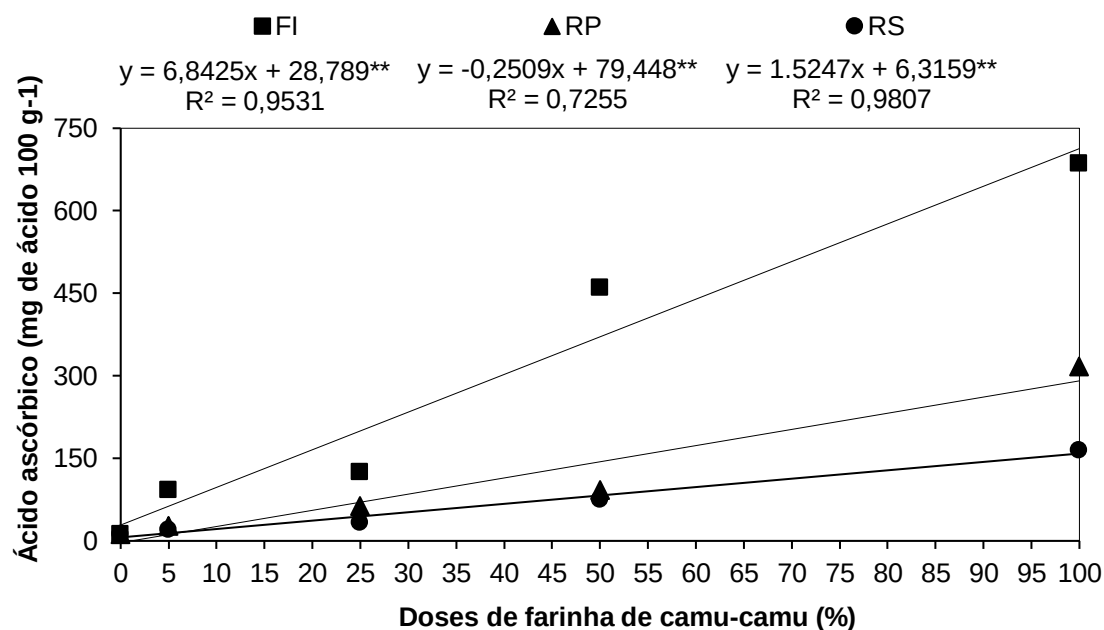
Fonte: autores, 2023.

Quando adicionamos farinha de resíduos agroindustriais à farinha de mandioca amarela, constatou-se que a composição química dos resíduos influenciou diretamente no pH da mistura final (protótipo). Esses resíduos frequentemente contêm compostos ácidos ou alcalinos que podem modificar o ambiente químico do produto resultante.

No caso destes resíduos agroindustriais ricos em ácidos orgânicos, como ácido cítrico, a adição desses resíduos à farinha de mandioca tradicional pode reduzir o pH da mistura devido à presença desses ácidos (AZEVEDO et al., 2014). Verificou-se que, a interação entre os componentes presentes na farinha de mandioca e nas farinhas de resíduos agroindustriais influencia diretamente no equilíbrio do pH dos protótipos.

Analisando o teor de ácido ascórbico das amostras, constatou-se que, houve um acréscimo na concentração de ácido ascórbico, indicando que, ao acrescentar as concentrações de farinha de camu-camu na farinha de mandioca d'água, obtém-se amostras enriquecidas. Os valores médios de ácido ascórbico da farinha de mandioca d'água utilizada é de 12,25 mg 100 g amostra⁻¹, muito inferior à média geral de 389,30 mg de ácido ascórbico 100 g amostra⁻¹, encontradas nos protótipos de farinhas de camu-camu (Figura 10).

Figura 10 - Valores médios de ácido ascórbico das concentrações de protótipos de farinhas de camu-camu em farinha de mandioca d'água



Fonte: autores, 2023.

Os protótipos enriquecidos com farinhas de camu-camu elaborada a partir de resíduos beneficiados e frutos inteiros, continham valores de ácido ascórbico muito superior aos registrados na literatura científica, a exemplo dos estudos de Azevêdo et al. (2014) e Sousa (2016), onde encontraram-se valores entre 5,10 e 16,42 mg de ácido ascórbico 100 g amostra⁻¹.

Nota-se que, a farinha de camu-camu beneficiado elaborada com frutos inteiros, proporciona as amostras com mais ácido ascórbico, seguidas das amostras elaboradas com resíduos da produção de polpa. Os formulados elaborados com o protótipo de resíduo gerado na produção de suco apresentaram os menores valores de ácido ascórbico em todas as concentrações adicionadas à farinha de mandioca d'água, possivelmente, por ser um material mais processado, lixiviado, consequentemente, com menos compostos bioativos e com maior degradabilidade.

Em síntese, pode-se afirmar que, a qualidade de farinhas de resíduos agroindustriais é uma demanda de relevância crescente em diversas indústrias (SHIRAHIGUE; CECCATO-ANTONINI, 2020), a exemplo as do ramo de alimentos, cosmético e biotecnologia. Demanda esta que, vêm sendo motivadora para condução de investigações e trabalhos regionais que, buscam evidenciar o potencial de aproveitamento integral através do beneficiamento dos resíduos de processamento de espécies nativas, a exemplo de produtos de camu-camu (SOUSA et al., 2015; SOUSA, 2016; GRIGIO et al., 2021).

A partir desta pesquisa, evidencia-se que, a avaliação técnica e científica de parâmetros de qualidade agroindustrial, como, umidade, pH, acidez, sólidos totais, sólidos solúveis e cor (luminosidade, cromaticidade e ângulo *hue*) é crucial para garantir a segurança alimentar, a estabilidade e a aceitabilidade dos produtos derivados. A aplicação de métodos analíticos confiáveis, padronizados,

seguros e de baixo custo é essencial para respaldar a utilização sustentável desses resíduos na produção de alimentos de qualidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os protótipos de farinhas de camu-camu desidratados são ácidos, baixo conteúdo de água, com tonalidade amarela e laranja, textura farinácea e consideráveis teores de sólidos solúveis e ácidos cítrico e ascórbico.

A farinha de mandioca d'água quando enriquecida com os protótipos de farinhas de camu-camu, apresenta incremento significativo (0,05) na cor, teor de sólidos totais e solúveis, além de ácidos antioxidantes, como o ascórbico e cítrico.

Existe correlação entre os parâmetros e a adição de protótipos de farinha de camu-camu. Ao enriquecer a farinha de mandioca d'água com protótipos de farinhas de camu-camu, há uma tendência positiva de incremento de propriedades organolépticas e funcionais desejáveis para a agroindústria.

Acredita-se que, os protótipos de farinhas de camu-camu aqui avaliados têm potencial para contribuir com o enriquecimento de outras farinhas e alimentos com boa aceitação local, regional e internacional.

Testes futuros podem ser realizados para aprimorar a elaboração, bem como, a verificação da aceitabilidade de produtos regionais a base dos protótipos de farinhas de camu-camu e farinha de mandioca d'água testados neste ensaio.

REFERÊNCIAS

- ÁLVARES, V. de S.; MIQUELONI, D. P.; NEGREIROS, J. R. da S. Variabilidade físico-química da farinha de mandioca do Território da Cidadania do Vale do Juruá, Acre. **Revista Ceres**, v. 63, n. 2, p. 113-121, 2016.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Cartilha sobre Boas Práticas para Serviços de Alimentação**. Resolução n. 216, 2004.
- AZEVEDO, J. C. S. de; FUJITA, A.; OLIVEIRA, E. L. de; GENOVESE, M. I.; CORREIA, R. T. P. (2014). Dried camu-camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. McVaugh) industrial residue: A bioactive-rich Amazonian powder with functional attributes. **Food Research International**, v. 62, p. 934-940, 2014.
- BARBA, R. Y. B.; SANTOS, Nivaldo dos. A Bioeconomia no século XXI: Reflexões sobre Biotecnologia e Sustentabilidade no Brasil. **Revista de Direito e Sustentabilidade**, v. 6, n. 2, p. 26-42, 2020.
- BEZERRA, M. S.; JACOB, M. C. M.; FERREIRA, M. A. F.; VALE, D.; MIRABAL, I. R. B.; LYRA, C. de O. Insegurança alimentar e nutricional no Brasil e sua correlação com indicadores de vulnerabilidade. **Ciênc. saúde coletiva**, v. 25, n. 10, p. 3833-3846, 2020.
- BRASIL. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005 (Série A. Normas e Manuais Técnicos). IV edição. BRENNAN, J. G. **Food processing handbook**. Weinheim: Wiley-VCH, 602 p., 2006.
- BURIGO, A. C.; PORTO, M. F. Agenda 2030, saúde e sistemas alimentares em tempos de sindemia: da vulnerabilização à transformação necessária. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 26, n. 10, p. 4411-4424, 2021.
- DIAS, L. T.; LEONEL, M. Caracterização físico-química de farinhas de mandioca de diferentes localidades do Brasil. **Ciênc. agrotec.**, v. 30, n. 4, p. 692-700, 2006.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2022**. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. Rome, FAO, 2022
- FERNANDES, H. R.; OLIVEIRA, D. C. R.; SOUZA, G.S.; LOPES, A. S.
- Parâmetros de qualidade física e físico-química da farinha de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) durante processamento. **Scientia Plena**, v. 9, n. 11, p. 1-9, 2013.
- FUJITA, A.; BORGES, K.; CORREIA, R.; FRANCO, B. D. G. de M.; GENOVESE, M. I. Impact of spouted bed drying on bioactive compounds, antimicrobial and antioxidant activities of commercial frozen pulp of camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh). **Food Research International**, v. 54, Issue 1, p. 495-500, 2013.
- GRASSI NETO, R. Segurança alimentar, biotecnologia e política agrária. **Revista Luso-Brasileira de Direito do Consumo**, v. 3, n. 1, 2013.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

MACHADO, A. L.; FRANÇA, A. B.; RANGEL, T. L. V. Carestia, mapa da fome e o agravamento da insegurança alimentar e nutricional em tempos de pandemia: o retrocesso brasileiro na política de combate à fome. **Boletim de Conjuntura**, v. 8, n. 24, p. 87–101, 2021.

MAHAN, L. K.; RAYMOND, J. L. **Krause Alimentos, Nutrição e Dietoterapia** (14th ed.). Elsevier Brasil, 2018.

NACHTIGALL, Y. D. L.; VIOLA, M. da S.; GONÇALVES, G. E.; OLIVEIRA, S. V. de Estratégias em promoção aos objetivos de desenvolvimento sustentável: Experiências com a reprodução de tecnologias sociais no Brasil. **Economia e desenvolvimento**, v. 32, n. 8, p. 01-10, 2020.

NEVES, E. C. A.; NASCIMENTO, G. C.; FERREIRA, A. R.; NEVES, D. A.; FUKUSHIMA, A. R.; LEONI, L. A. B.; CLERICI, M. T. P. S. Classificações e características nutricionais e tecnológicas de farinhas de mandioca comercializadas em Belém, Pará, Brasil. **Braz. J. Food Technol.**, v. 23, p. 1-11, 2020.

OLIVEIRA, C. A. do C. volta da fome no Brasil. **Revista do Núcleo de Estudos de Economia Catarinense**, v. 11, n. 21, 2022.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**.

Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Available in: <https://www.r-project.org/>.

RANGANNA, S. **Analysis and quality control for fruit and vegetable products**. Tata McGraw-Hill Publishing, p. 1112, 1986.

SHIRAHIGUEL, L. D.; CECCATO-ANTONINI, S. R. Agro-industrial wastes as sources of bioactive compounds for food and fermentation industries. **Ciência Rural**, v.50:4, p. 1-17, 2020.

SILVA, M. L. A., ROLIM, T. M.; RAPOSO, I. O.; SOUZA, A. B. M. de; SILVA, L. E. S. C. da; FRANCO, F. da S.; ASSUNÇÃO, J. E. de S. Vulnerabilidade social, fome e pobreza nas Regiões Norte e Nordeste do Brasil. **Políticas públicas, educação e diversidade: uma compreensão científica do real**, v. 1, n. 1, p. 1083-1105, 2020.

SOUZA, R. de C. P. de; CHAGAS, E. A.; GUIMARÃES, P. V. P.; NASCIMENTO FILHO, W. B.; MELO FILHO, A. A. Sais Minerais em Extrato Aquoso de Coprodutos da *Myrciaria dubia* (Kunth.) McVaugh, Myrtaceae. **Rev. Virtual Quim.**, v. 7, n. 4, p. 1299-1305, 2015.

SOUZA, R. de C. P. de. Bioprospecção e desenvolvimento de produtos com potencial biotecnológico a partir das sementes de *Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh da Amazônia setentrional. 2016. 135 f. **Tese** (Doutorado em

Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal) - Programa de PósGraduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2016.

SOUZA, J. M. L. de; NEGREIROS, J. R. da S.; ÁLVARES, V. de S.; LEITE, F. M. N.; SOUZA, M. L. de; REIS, F. S.; FELISBERTO, F. Á. V. Variabilidade físico-química da farinha de mandioca. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 28, n. 4, p. 907912, 2008.

6. CAPÍTULO III (em processo de submissão) - EFFECT OF FREEZER STORAGE ON AGROINDUSTRIAL QUALITY OF CAMU-CAMU FLOUR PROTOTYPES OBTAINED BY DIFFERENT DRYING METHODS

EFFECT OF FREEZER STORAGE ON AGROINDUSTRIAL QUALITY OF CAMU-CAMU FLOUR PROTOTYPES OBTAINED BY DIFFERENT DRYING METHODS

Pedro Vitor Pereira Guimarães¹, Edvan Alves Chagas^{1,2}, Maria Fernanda Berlingieri Durigan², Maria Luiza Grigio³, Antonio Alves De Melo Filho^{1,4}, Valdinar Ferreira De Melo^{1,4}, Elias Ariel De Moura⁴, Victor Cabral⁴

1 – Legal Amazon Biodiversity and Biotechnology Network, Federal University of Roraima, Boa Vista-RR, Brazil

2 – Brazilian Agricultural Research Company, Boa Vista-RR, Brazil

3 – Amazonas Agricultural and Forestry Defense Agency, Amazonas-AM, Brazil

4 – Federal University of Roraima, Boa Vista-RR, Brazil

Corresponding author:

Pedro Vitor Pereira Guimarães, PhD Candidate, Post-Graduate in Biodiversity and Biotechnology Program – Network Bionorte, Federal University of Roraima, Boa Vista-RR, Brazil, CEP 69310-000

E-mail: pedrovpg@hotmail.com

EFFECT OF FREEZER STORAGE ON AGROINDUSTRIAL QUALITY OF CAMU-CAMU FLOUR PROTOTYPES OBTAINED BY DIFFERENT DRYING METHODS

ABSTRACT

In camu-camu producing regions, significant fruit wastage is observed due to a lack of information regarding the crop's economic, social, agro-industrial, and biotechnological potential. Moreover, the residues resulting from pulp extraction or juice production are frequently disposed of improperly in the environment. This leads to the squandering of a substantial quantity of inputs with high nutritional and functional potential, which could otherwise be harnessed for developing of new products or utilized as raw material or supplements. This research endeavors to address this issue by exploring various drying methods for the formulation of flour prototypes made from camu-camu fruits and their associated residues generated during pulp and juice production. Additionally, it aims to assess the degradation of agroindustrial and functional attributes during frozen storage. Camu-camu fruits were manually harvested in March 2019 at the mature stage from adult plants in a commercial orchard located in Manacapuru, Amazonas, Brazil. The fruits were promptly transported to the Post-harvest and Agroindustrialization laboratory at Embrapa Roraima, Boa Vista, Roraima, where 18 prototypes of camu-camu flour underwent evaluation over the course of one year in a freezer. The study employed three raw materials (whole fruit, pulp production residue, and juice production residue) and subjected them to six drying methods, including alternative solar dryer, electric oven at 100 °C, freezer dryer, and conventional dryer oven set at temperatures of 40 °C, 60 °C, and 100 °C. Subsequently, the dried prototypes were sealed in metallic packages and stored in a horizontal freezer (-18 °C) for periodic evaluation of their agroindustrial quality. Assessments of soluble solids, titratable acidity, pH, color, moisture, total solids, and ascorbic acid were conducted at intervals of 90 days over the 12-month storage period. The experimental design followed a completely randomized pattern in a triple factorial arrangement (3 * 6 * 5: raw material * drying method * storage time), with validation of the experimental data through analysis of variance (0.05). The findings reveal that the tested drying products exhibit favorable characteristics for application within the agro-industry, offering versatility for both individual usage and incorporation into various recipes with widespread acceptance. These products contribute additional color, sugars, antioxidant acids, and bioactive compounds, enhancing their market appeal and nutritional value. Moreover, storing camu-camu flour prototypes in a refrigerated environment (freezer) effectively preserves their organoleptic properties, allowing for prolonged frozen storage without compromising quality. This highlights the potential for commercial scalability and long-term viability of camu-camu derived products, ultimately

promoting economic growth and sustainability within producing regions.

Key words: *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh; By-products; Frozen storage; Degradability; Post-harvest; Food security.

1 INTRODUCTION

Economic development, population growth, urbanization and the technological revolution are accompanied by changes in the population's lifestyle, modes of production and consumption. As a direct result of these processes, there is an increase in the production of solid waste, both in quantity and diversity (GOUVEIA, 2012; LAMIDI et al., 2019). As the global population growth, the quantity and diversity of waste tends to increase, requiring a new approach to this issue.

Solid waste is understood as any discarded material, substance, object or good resulting from human activities in society, whose final destination is carried out, is proposed to be carried out or is obliged to be carried out, in solid or semi-solid states, as well as gases contained in containers and liquids (BRASIL, 2010). In the case of agro-industries, the largest volume of waste is organic solids and semi-solids, such as residues from the processing of agricultural products (KIEHL, 2012; HOMMA, 2012), which, when disposed of correctly, often transform into in soil conditioning substrates or organic fertilizers.

However, a portion of these residues, most of which have a desirable nutritional composition (KIEHL, 2012; SANTOS et al., 2022), has the potential to be transformed into new products or processes of biotechnological or agro-industrial interest, if properly segregated at the source. Leitão and Leitão (2015) state that the reuse of food waste presents itself as an alternative for the development of new products with good nutritional references, in addition to favoring the full use of food and reducing negative impacts on the environment.

For Sousa et al. (2011), Brazil is one of the countries that produces the most agro-industrial waste, such as fruit waste from pulp industries, which are potential sources of macronutrients and bioactive compounds, mainly antioxidant compounds. However, when organic waste, which could be processed and reused, is incorrectly discarded, it negatively impacts environmental quality, generating social and economic problems.

According to Homma (2012), the global concern with waste generated by urban populations does not differ in the Amazon, where there is a need to establish unique proposals aimed at using organic waste. The biodiversity of the Amazon has great potential to be explored in a sustainable way and the reuse of agro-industrial waste is an alternative that can contribute positively to the region's appreciation.

Several reports in the technical and scientific literature, including studies by Ordoñez-Santos et al. (2014), Aguiar and Souza (2015), Grigio et al. (2017), Obregón and Obregón (2019), Silva et al. (2019), Garcia et al. (2020), Araújo et al. (2022), Rosário et al. (2022), and Vasconcelos et al. (2023), have shown that fruit residues generated during processing are promising sources of pigments and compounds. These residues have great potential for use in the pharmaceutical and food industries, thus reducing negative environmental impacts and optimizing resources.

Nascimento Filho; Franco (2015) highlighted that the reuse of agro-industrial waste in Brazil goes beyond recycling for the production of animal feed or organic fertilizer. They highlighted the need for investment in research to discover new potential for the use of these residues, contributing to the development of the Brazilian biotechnology industry, the conservation and preservation of natural resources, in addition to reducing the population's hunger, since, according to the authors, by products are great sources of nutrients.

A plant species with great agro-industrial and biotechnological potential is the camu-camuzeiro [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh], belonging to the Myrtaceae family, also known as “camu-camu” or “araca”, is one of the typically Amazonian fruit trees, which grows in banks of rivers and lakes throughout the Amazon basin (YUYAMA, 2011). These fruits are rich in vitamin C and anthocyanin (GRIGIO et al., 2017) and demonstrate potential for use at different stages of maturation (PIÑEDO et al., 2010).

Kaneshima et al. (2017) found several antimicrobial constituents of biotechnological interest in the plant components of camu-camu, suggesting that the bark (epicarp) and seeds can be used for therapeutic applications. Montero et al. (2018) highlighted that pulps, seeds and peels of Amazonian fruits, such as camu-camu and acerola, present a good contribution of phenolic compounds and high anti-free radical activity, indicating the presence of bioactive compounds, being a great incentive for the elaboration of herbal products or of functional food, which can surpass synthetic ingredients and offer healthy alternatives (SANTOS et al., 2022).

Benefited camu-camu products may contribute not only to the management of inflammatory conditions and their positive contribution to general good health, but also to their potential role in many disease states (LANGLEY et al., 2015) The studies found in the literature show that this plant can be used as a nutraceutical once it exhibits impressive amounts of bioactive compounds that can produce antioxidant and anti-inflammatory actions, and can improve body weight, glycemia and serum lipids. For these reasons, could be considered to prevent as diabetes, dyslipidemia, metabolic syndrome, cardiovascular diseases, and cancer (BARBALHO et al., 2021).

In camu-camu producing regions, fruit waste is observed due to the lack of information on the economic, social, agro-industrial and biotechnological potential of the crop. And when processed, the waste resulting from pulp extraction is normally inappropriately disposed of in the environment. In this way, a considerable amount of inputs has been wasted, with high nutritional and functional potential that could be introduced into new products, as raw material or complementation/supplementation, as long as the processing is viable for the region, the final product is stable and meets regulatory standards.

Therefore, this research aimed to test different types of drying in the formulation of prototypes of fruit flours and camu-camu residues generated during pulp and juice production. It also sought to evaluate the degradation of agro-industrial and functional attributes during frozen storage.

2 MATERIALS AND METHODS

In the experiment, a set of methods and technologies were adopted to minimize mechanical injuries to the fruits, allowing them to be better preserved for a longer period and in the best conditions that resemble the conditions of the fruits on the plant (PIÑEDO et al., 2010). In March 2019, the camu-camu used in this experiment were collected manually, at a mature stage, from adult plants from a commercial orchard, in good physiological conditions, in an area in the municipality of Manacapuru, Amazonas, Brazil (geographic reference coordinates 3°14'17.09"S; 60°36'1.31"W, with 70 m altitude).

The fruits were packed in plastic bags and placed in Styrofoam boxes, covered with ice, and transported to the Post-harvest and Agroindustrialization laboratory of the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa Roraima), in Boa Vista, Roraima (reference geographic coordinates 2°45'23" N; 60°43'52" W, with 83 m altitude), where reception, sorting, cleaning, sanitization, processing, processing and characterization took place.

Subsequently, the fruits were received and sorted in an air-conditioned room (20 °C), where it was possible to select and remove fruits with mechanical injuries. Subsequently, the fruits were cleaned with drinking water and sanitized using 0.02% sodium hypochlorite (NaClO), for 10 minutes, following the recommendations of the National Health Surveillance Agency (ANVISA, 2004). Then, the fruits were rinsed with drinking water and placed on a tray lined with paper towel. Approximately 4 kg of fresh fruits were sampled for biometric characterization and processing in a mechanized pulper and electric blender, aiming to measure the yield of the pulp and homemade juice production processes.

In the biometric characterization of the fruits, the following variables were considered: fresh mass, polar diameter, equatorial diameter, ratio between polar diameter and equatorial diameter, pulp yield, epicarp yield and seed yield. The polar and equatorial diameters were measured vertically and horizontally, respectively, using a digital caliper with an accuracy of 0.01 mm, and the values were expressed in millimeters. The fresh mass of the fruits was determined using a semi-analytical balance with an accuracy of 0.01 g, and the results were expressed in grams.

The mechanized pulping of the fruits was carried out using an electric pulper, Bonina brand, compact model, with 1 hp of power, 1 mm screen, inserting approximately 500 g of fresh fruits (entirely, without dilutions) into the collection tube, and processing until the point do not crush/scrape the seeds. Subsequently, the waste generated in the pulper was collected in plastic trays.

To simulate the production of homemade juice, the Embrapa Roraima recommendation was used, of 300 g of fruits for 1000 mL of drinking water. In the experiment, deionized water was used. An electric blender, Arno brand, optimix plus model, with 550 W of power was used. During processing, the “pulse” function was used five times, so that the pulp spilled out, and the peel was coarsely crushed, avoiding crushing the seeds. The juice was filtered through a 0.5 mm plastic sieve. Subsequently, the processing residues were collected and sent for drying.

In this experiment, the degradation of the agro-industrial quality of 18 prototypes of camu-camu flour was evaluated over a year of storage in a freezer. Three raw materials were used [whole fruit (WF), residue from pulp production (PPR) and residue from juice production (JPR)] and six drying methods (solar dryer, electric oven at 100 °C, freeze dryer and electric ovens regulated in temperature ranges of 40 °C, 60 °C and 100 °C).

Drying was carried out in an electric oven with air circulation and renewal, graduated to three different temperatures (40, 60 and 100 °C), an electric oven (110 °C), a freeze dryer and a solar dryer. It should be noted that, when drying in the electric oven specifically, the lowest temperature available was used. When drying with heat, the samples were placed on aluminum baking trays and added to the drying equipment. In the freeze-drying process, the samples were placed in glass vials. The samples remained drying until constant weight. All instruments used in drying were sanitized to avoid contamination.

The electric greenhouses at the Embrapa Roraima laboratory used in this experiment had a forced hot air circulation and renewal system. For each temperature assessment, a range was established. Firstly, raw materials were dried at 40 °C. Other parts of the raw materials were dried at 60 °C and the rest were dried at 100 °C separately.

In the learning environment of the National Industrial Learning Service (reference geographic coordinates 2°48'41" N; 60°42'34" W, with 78 m altitude), the raw materials were dried in an industrial electric oven, graduated to the range of 110 °C, using the site's standard operating procedures. In the soil fertility laboratory of the Federal University of Roraima, Cauamé campus (reference geographic coordinates 2°52'09" N; 60°43'52" W, with 83 m altitude), the samples were dried in a bench freeze dryer, set at -40 °C and vacuum, using the site's standard operating procedures.

After drying, the prototypes were placed in metallized packaging, sealed with the aid of a pedal sealer. The packages were identified according to treatments and different evaluation dates. To avoid causing damage to the packaging and quality of the prototypes, they were packed in black plastic bags. Subsequently, the samples were placed in a horizontal freezer (-18 °C), where they were stored until the moment of each evaluation.

Over a period of 12 months, the flour prototypes were evaluated for moisture, color, soluble solids, titratable acidity, pH and ascorbic acid. Agro-industrial quality assessments occurred every 90 days, at 0 (*in natura*), 90, 180, 270 and 360 days. These agro-industrial quality analyzes mentioned above was conducted within a controlled temperature environment (25±1 °C). The analyzes of moisture, soluble solids, titratable acidity and pH followed the methodologies established by the Adolf Lutz Institute (IAL, 2008), and the data were standardized to 25 °C.

Moisture content was determined by the gravimetric method using a conventional electric dryer with hot air circulation, set at approximately 105 °C, until constant mass, with results reported as a percentage. Soluble solids were assessed using a digital refractometer, with measurements expressed in °Brix after calibration with deionized water (0.0 °Brix).

Titratable acidity of samples of fruits and residues was determined through volumetric analysis using 0.1 N NaOH solution as a titrant, with 1% phenolphthalein serving as the indicator. For flours, titratable acidity was assessed via potentiometry, employing 0.1 N NaOH solution as the titrant until pH reached the range of 8.2-8.4. Titratable acidity values were expressed as grams (g) of citric acid per 100 g of sample.

The pH determination involved the use of a digital potentiometer, with measurements taken from a homogeneous extract obtained by diluting sample in deionized water (1:10 w/v). Sample homogenization was achieved using a mixer, operating for approximately 20 seconds per sample. Calibration of the potentiometer utilized buffer solutions of pH 4.0 and 7.0.

As for color parameters (luminosity, chromaticity, and *hue* angle) were determined using a digital colorimeter calibrated against a standard plate ($Y = 87.2$; $x = 0.3167$; $y = 0.3237$).

To evaluate the concentration of ascorbic acid (vitamin C), extraction of samples was carried out using 0.5% oxalic acid, followed by titration with 2,6-dichlorophenolindophenol (RANGANNA, 1986), and results were expressed in milligrams of ascorbic acid per 100 g of sample.

A completely randomized design in a triple factorial $3 \times 6 \times 5$ (raw material * drying method * storage time) was used. The raw material factor had three levels (whole fruit, pulp production residue and juice production residue). The drying method factor had six levels (conventional dryer oven at 40 ± 5 °C, conventional dryer oven at 60 ± 5 °C, conventional dryer oven at 100 ± 5 °C, electric oven at 100 ± 5 °C; alternative solar dryer and freezer dryer). The storage time factor consisted of five levels [0 (*in natura*), 90, 180, 270 and 360 days]. Treatments were evaluated in quadruplicate.

The experimental data were tabulated in a digital spreadsheet and normality (0.05) and homogeneity (0.05) tests were performed. Statistical validation was performed using analysis of variance (0.05). For qualitative variables, F (0.05) and Tukey (0.05) tests were applied. When there was a significant effect on the interactions, the sources of variations were broken down. The statistical analysis and graphical presentation were developed in the R 4.2.2 environment (R CORE TEAM, 2022).

3 RESULTS AND DISCUSSIONS

The camu-camu fruits used in this experiment had an average fresh mass of 6.43 ± 1.86 g, 20.76 ± 2.09 mm in polar diameter, 22.13 ± 2.23 mm in equatorial diameter, with an average yield of 42.28% pulp, $32.09 \pm 2.49\%$ peel and $25.63 \pm 2.83\%$ seeds. The processing of camu-camu fruits in a pulper generates, on average, $28.64 \pm 5.63\%$ of waste (peels and seeds) and $71.36 \pm 5.63\%$ of pulp. Homemade processing of camu-camu juice generates, on average, $65.62 \pm 4.37\%$ of waste (peels and seeds), while the remaining $34.38 \pm 4.37\%$ was absorbed in the juice. These results are similar to experiments previously carried out by the research group (CHAGAS et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2020).

The whole fruits and residues from the pulp and juice production used as raw materials in the production of camu-camu flour are acidic, rich in water content and reddish purple in color. The results of the physicochemical analyzes obtained for whole fruits and fresh raw materials at the start of the experiment are presented in Chart 1.

Chart 1. Mean values of quality characters measured in whole fruits, pulp production residue and camu-camu juice production residue *in natura*

Parameters measured	Raw material (<i>in natura</i>)		
	WF	PPR	JPR
Moisture (%)	86.26±0.25	74.87±0.66	83.21±1.36
Luminosity	28.65±1.92	37.31±2.82	37.43±0.85
Chromaticity	13.46±1.65	25.36±2.40	17.01±1.57
Hue angle (°)	16.08±2.86	15.83±0.83	11.88±0.72
Soluble solids (°Brix)	7.15±0.13	5.25±0.06	5.13±0.05
Titrateable acidity (g citric acid 100 g ⁻¹)	2.38±0.10	2.10±0.08	1.25±0.06
pH	3.35±0.02	3.79±0.03	3.65±0.01
Ascorbic acid (mg ascorbic acid 100 g ⁻¹)	2362.29±20.12	1698,25±17.45	1225,13±12.86

WF = whole fruit; PPR = pulp production residue; JPR = juice production residue. (Authors, 2024).

A highly significant difference ($p < 0.001$) was observed in the triple interaction (raw material * drying method * storage time) of the variables chromaticity, *hue* angle, soluble solids, titrateable acidity, pH, and ascorbic acid, indicating great variability among the treatments studied. For moisture and soluble solids, there was a highly significant effect ($p < 0.001$) in a double interaction (drying method * storage time). The luminosity of the evaluated samples had a highly significant effect ($p < 0.001$) in a double interaction (raw material*drying method).

Under the established conditions, the coefficients of variation of experimental data from the research varied between 1.09 (*hue* angle) and 15.85% (humidity), indicating data dispersions ranging from low to medium (PIMENTEL-GOMES, 2009). The dispersion measure corroborates the good planning and conduct of the experiment, stable variables, data precision, and homogeneity in the set of values (FREITAS, 2022).

The camu-camu flour prototypes formulated have a floury texture, low water content, strong acidity, desirable levels of soluble solids and total solids, rich in antioxidant acids (citric and ascorbic), in addition to having good pigmentation with a color ranging from violet -reddish to yellow-orange, and can be light to dark, depending on the raw material and the drying method used in the process. Due to the influence of temperature on the manipulation of plant cells, the experimental effect can be better interpreted when the average temperature range of the tested methods is understood [CDO40 40 (40.49±1.17 °C), CDO60 (60.54 ±1.37 °C), CDO100 (100.25±1.55 °C), EO100 (99.93±0.88 °C), ASD (52.95±6.45 °C) and FD (-52.93±4.30 °C)].

The humidity values of the evaluated prototypes ranged from 1.84 (CDO60) to 8.66% (CDO40) at the time of processing, increasing significantly according to storage time, reaching 6.85 (CDO100) to 12.76% (EO100) after 360 days of freezer storage. The camu-camu flour prototypes prepared in the electric oven with hot air renewal in the range of 40 °C presented

the highest humidity values throughout all evaluations of the experiment, while the electric oven with hot air renewal in the range of 100 °C. The average moisture values of camu-camu flour prototypes stored frozen for 360 days are shown in Table 1.

Table 1. Average moisture values (%) of camu-camu flours prepared using different drying methods and stored frozen over 360 days

Drying method	Storage time (days)				
	0	90	180	270	360
CDO40	8.66±0.23 aC	9.54±0.03 aC	9.99±0.05 aBC	11.04±0.09 aAB	11.71±0.80 abA
CDO60	7.41±0.87 abD	8.48±0.31 abCD	9.21±0.08 abBC	10.38±0.21 aAB	11.58±0.22 abA
CDO100	1.84±0.42 eD	3.27±0.11 dC	4.12±0.07 cBC	5.52±0.07 cAB	6.85±0.92 cA
EO100	6.31±1.14 bcD	7.12±0.05 bcCD	8.20±0.12 bC	10.33±0.12 aB	12.76±1.70 aA
ASD	3.27±0.26 dB	4.26±0.09 dB	6.48±0.25 cB	8.52±0.26 bA	10.42±0.95 bA
FD	5.61±0.12 cC	6.64±0.11 cC	8.08±0.16 bB	9.78±0.11 abA	11.01±0.2 bA
<i>p-value</i>			0.0001		
MSE			5.4732		
CV (%)			15.85		
Overall average			7.95		

WF = whole fruit; PPR = pulp production residue; JPR = juice production residue; CDO40 = conventional dryer oven at 40 °C; CDO60 = conventional dryer oven at 60 °C; CDO100 = conventional dryer oven at 100 °C; EO100 = electric oven at 100 °C; ASD = alternative solar dryer; FD = freezer dryer; MSE = mean square error; CV (%) = coefficient of variation; n = 4. Means followed by the same letter, lowercase in the column and uppercase in the row, do not differ from each other using the Tukey test (0.05). (Authors, 2024).

The flour prototypes evaluated in this experiment present average moisture values similar to those recorded in the scientific technical literature on camu-camu dehydration, where camu-camu flours dried by different processing methods present moisture in the range of 0.20 to 10.55% (AZEVEDO et al., 2014; OBREGÓN; OBREGÓN, 2019; GUIMARÃES et al., 2023; GUIMARÃES et al., 2024).

For Araújo et al. (2022), the reduction in humidity and water activity due to the increase in drying temperature in camu-camu processing residues is very significant and directly affects the physical-chemical quality of the material, as it results in a reduction in free water and linked in hydrogen bonds, contributing to the reduction of the broadband centered in the 3.300 cm⁻¹ region.

In the luminosity parameter, a lightness indicator that varies from black (0) to white (100), the prototypes prepared in the electric oven at 100 °C presented the lowest values (Table 2), regardless of the raw material, with values of 24.91±0.63 (whole fruit), 38.76±0.36 (residue from pulp production) and 36.95±0.24 (residue from juice production), being low luminance and dark. Dehydration via freeze-drying produced lighter flour prototypes, with luminosity

values ranging from 54.65 ± 0.36 (whole fruit) to 56.93 ± 0.91 (juice production residue). The conservation of flour luminosity is linked to degradative and oxidative processes, which are directly affected by temperature and exposure time.

Table 2. Average luminosity values of camu-camu flour made from different raw materials and drying methods

Drying method	Raw material		
	WF	PPR	JPR
CDO40	44.53 ± 0.58 bB	48.31 ± 0.70 bA	44.85 ± 6.30 cB
CDO60	42.81 ± 0.41 cC	49.70 ± 0.24 bA	45.32 ± 0.18 cB
CDO100	28.86 ± 0.33 dB	41.71 ± 0.83 dA	41.16 ± 0.51 dA
EO100	24.91 ± 0.63 eC	38.76 ± 0.36 dA	36.95 ± 0.24 eB
ASD	43.18 ± 1.20 bcA	45.85 ± 0.70 cA	47.57 ± 1.92 bA
FD	54.65 ± 0.36 aB	55.18 ± 0.60 aB	56.93 ± 0.91 aA
<i>p-value</i>	0.0001		
MSE	214.3574		
CV (%)	4.25		
Overall average	43.96		

WF = whole fruit; PPR = pulp production residue; JPR = juice production residue; CDO40 = conventional dryer oven at 40 °C; CDO60 = conventional dryer oven at 60 °C; CDO100 = conventional dryer oven at 100 °C; 100 °C; EO100 = electric oven at 100 °C; ASD = alternative solar dryer; FD = freezer dryer; MSE = mean square error; CV (%) = coefficient of variation; n = 4. Means followed by the same letter, lowercase in the column and uppercase in the row, do not differ from each other using the Tukey test (0.05). (Authors, 2024).

The samples evaluated in this research presented luminosity values similar to those recorded by other authors who also worked with the use and drying of fruits and residues from camu-camu processing, with averages varying from 15.93 to 70.30 (AZEVEDO et al., 2014; OBREGÓN; OBREGÓN, 2019; ARAÚJO et al., 2022; GUIMARÃES et al., 2023; GUIMARÃES et al., 2024), indicating that camu-camu flours have a wide variation in luminance depending on the type of sample and drying method.

Also, there was a significant effect (0.05) in the triple interaction (raw material*drying method*storage time) on the chromaticity variable. For chromaticity, an indicator of color intensity, emphasis remained on the prototypes of camu-camu flours prepared in a freeze dryer, with the highest values with all the raw materials tested and, in all evaluations, carried out (days of storage). A significant reduction (0.05) in chromaticity values was observed over the days of storage. The average chromaticity values of camu-camu flour prototypes are presented in Table 3.

Table 3. Average chromaticity values of camu-camu flour made from different raw materials, drying methods and stored frozen over 360 days

Raw material	Drying method	Storage time (days)				
		0	90	180	270	360
WF	CDO40	26.98±0.55 ab A	26.92±0.10 ab A	26.43±0.94 ab A	25.85±0.38 ab A	25.43±0.29 ab B
	CDO60	25.48±0.55 bc A	25.51±0.10 bc A	25.22±0.10 ac A	25.02±0.06 ab A	24.92±0.29 ab B
	CDO100	19.85±0.58 ce A	19.52±0.45 ce A	18.62±0.10 ce A	17.70±0.47 cd B	16.89±0.25 cd B
	EO100	18.24±0.13 cf A	18.00±0.11 cf A	17.35±0.24 cf AB	17.17±0.10 cd AB	16.42±0.52 cd B
	ASD	23.28±1.82 ad A	23.16±0.13 ad A	22.89±0.17 ad AB	21.96±0.20 ac B	20.61±1.20 ac C
	FD	32.36±1.52 aa A	32.24±0.11 aa A	32.05±0.06 aa A	31.90±0.08 aa AB	31.63±0.67 aa B
PPR	CDO40	23.65±0.11 cc A	23.22±0.28 cc A	22.90±0.78 cc AB	22.75±0.13 cc AB	22.52±0.32 bc B
	CDO60	26.70±0.27 ab A	26.22±0.26 ab A	25.97±0.13 ab A	25.40±0.34 ab AB	24.87±0.66 ab AB
	CDO100	23.99±0.40 ac A	23.87±0.22 ac A	23.30±0.14 ac A	22.65±0.44 ac A	21.83±0.65 ac B
	EO100	24.47±0.24 ac A	23.95±0.37 ac A	23.45±0.31 ac A	23.12±0.23 ac AB	22.32±0.33 ac AB
	ASD	22.20±0.30 bd A	22.04±0.14 ad A	21.95±0.13 ad A	21.72±0.36 ad A	21.14±0.55 ad B
	FD	30.12±0.10 ba A	29.66±0.13 ba A	29.22±0.19 ba A	28.75±0.24 ba A	26.97±1.33 ba B
JPR	CDO40	25.65±0.46 bb A	25.02±0.17 bb A	24.57±0.10 bb A	24.05±0.24 bb A	22.95±0.81 bb A
	CDO60	24.87±0.30 bb A	24.69±0.09 bb A	24.05±0.13 bb A	23.50±0.45 bb A	22.62±0.53 bb B
	CDO100	21.25±0.15 bd A	20.80±0.61 bd A	19.75±0.35 bd AB	19.10±0.34 bd B	18.76±0.45 bd B
	EO100	22.71±0.65 bc A	22.45±0.13 bc A	21.90±0.27 bc A	21.82±0.05 bc A	21.62±0.49 bc A
	ASD	22.87±0.45 abc A	22.56±0.11 abc A	22.15±0.13 abc A	21.85±0.13 abc AB	21.31±0.22 abc B
	FD	32.85±0.57 aa A	31.96±0.73 aa A	31.50±0.45 aa A	30.85±0.13 aa AB	29.52±0.47 aa B
<i>p-value</i>		0.0001				
MSE		0.5733				
CV (%)		2.00				
Overall average		24.00				

WF = whole fruit; PPR = pulp production residue; JPR = juice production residue; CDO40 = conventional dryer oven at 40 °C; CDO60 = conventional dryer oven at 60 °C; CDO100 = conventional dryer oven at 100 °C; 100 °C; EO100 = electric oven at 100 °C; ASD = alternative solar dryer; FD = freezer dryer; MSE = mean square error; CV (%) = coefficient of variation; n = 4. Averages followed by the same letter, lower case in the column, upper case in the line, italics and bold between the raw material factor, do not differ from each other using the Tukey test (0.05). (Authors, 2024).

Among the treatments tested, only when whole fruits were dehydrated in a conventional dryer oven (at 100 °C) and electric oven (at 100 °C), the prototypes presented averages of 19.85 ± 0.58 and 18.24 ± 0.13 , respectively, which are relatively lower, consequently, with less color intensity, when compared to those cited in other works that deal with fruit drying and camu-camu processing residues, with values ranging from 22.70 to 25.72 (AZEVEDO et al., 2014; ARAÚJO et al., 2022).

However, they are higher than the values found in preliminary studies, with fruits and processing residues from Boa Vista, Roraima (GUIMARÃES et al., 2023), where flours made with whole fruits and dehydrated in a conventional dryer oven had an average chromaticity of 14.46. These results are similar to experiments previously carried out by the research group (GUIMARÃES et al., 2024), where they obtained camu-camu flours with an average chromaticity of 22.40.

There was a significant effect (0.05) in the interactions tested, in relation to the *hue* angle (color tone) of the samples depending on the raw material, drying method, and storage time. The *hue* angle values (Table 4) indicate the color variation from purple-red (17.12 ± 0.32 °) in freeze-dried samples to reddish-orange (64.40 ± 0.26 °), which are not as noticeable due to the low *hue* values chromaticity mentioned above.

Table 4. Average *hue* angle values (°) of camu-camu flours made from different raw materials, drying methods and stored frozen over 360 days

Raw material	Drying method	Storage time (days)				
		0	90	180	270	360
WF	CDO40	61.65±0.32 <i>aaB</i>	61.88±0.07 <i>aaAB</i>	62.10±0.08 <i>aaA</i>	62.22±0.22 <i>baA</i>	62.55±0.53 <i>baA</i>
	CDO60	59.30±0.19 <i>bbB</i>	59.72±0.50 <i>bbAB</i>	60.00±0.16 <i>bbAB</i>	60.60±0.41 <i>bbA</i>	61.45±0.37 <i>aaA</i>
	CDO100	54.77±0.49 <i>bcB</i>	54.00±1.87 <i>bcdB</i>	54.80±0.08 <i>ccdA</i>	55.14±0.27 <i>cdA</i>	55.90±0.60 <i>abcA</i>
	EO100	53.00±0.66 <i>bdC</i>	52.91±1.20 <i>cdC</i>	54.20±0.22 <i>cdB</i>	54.84±0.20 <i>cdA</i>	55.38±0.52 <i>ccA</i>
	ASD	54.90±1.43 <i>bcB</i>	54.95±0.71 <i>bcB</i>	55.76±0.21 <i>bcAB</i>	56.70±0.46 <i>bcA</i>	56.97±0.63 <i>bbA</i>
	FD	27.18±0.59 <i>aeC</i>	28.27±0.39 <i>aeB</i>	28.79±0.22 <i>aeB</i>	28.96±0.08 <i>aeB</i>	29.53±1.01 <i>adA</i>
PPR	CDO40	50.02±1.29 <i>beD</i>	52.43±0.66 <i>cdDC</i>	55.08±1.26 <i>bcC</i>	57.89±0.64 <i>cbB</i>	61.46±0.36 <i>cbA</i>
	CDO60	57.33±0.32 <i>caD</i>	58.40±0.53 <i>caD</i>	60.00±0.19 <i>baC</i>	61.12±0.68 <i>baA</i>	62.65±0.57 <i>aaA</i>
	CDO100	54.20±0.58 <i>bcD</i>	54.65±0.13 <i>bcD</i>	55.85±0.13 <i>bcCD</i>	57.28±0.65 <i>bbB</i>	59.85±0.44 <i>acA</i>
	EO100	56.05±0.42 <i>abB</i>	56.76±0.34 <i>bbB</i>	57.50±0.41 <i>bbAB</i>	58.11±0.34 <i>bbA</i>	58.69±0.42 <i>bdA</i>
	ASD	52.89±0.33 <i>cdD</i>	54.17±0.22 <i>bcCD</i>	54.97±0.12 <i>bcCD</i>	55.84±0.18 <i>bcB</i>	56.80±0.71 <i>beA</i>
	FD	26.20±0.29 <i>bfc</i>	26.60±0.47 <i>beC</i>	27.14±0.38 <i>bdAB</i>	27.96±0.14 <i>bdB</i>	28.36±1.90 <i>bfa</i>
JPR	CDO40	61.20±0.46 <i>aaC</i>	61.68±0.64 <i>aaC</i>	62.78±0.37 <i>aaB</i>	63.60±0.40 <i>aaA</i>	64.40±0.26 <i>aaA</i>
	CDO60	60.62±0.33 <i>aaC</i>	61.11±0.30 <i>aaB</i>	62.50±0.37 <i>aaAB</i>	62.95±0.13 <i>aaA</i>	63.53±0.36 <i>aaA</i>
	CDO100	57.15±0.18 <i>abC</i>	57.40±0.34 <i>abB</i>	58.00±0.18 <i>abcAB</i>	58.97±0.36 <i>abcA</i>	59.87±0.20 <i>abA</i>
	EO100	57.79±0.69 <i>abC</i>	58.17±0.73 <i>abB</i>	59.08±0.12 <i>abAB</i>	59.56±0.39 <i>abB</i>	60.03±0.65 <i>abA</i>
	ASD	56.80±0.46 <i>abB</i>	57.29±0.58 <i>abAB</i>	57.70±0.27 <i>acAB</i>	58.03±0.09 <i>acA</i>	58.43±0.89 <i>acA</i>
	FD	17.72±0.29 <i>ccC</i>	17.12±0.32 <i>ccC</i>	18.01±0.19 <i>cdB</i>	19.26±0.24 <i>cdA</i>	20.56±0.12 <i>cdA</i>
<i>p-value</i>		0.0001				
MSE		2.9975				
CV (%)		1.09				
Overall average		52.51				

WF = whole fruit; PPR = pulp production residue; JPR = juice production residue; CDO40 = conventional dryer oven at 40 °C; CDO60 = conventional dryer oven at 60 °C; CDO100 = conventional dryer oven at 100 °C; 100 °C; EO100 = electric oven at 100 °C; ASD = alternative solar dryer; FD = freezer dryer; MSE = mean square error; CV (%) = coefficient of variation; n = 4. Averages followed by the same letter, lower case in the column, upper case in the line, italics and bold between the raw material factor, do not differ from each other using the Tukey test (0.05). (Authors, 2024).

The color tone (*hue* angle) of the evaluated camu-camu flour prototypes is similar to that of camu-camu flours prepared by several authors (AGUIAR; SOUZA, 2015; AZEVÊDO et al., 2014; OBREGÓN; OBREGÓN, 2019; GARCIA et al., 2020; ARAÚJO et al., 2022; GUIMARÃES et al., 2023; GUIMARÃES et al., 2024), with tones varying from purple red to reddish orange, characteristic of the crop due to the concentrations of anthocyanidin glycosides belonging to the flavonoid group, composed exclusively used in the food industry, highlighting the growth in the natural dyes market year after year, mainly due to the search for clean label products (SANTOS et al., 2022).

In the soluble solids parameter, an indicator of total sugar concentration, there was a significant effect (0.05) on the interaction of raw material, drying method, and storage time, it is necessary to unfold the factors for a more detailed analysis. The camu-camu flour prototypes that exhibited the highest levels of soluble solids were prepared using lyophilization, a cryo-dehydration method known for preserving organoleptic properties owing to its cold and vacuum drying conditions. The average values of soluble solids in camu-camu flour are depicted in Table 5.

Table 5. Average soluble solids (°Brix) of camu-camu flours made from different raw materials, drying methods and stored frozen over 360 days

Raw material	Drying method	Storage time (days)				
		0	90	180	270	360
WF	CDO40	1.53±0.10 <i>aeB</i>	1.63±0.10 <i>aeB</i>	1.78±0.10 <i>afB</i>	1.92±0.13 <i>adeAB</i>	3.45±0.31 <i>acA</i>
	CDO60	3.25±0.24 <i>abC</i>	3.5±0.06 <i>abAB</i>	3.68±0.10 <i>abAB</i>	3.82±0.28 <i>abAB</i>	4.45±0.19 <i>aaA</i>
	CDO100	2.25±0.13 <i>adA</i>	2.25±0.05 <i>adA</i>	2.10±0.08 <i>aeB</i>	1.75±0.13 <i>aeC</i>	1.85±0.10 <i>aaC</i>
	EO100	2.30±0.08 <i>adC</i>	2.68±0.05 <i>acC</i>	2.80±0.08 <i>acB</i>	2.95±0.06 <i>acB</i>	4.18±0.17 <i>abA</i>
	ASD	2.55±0.13 <i>acA</i>	2.42±0.05 <i>adA</i>	2.38±0.05 <i>adA</i>	2.10±0.14 <i>bdB</i>	2.15±0.06 <i>bdB</i>
	FD	4.10±0.22 <i>aaA</i>	4.12±0.05 <i>aaA</i>	4.12±0.05 <i>aaA</i>	4.15±0.17 <i>aaA</i>	4.00±0.10 <i>abB</i>
PPR	CDO40	1.25±0.13 <i>bcB</i>	1.25±0.06 <i>bcB</i>	1.33±0.05 <i>bdB</i>	1.30±0.08 <i>bdB</i>	1.50±0.06 <i>bdA</i>
	CDO60	1.55±0.13 <i>bbC</i>	1.75±0.06 <i>bbBC</i>	2.13±0.10 <i>bbB</i>	2.45±0.17 <i>bbA</i>	1.90±0.06 <i>bcBC</i>
	CDO100	1.12±0.22 <i>bcAB</i>	1.13±0.05 <i>bcA</i>	1.10±0.05 <i>bfb</i>	1.00±0.08 <i>beC</i>	1.00±0.05 <i>beC</i>
	EO100	2.12±0.10 <i>aaAB</i>	2.15±0.06 <i>baAB</i>	2.15±0.06 <i>bbAB</i>	2.25±0.06 <i>bbA</i>	1.98±0.06 <i>bbcB</i>
	ASD	1.62±0.10 <i>bbD</i>	1.55±0.13 <i>bbD</i>	2.65±0.05 <i>aaC</i>	3.00±0.08 <i>aaB</i>	3.68±0.13 <i>aaA</i>
	FD	1.65±0.06 <i>cbB</i>	1.78±0.05 <i>cbB</i>	1.73±0.05 <i>ccB</i>	2.15±0.08 <i>bcA</i>	2.15±0.05 <i>bbA</i>
JPR	CDO40	0.90±0.14 <i>cbB</i>	0.90±0.05 <i>ccB</i>	0.85±0.06 <i>cdeB</i>	0.60±0.08 <i>cdC</i>	1.43±0.10 <i>bbA</i>
	CDO60	0.75±0.13 <i>ccC</i>	1.15±0.06 <i>cbB</i>	1.25±0.06 <i>ccB</i>	1.30±0.10 <i>cbB</i>	1.60±0.24 <i>cbA</i>
	CDO100	0.73±0.10 <i>ccC</i>	0.75±0.06 <i>ccC</i>	0.93±0.05 <i>bdB</i>	1.10±0.05 <i>bcA</i>	0.73±0.17 <i>caC</i>
	EO100	0.98±0.12 <i>bbC</i>	0.98±0.17 <i>cbC</i>	1.68±0.05 <i>cbB</i>	1.95±0.13 <i>caA</i>	1.48±0.22 <i>cbB</i>
	ASD	0.70±0.08 <i>ccAB</i>	0.70±0.17 <i>cdAB</i>	0.63±0.05 <i>beB</i>	0.75±0.15 <i>cdAB</i>	1.05±0.24 <i>ccA</i>
	FD	2.35±0.13 <i>baA</i>	2.35±0.06 <i>baA</i>	2.28±0.05 <i>baA</i>	2.00±0.06 <i>baB</i>	2.18±0.10 <i>baB</i>
<i>p-value</i>		0.0001				
MSE		0.5537				
CV (%)		6.17				
Overall average		1.97				

WF = whole fruit; PPR = pulp production residue; JPR = juice production residue; CDO40 = conventional dryer oven at 40 °C; CDO60 = conventional dryer oven at 60 °C; CDO100 = conventional dryer oven at 100 °C; 100 °C; EO100 = electric oven at 100 °C; ASD = alternative solar dryer; FD = freezer dryer; MSE = mean square error; CV (%) = coefficient of variation; n = 4. Averages followed by the same letter, lower case in the column, upper case in the line, italics and bold between the raw material factor, do not differ from each other using the Tukey test (0.05). (Authors, 2024).

According to Chitarra and Chitarra (2006), soluble solids are basically vegetable components that can be distributed in water, including sugars, organic acids, minerals, pectin and other soluble compounds, which directly influence industrial processing, as well as the perception and ease of products by the consumer. The average values of soluble solids of samples evaluated in this experiment are close to those found in the previous experiment, with camu-camu fruits from Boa Vista and Cantá, Roraima, where values between 0.95 and 2.43 °Brix were recorded (GUIMARÃES et al., 2023; GUIMARÃES et al., 2024).

It is worth noting that the aforementioned samples are also similar to other results contained in the technical scientific literature, for example, from the sources of research on the reuse of waste from fruit processing by Silva et al. (2019) with baru (*Dipteryx alata* Vogel), Rosário et al. (2022) with albedo of passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) and Vasconcelos et al. (2023) with mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), with values of 2.57, 1.50, 1.90 °Brix, respectively.

A triple interaction (raw material*drying method*storage time) demonstrated a significant effect (0.05) on the titratable acidity variable, it is necessary to unfold the factors for a more precise assessment. Analysis of citric acid (an antioxidant) revealed that the tested prototypes exhibited notable acidity, particularly those processed through freeze-drying and oven drying methods, which are procedures commonly known for dehydrating foods, concentrating sugars and acids.

Citric acid content peaked at 6.85 ± 0.23 g per 100 g of sample at the time of processing (0 days of storage) and increased to 14.28 ± 0.84 g per 100 g of sample after 360 days of storage. This increasing trend in citric acid levels during experimental storage suggests a potential conversion of sugars into acid. The average titratable acidity values of camu-camu flour prototypes are presented in Table 6.

Table 6. Average titratable acidity values (g of citric acid 100 g⁻¹ sample) of camu-camu flours made from different raw materials, drying methods and stored frozen over 360 days

Raw material	Drying method	Storage time (days)				
		0	90	180	270	360
WF	CDO40	4.39±0.07 abD	5.65±0.13 adC	6.50±0.14 acB	8.41±0.43 abcAB	9.39±0.50 acA
	CDO60	6.52±0.14 aaD	7.37±0.10 aaC	8.00±0.05 aaB	8.68±0.28 aabA	8.68±0.21 adA
	CDO100	6.85±0.23 aaC	6.21±0.09 acC	7.47±0.10 abB	8.95±0.13 aaB	10.22±0.13 abA
	EO100	6.91±0.30 aaAB	6.87±0.10 abB	6.96±0.08 acAB	6.97±0.25 adAB	7.21±0.41 aeA
	ASD	3.89±0.07 acB	3.82±0.05 aeC	4.00±0.08 aeB	4.07±0.05 aeB	4.27±0.08 afA
	FD	6.82±1.01 aaC	7.17±0.05 aabA	7.64±0.08 aabC	8.14±0.25 acB	14.28±0.84 aaA
PPR	CDO40	3.07±0.10 baD	3.04±0.41 baD	4.35±0.13 baC	5.02±0.10 baB	5.69±0.14 bcA
	CDO60	2.92±0.06 baC	3.20±0.08 baC	3.80±0.08 bbcB	4.17±0.10 bbB	4.92±0.26 bdA
	CDO100	2.08±0.11 bbD	3.35±0.06 baC	4.17±0.10 babC	5.39±0.16 baB	6.18±0.22 bbA
	EO100	1.96±0.13 bbC	2.54±0.27 bbB	3.13±0.10 bdB	3.50±0.08 bcA	3.94±0.17 beA
	ASD	1.94±0.10 cbD	2.40±0.08 bbC	3.10±0.08 bdB	3.60±0.11 bcA	3.75±0.11 beA
	FD	3.07±0.35 caC	3.28±0.10 caC	3.70±0.11 bcC	4.37±0.17 bbB	7.17±0.58 baA
JPR	CDO40	2.01±0.10 ccC	2.64±0.14 ccB	3.07±0.13 ccB	3.64±0.27 cbA	3.85±0.20 cbA
	CDO60	2.87±0.06 bbC	3.17±0.10 bbBC	3.70±0.08 babB	4.37±0.18 baA	4.64±0.23 baA
	CDO100	1.35±0.04 ceB	1.65±0.13 ceB	2.37±0.10 cdAB	2.80±0.22 ccA	2.77±0.25 ccA
	EO100	2.63±0.07 bbC	2.90±0.08 bbcB	3.28±0.13 bbcAB	3.69±0.13 bbA	3.92±0.17 bbA
	ASD	2.70±0.04 bbB	2.72±0.05 bbcB	2.82±0.06 bcdB	3.10±0.20 ccA	3.22±0.19 ccA
	FD	3.66±0.14 baC	3.76±0.05 baB	3.80±0.08 baB	4.01±0.11 babA	4.85±0.36 caA
<i>p-value</i>		0.0001				
MSE		1.6326				
CV (%)		4.91				
Overall average		4.68				

WF = whole fruit; PPR = pulp production residue; JPR = juice production residue; CDO40 = conventional dryer oven at 40 °C; CDO60 = conventional dryer oven at 60 °C; CDO100 = conventional dryer oven at 100 °C; 100 °C; EO100 = electric oven at 100 °C; ASD = alternative solar dryer; FD = freezer dryer; MSE = mean square error; CV (%) = coefficient of variation; n = 4. Averages followed by the same letter, lower case in the column, upper case in the line, italics and bold between the raw material factor, do not differ from each other using the Tukey test (0.05). (Authors, 2024).

The titratable acidity values are considerable and desirable, since citric acid, the main acid contained in camu-camu, is widely used in industries, as it is a natural antioxidant (CHITARRA; CHITARRA, 2006). The concentration of citric acid present in prototypes of camu-camu flour is similar to records found in technical scientific literature with averages between 2.32 and 3.10 g of citric acid per 100 g of sample of freeze-dried camu-camu pulp (JULIANO et al., 2014) and between 1.59 and 4.19 g of citric acid per 100 g of sample of dried fruits and residues (GUIMARÃES et al., 2023; GUIMARÃES et al., 2024).

In this experiment, a significant increase (0.05) in the titratable acidity values of camu-camu flour prototypes was noted, and consequently, more citric acid (antioxidant). This condition is possibly justified by the degradability of the material evaluated, below which they are more acidic, a quality that was verified through the evaluation of other parameters measured here and reported in the text.

In the pH parameter, an indicator of alkalinity and the presence of free hydrogen ions, there was a significant effect (0.05) on the interaction of raw material, drying method and storage time, it is necessary to unfold the factors for a thorough analysis. Corroborating the citric acid results, the pH values of the camu-camu flour prototypes indicate that the tested samples are very acidic, reaching up to 3.20 ± 0.03 at the time of processing (0 days of storage) and 2.60 ± 0.01 after 360 days of storage. In all evaluations, regardless of the drying method or storage time, the prototypes made with whole fruits had a more acidic pH than the other samples tested (Table 7).

Table 7. Average pH values of camu-camu flour made from different raw materials, drying methods and stored frozen over 360 days

Raw material	Drying method	Storage time (days)				
		0	90	180	270	360
WF	CDO40	3.35±0.07 <i>cbcA</i>	3.23±0.02 <i>bbA</i>	3.22±0.05 <i>bbcB</i>	3.02±0.10 <i>baB</i>	2.78±0.02 <i>caC</i>
	CDO60	3.44±0.13 <i>babA</i>	3.19±0.02 <i>bbAB</i>	3.15±0.06 <i>bbcB</i>	2.90±0.22 <i>baC</i>	2.70±0.01 <i>babC</i>
	CDO100	3.32±0.04 <i>bbcA</i>	3.16±0.02 <i>cbA</i>	3.05±0.06 <i>ccB</i>	2.90±0.08 <i>baC</i>	2.72±0.04 <i>cabC</i>
	EO100	3.32±0.02 <i>cbcA</i>	3.48±0.03 <i>baA</i>	3.27±0.06 <i>bbA</i>	3.05±0.13 <i>baB</i>	2.65±0.01 <i>babC</i>
	ASD	3.61±0.06 <i>baA</i>	3.47±0.04 <i>caA</i>	3.47±0.10 <i>caA</i>	3.05±0.13 <i>baB</i>	2.81±0.02 <i>caC</i>
	FD	3.20±0.03 <i>ccA</i>	3.23±0.02 <i>bbA</i>	3.06±0.05 <i>bcB</i>	2.93±0.17 <i>baC</i>	2.60±0.01 <i>cbD</i>
PPR	CDO40	4.42±0.13 <i>aaA</i>	3.73±0.04 <i>abB</i>	3.65±0.06 <i>abB</i>	3.57±0.13 <i>aaB</i>	3.01±0.03 <i>bbcC</i>
	CDO60	3.70±0.05 <i>acA</i>	3.43±0.02 <i>acA</i>	3.27±0.05 <i>abcAB</i>	3.20±0.08 <i>acB</i>	2.95±0.01 <i>acB</i>
	CDO100	3.74±0.09 <i>abcA</i>	3.50±0.02 <i>bcAB</i>	3.45±0.06 <i>bcAB</i>	3.31±0.10 <i>abcB</i>	3.31±0.02 <i>aaB</i>
	EO100	3.92±0.14 <i>abA</i>	3.78±0.02 <i>abB</i>	3.65±0.06 <i>abB</i>	3.50±0.08 <i>aabB</i>	3.05±0.02 <i>abcC</i>
	ASD	3.90±0.06 <i>abB</i>	4.09±0.02 <i>aaA</i>	3.88±0.08 <i>aaB</i>	3.35±0.24 <i>abcC</i>	2.97±0.01 <i>bcD</i>
	FD	3.42±0.14 <i>bdA</i>	3.44±0.02 <i>acA</i>	3.34±0.04 <i>acB</i>	3.30±0.08 <i>acB</i>	3.18±0.04 <i>aabC</i>
JPR	CDO40	4.20±0.47 <i>baA</i>	3.83±0.01 <i>aaB</i>	3.66±0.05 <i>aaB</i>	3.52±0.10 <i>aaB</i>	3.27±0.02 <i>aaC</i>
	CDO60	3.57±0.04 <i>abdA</i>	3.41±0.02 <i>acA</i>	3.32±0.05 <i>abA</i>	3.06±0.11 <i>adB</i>	2.85±0.01 <i>adC</i>
	CDO100	3.80±0.01 <i>abcA</i>	3.66±0.02 <i>aabA</i>	3.62±0.05 <i>aaA</i>	3.32±0.10 <i>abcB</i>	3.05±0.01 <i>bbcC</i>
	EO100	3.76±0.06 <i>bbcA</i>	3.82±0.01 <i>aaA</i>	3.64±0.06 <i>aaB</i>	3.40±0.14 <i>aabC</i>	3.01±0.01 <i>acdD</i>
	ASD	3.66±0.04 <i>bcdA</i>	3.83±0.05 <i>baA</i>	3.62±0.05 <i>baA</i>	3.30±0.08 <i>abcB</i>	3.22±0.01 <i>aabB</i>
	FD	3.85±0.05 <i>abA</i>	3.51±0.01 <i>abcB</i>	3.34±0.04 <i>abBC</i>	3.20±0.08 <i>acdC</i>	2.96±0.02 <i>bcdD</i>
<i>p-value</i>		0.0001				
MSE		0.0624				
CV (%)		2.62				
Overall average		3.37				

WF = whole fruit; PPR = pulp production residue; JPR = juice production residue; CDO40 = conventional dryer oven at 40 °C; CDO60 = conventional dryer oven at 60 °C; CDO100 = conventional dryer oven at 100 °C; 100 °C; EO100 = electric oven at 100 °C; ASD = alternative solar dryer; FD = freezer dryer; MSE = mean square error; CV (%) = coefficient of variation; n = 4. Averages followed by the same letter, lower case in the column, upper case in the line, italics and bold between the raw material factor, do not differ from each other using the Tukey test (0.05). (Authors, 2024).

The pH values recorded in this study are similar to the data presented by Azevêdo et al. (2014) and Araújo et al. (2022), varying in the range of 2.80 to 3.10. These values were obtained from the analysis of camu-camu flour made with residues dehydrated in a conventional electric oven, subjected to different graduated temperatures. Furthermore, there is a similarity in the pH values of the samples tested in this study with the records of Aguiar and Souza (2015), where freeze-dried camu-camu samples presented an average pH of 2.61.

In relation to ascorbic acid (vitamin C), there was a significant effect (0.05) of the studied interaction (raw material*drying method*storage time), it is necessary to unfold the factors for a more precise assessment. Flours made from whole fruits showed higher concentrations of ascorbic acid, regardless of the drying method used. Organic waste generated in the agro-industrial or homemade processing of camu-camu, when processed, exhibits concentrations of ascorbic acid that may represent viable alternatives, since they constitute reused raw materials with desirable characteristics for the national and international market (Table 8).

Table 8. Average values of ascorbic acid (mg 100 g sample⁻¹) of camu-camu flours made from different raw materials, drying methods and stored frozen over 360 days

Raw material	Drying method	Storage time (days)				
		0	90	180	270	360
WF	CDO40	844.64±22.42 <i>abA</i>	721.53±23.34 <i>abA</i>	603.28±8.28 <i>abB</i>	489.91±14.92 <i>abB</i>	387.31±16.51 <i>abC</i>
	CDO60	802.15±8.21 <i>abA</i>	685.21±7.53 <i>abB</i>	572.91±8.48 <i>abC</i>	473.80±13.25 <i>abD</i>	372.94±15.18 <i>abE</i>
	CDO100	752.88±52.99 <i>abA</i>	674.45±20.03 <i>abB</i>	510.16±28.40 <i>abC</i>	377.50±18.91 <i>abD</i>	327.37±17.22 <i>abD</i>
	EO100	762.88±52.99 <i>abA</i>	690.37±23.00 <i>abB</i>	527.62±27.32 <i>abC</i>	390.21±23.13 <i>abD</i>	342.62±14.38 <i>abD</i>
	ASD	697.50±7.14 <i>abA</i>	595.83±6.55 <i>abB</i>	498.19±7.37 <i>abBC</i>	412.10±11.52 <i>abC</i>	324.29±13.20 <i>abD</i>
	FD	9647.86±591.28 <i>aaA</i>	8770.01±207.04 <i>aaB</i>	8191.10±718.41 <i>aaB</i>	6865.94±718.38 <i>aaC</i>	5195.10±375.78 <i>aaD</i>
PPR	CDO40	805.31±21.47 <i>abbA</i>	689.25±32.05 <i>abbA</i>	560.23±25.225 <i>abB</i>	461.40±10.05 <i>abB</i>	355.61±7.34 <i>abC</i>
	CDO60	764.77±9.61 <i>abbA</i>	654.56±12.79 <i>abAB</i>	523.10±40.03 <i>abB</i>	432.60±6.61 <i>abC</i>	337.93±4.59 <i>abD</i>
	CDO100	503.35±7.38 <i>abbA</i>	406.50±24.53 <i>abbB</i>	275.01±22.23 <i>abbC</i>	180.68±7.81 <i>abD</i>	98.87±8.51 <i>abE</i>
	EO100	523.42±6.74 <i>abbA</i>	427.82±23.28 <i>abbB</i>	293.29±17.59 <i>abbBC</i>	191.68±6.55 <i>abC</i>	113.12±9.99 <i>abD</i>
	ASD	511.16±9.42 <i>abbA</i>	399.86±12.18 <i>abbB</i>	338.50±38.28 <i>abbC</i>	279.18±7.44 <i>abbC</i>	248.75±6.29 <i>abD</i>
	FD	6071.43±275.44 <i>baA</i>	4917.78±172.94 <i>baB</i>	3503.47±582.09 <i>bbC</i>	2730.78±252.99 <i>caC</i>	2528.75±89.29 <i>baC</i>
JPR	CDO40	559.72±10.17 <i>bbA</i>	444.21±13.54 <i>bbB</i>	382.86±43.25 <i>abC</i>	305.45±8.14 <i>abCD</i>	275.03±6.95 <i>abD</i>
	CDO60	529.03±21.30 <i>bbA</i>	419.86±22.16 <i>bbB</i>	365.40±7.74 <i>abC</i>	293.13±12.09 <i>abD</i>	261.19±16.25 <i>abD</i>
	CDO100	328.75±19.96 <i>abA</i>	248.00±29.47 <i>bbB</i>	163.63±22.72 <i>bbC</i>	109.235±6.53 <i>abD</i>	64.23±2.79 <i>abE</i>
	EO100	342.75±22.14 <i>bbA</i>	259.84±29.58 <i>bbB</i>	176.85±21.10 <i>bbC</i>	123.59±4.50 <i>abD</i>	78.98±1.80 <i>abE</i>
	ASD	250.93±6.55 <i>bbA</i>	204.30±14.62 <i>bbB</i>	168.90±13.83 <i>bbC</i>	133.94±5.63 <i>bbD</i>	95.95±11.94 <i>abE</i>
	FD	4978.95±122.52 <i>cbA</i>	4098.88±120.58 <i>caB</i>	3537.86±56.23 <i>baC</i>	3147.85±126.76 <i>baD</i>	2672.10±104.08 <i>baE</i>
<i>p-value</i>		0.0001				
MSE		7.1574				
CV (%)		13.54				
Overall average		1196.18				

WF = whole fruit; PPR = pulp production residue; JPR = juice production residue; CDO40 = conventional dryer oven at 40 °C; CDO60 = conventional dryer oven at 60 °C; CDO100 = conventional dryer oven at 100 °C; EO100 = electric oven at 100 °C; ASD = alternative solar dryer; FD = freezer dryer; MSE = mean square error; CV (%) = coefficient of variation; n = 4. Averages followed by the same letter, lower case in the column, upper case in the line, italics and bold between the raw material factor, do not differ from each other using the Tukey test (0.05).

At the beginning of the experiment (0 days of storage), the camu-camu flour prototypes presented values between 250.93 ± 10.24 and 9647.86 ± 55.04 mg of ascorbic acid 100 g^{-1} , demonstrating a large range between values and highlighting the difference in effects tested. At the end of the experiment, it was found that the camu-camu flour prototypes had ascorbic acid values of 64.23 ± 5.22 to 5195.10 ± 11.24 mg of ascorbic acid 100 g^{-1} . A decreasing trend of ascorbic acid was found over the days of experimental storage, possibly due to oxidative degradation.

However, It is worth noting that, in all evaluations carried out, the highest concentrations of ascorbic acid were recorded in prototypes of camu-camu flour made with whole fruit. However, the integral valorization of raw materials and residues constitutes an environmental, technical, economic, and social strategy, which must be based on the determination of chemical properties of all parts of these materials. From the pulp to the peel, camu-camu is a raw material with wide perspectives (SANTOS et al., 2022).

Although the concentrations of ascorbic acid were lower in flours made from residues of pulp and juice production, the full utilization of the fruit, along with the valorization, processing, and reuse of residues is desirable. This approach allows for the inclusion of these residues as raw material in other processes across various productive sectors, reducing negative impacts and optimizing resources.

4 FINAL CONSIDERATIONS

The drying methods employed in this experiment exhibit a notable reduction (0.05) in the water content of camu-camu fruits and organic residues generated during processing, resulting in a flour-like consistency. This not only enhances their shelf life but also reduces environmental impact by minimizing waste.

The organic residues produced during both agro-industrial and homemade camu-camu processing exhibit characteristics highly sought after in both national and international markets. This underscores the potential for valorization of by-products within the supply chain, contributing to both environmental sustainability and economic viability.

The dried products evaluated demonstrate favorable attributes for application within the agricultural and food industries. Whether utilized individually or incorporated into various recipes, they offer commendable acceptance due to their ability to enhance color, impart natural sweetness, provide valuable antioxidants and bioactive compounds.

Storing camu-camu flour prototypes in a refrigerated environment, such as a freezer, effectively preserves their organoleptic qualities, allowing for extended shelf life over

considerable periods. This ensures the maintenance of product quality and nutritional integrity, thereby can be enhancing consumer satisfaction and market competitiveness.

Camu-camu flour prototypes obtained through freeze-drying not only deliver a visually appealing product rich in bioactive compounds but also exhibit superior retention of organoleptic properties over prolonged storage periods under the tested conditions. This highlights the efficacy of freeze-drying as a preservation method, facilitating the production of high-quality, value-added products with enhanced market appeal and prolonged shelf life.

REFERENCES

- AGUIAR, J. P. L.; SOUZA, F. C. A. Antioxidants, Chemical Composition and Minerals in Freeze-Dried Camu-Camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh) Pulp. **Food and Nutrition Sciences**, v. 6, 869-874, 2015.
- ANVISA. **Cartilha sobre Boas Práticas para Serviços de Alimentação** (Resolução No. 216/2004). ANVISA, 2004
- ARAÚJO, P. A. da C.; GARCIA, V. A. dos S.; OSIRO, D.; FRANÇA, D. de S.; VANIN, F. M.; CARVALHO, R. A. de. Active compounds from the industrial residue of dry camu-camu. **Food Science and Technology**, v. 42, e05321, 2022.
- AZEVEDO, J. C. S. de; FUJITA, A.; OLIVEIRA, E. L. de; GENOVESE, M. I.; CORREIA, R. T. P. Dried camu-camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. McVaugh) industrial residue: A bioactive-rich Amazonian powder with functional attributes. **Food Research International**, v. 62, 934-940, 2014.
- BARBALHO, S. M.; SANTOS, V. V. dos; JOSHI, R. K.; GUIGUER, E. L.; ARAÚJO, A. C.; OSHIIWA, M.; FIORINI, A. M. R.; OTTOBONI, A. M. B.; NICOLAU, C. C. T. Effects of Camu-camu (*Myrciaria dubia*) on human health: A systematic review. **International Journal of Herbal Medicine**, v. 9, n. 1, p.87-92, 2021.
- BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF: [s.n], 2010.
- CHAGAS, E. A.; LOZANO, R. M. B.; CHAGAS, P. C.; BACELAR-LIMA, C. G.; GARCIA, M. I. R.; OLIVEIRA, J. V.; SOUZA, O. M. MORAIS, B. S.; ARAÚJO, M. da C. da R. Intraspecific variability of camu-camu fruit in native populations of northern Amazonia. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15, p. 265-271, 2015.
- CHITARRA, M. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: Glossário**. Lavras, MG: Editora, UFLA, 2006.
- FREITAS, A. R. de. **Estatística experimental na agropecuária**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. 460 p.
- GARCIA, V. A. S.; BORGES, J. G.; VANIN, F. M.; CARVALHO R. A. Vitamin C stability in acerola and camu-camu powder obtained by spray drying. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, e2019237, 2020.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Revista Ciência & Saúde coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1503-1510, 2012.

GRIGIO, M.L.; CHAGAS, E.A.; RATHINASABAPATHI, B.; CHAGAS, P.C.; SILVA, A.R. V. da; SOBRAL, S.T.M.; OLIVEIRA, R.R. de. Qualitative evaluation and biocompounds present in different parts of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit. **African Journal of Food Science**, v. 11, n. 5, p. 124-129, 2017.

GUIMARÃES, P. V. P.; CHAGAS, E. A.; DURIGAN, M. F. B.; GRIGIO, M. L.; SOUSA, R. de C. P. de. Rendimento e caracterização física de resíduos dos processos de extração de polpa e produção de suco caseiro de camu-camu. In: VERAS, A. T. de R.; SANTOS, É. R. dos; LACERDA, E. G.; SEABRA, G. de F.; GALDINO, L. K. A.; GALDINO, L. K. A.; SOUZA, V. de (org.). **Coletânea a Conferência da Terra: línguas, ritos e protagonismos nos territórios indígena: educação ambiental, sustentabilidade e território tradicional**. Boa Vista: Editora da UFRR, 2020. p. 244.254.

GUIMARÃES, P. V. P.; DURIGAN, M. F. B.; CHAGAS, E. A.; GRIGIO, M. L.; SILVA, T. Í. N. da; MELO FILHO, A. A. de; MARQUES, C. S.; MATTIONI, J. A. M. Camu-Camu Flour Processed in Conventional Oven and Solar Dryer: Quality Product and Accessible Low Technology Products as an Opportunity to Family Agriculture. **Journal of Agricultural Science**, v. 15, n. 6; 2023.

GUIMARÃES, P. V. P.; CHAGAS, E. A.; DURIGAN, M. F. B.; GRIGIO, M. L.; ZANCHETTA, J. J.; MELO FILHO, A. A. de. Formulação e caracterização agroindustrial de farinha de mandioca d'água enriquecida com protótipos de farinha de camu-camu. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v.16, n.1, p. 488-511, 2024.

HOMMA, A. K. O. **Amazônia: criando uma nova natureza**. In: SCARLATO, F. C.; EVANGELISTA, R. A. de O.; ARAÚJO, W. F. (Org.). **Amazônia: terra e água degradação e desenvolvimento sustentável**. Boa Vista: Editora UFRR, 2012. p. 101-122.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. (4ª ed.) São Paulo, SP: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

JULIANO, F. F.; SILVA, P. P. M. da; CASEMIRO, R. C.; COSTA, M. H.; SPOTO, M. H. F. Polpa de camu-camu liofilizada e armazenada em diferentes embalagens. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 08, n. 02: p. 1374-1384, 2014.

KANESHIMA, T., MYODA, T., TOEDA, K., FUJIMORI, T., NISHIZAWA, M. Antimicrobial constituents of peel and seeds of camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v. 81, n. 8, p. 1461-1465, 2017.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 6ª ed., Piracicaba, 2012, 171p.

LAMIDI, R. O. L.; PATHARE, P. B.; WANG, Y. D.; ROSKILLY, A. P. Recent advances in sustainable drying of agricultural produce: A review. **Applied Energy**, v. 233–234, p. 367-385, 2019.

LANGLEY, P.C.; PERGOLIZZI JR; TAYLOR JR, J.V. R, RIDGWAY, C. R. Antioxidant and associated capacities of camu camu (*Myrciaria dubia*):a systematic review. **Journal of Alternative and Complementary Medicine**, v. 21, p. 8-14, 2015.

LEITÃO, B. R. G. de S.; LEITÃO, C. S. de S. Sustentabilidade e elaboração de novos produtos através do aproveitamento de resíduo alimentar. **Revista de Produção Acadêmico-Científica**, v. 2, n. 2, p. 97-104, 2015.

MONTERO, I. F., CHAGAS, E. A., MELO FILHO, A. A. de, SARAIVA, S. A. M. de; SANTOS, R. C., CHAGAS, P. C., DUARTE, E. D. R. da S. Evaluation of total phenolic compounds and antioxidant activity in Amazon fruit. **Chemical Engineering Transactions**, v. 64, p. 649-654, 2018.

NASCIMENTO FILHO, W. B.; FRANCO, C. R. Avaliação do potencial dos resíduos produzidos através do processamento agroindustrial no Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1968-1987, 2015.

OBREGÓN, P. A.; OBREGÓN, A. F. Obtención de un alimento liofilizado a base de maracuyá (*Passiflora edulis*) y camu camu (*Myrciaria dubia*). **Journal of Agro-Industry Sciences**, v. 1, p.17–24, 2019.

ORDOÑEZ-SANTOS, L. E.; AGUILAR, P. H.; SOLARTE, O. D. R.; JARAMILLO, M. E. A. Concentración de carotenoides totales en residuos de frutas tropicales. **Producción + Limpia**, v. 9, n. 1, p. 91-98, 2014.

PIMENTEL-GOMES F. **Curso de estatística experimental**. FEALQ: Piracicaba. 451p, 2009.

PIÑEDO, P. M.; DELGADO, V. C.; FARROÑAY, P. R.; DEL CASTILLO, T. D.; IMAN, V. S.; VILLACRÉS, V. J.; FACHING, M. L.; OLIVA, C. C.; ABANTO, R. C.; BARDALES, L. R.; VEJA, V. R. **Camu camu (*Myrciaria dubia*, *Myrtaceae*) aportes para su aprovechamiento sostenible en la Amazonia peruana**. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, PROBOSQUES, 2010. 135p.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Available in: <https://www.r-project.org/>.

RANGANNA, S. **Analysis and quality control for fruit and vegetable products**. Tata McGraw-Hill Publishing, p. 1112, 1986.

ROSÁRIO, R. C. do; SOARES, S. D.; MARTINS, M. G.; NASCIMENTO, F. das C. A. do; SILVA JÚNIOR, J. O. C.; TEIXEIRA-COSTA, B. E.; FIGUEIRA, M. de S.; SANTOS, O. V. dos. Bioactive, technological-functional potential and morphological structures of passion fruit albedo (*Passiflora edulis*). **Food Science and Technology**, v. 42, e22222, 2022.

SANTOS, I. L.; MIRANDA, L. C. F.; RODRIGUES, A. M. da C.; SILVA, L. H. M. da; 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, n. 15, e131290, 2022.

SANTOS, N. S.; SILVA, F. L. A. T. da; LEITE NETA, M. T. S. Corantes naturais: importância e fontes de obtenção. **RECIMA21 Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, n. 3, p. 1-15, 2022.

SILVA, D. V.; OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; SILVA, M. A. P. da; BARCELOS, K. R. Nutritional quality of the epicarp and mesocarp flours of baru fruits submitted to drying. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.1, p.65-70, 2019.

SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; SILVA, M. de J. M. da; LIMA, A. de. Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 3, p. 554-559, 2011.

VASCONCELOS, K. M. C. S. G.; COSTA, J. G.; PAVÃO, J. M. S. J.; FONSECA, S. A.; MIRANDA, P. R. B.; MATOS-ROCHA, T. J.; FREITAS, J. D.; SOUSA, J. S.; MELO, I. S. V.; SANTOS, A. F. Evaluation of nutritional composition of flour residue of mangaba processing. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, e248931, 2023.

YUYUAMA, K. A cultura de camu-camu no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 2, p. 335-690, 2011.

7. CONCLUSÕES

Os frutos de camu-camu avaliados apresentam características de qualidade desejáveis, compatíveis com os resultados relatados na literatura técnico-científica. Nas condições testadas, verificou-se uma diferença estatisticamente significativa (0,05) na qualidade agroindustrial e nutricional dos protótipos de farinhas à base de camu-camu, em função da matéria-prima utilizada e do método de secagem aplicado.

A adaptação do secador solar para o processamento de frutos e resíduos de camu-camu mostrou-se eficaz, sendo a secagem solar uma alternativa técnica viável para a secagem desses materiais devido ao seu baixo custo e à alta qualidade obtida. Essa técnica é especialmente vantajosa em regiões produtoras de camu-camu com ampla disponibilidade de luz solar durante o ano.

As farinhas à base de frutos inteiros e resíduos do beneficiamento de camu-camu apresentam concentrações satisfatórias de macro e micronutrientes, comparando-se, e em alguns elementos superando, os resultados obtidos em polpas congeladas, frutos *in natura*, pós de sementes bioprocessadas e frutos inteiros de camu-camu.

O processamento de farinhas à base de frutos inteiros e resíduos do beneficiamento de camu-camu é uma alternativa promissora para a industrialização e popularização dessa fruta, especialmente em regiões produtoras. Esse aproveitamento maximiza suas qualidades agroindustriais e funcionais, além de contribuir para a segurança nutricional local.

8. REFERÊNCIAS

- ABANTO-RODRIGUEZ, C.; CHAGAS, E.A.; SIQUEIRA, R.H. da S.; ARAÚJO, W.F.; ZBOROWSKI, L.G.C.; SOUZA, C.C.P.; SAKASAKI, R.T.; MONTEIRO NETO, L.L.; SÁNCHEZ-CHOY, J. Element contents in camu-camu plants (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh) fertirrigateds with different doses of nitrogen. **Acta Agronomica**, v. 67, n. 1, 79-87. (2018).
- AGUIAR, J.P.L.; SOUZA, F. das C. do A. Antioxidants, Chemical Composition and Minerals in Freeze-Dried Camu-Camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh) Pulp. **Food and Nutrition Sciences**, v. 6, n. 1, p. 869-874, 2015.
- ALASALVAR, C.; SHAHIDI, F. Composition, phytochemicals, and beneficial health effects of dried fruits: an overview. In: ALASALVAR, C., SHAHIDI, F. Dried Fruits: **Phytochemicals and Health Effects**, (pp. 1-8), 2013.
- ALVARES, V. de S. **Manual de classificação de farinha de mandioca**. Brasília: Embrapa, 2014.
- AWAD, A.M.; JAGER, A. de; WESTING, L.M. Flavonoid and chlorogenic acid levels in apple fruit: characterisation of variation. **Scientia Horticulturae**, Mission, v.83, p. 249-263, 2000.
- AZEVEDO, J.C.S. de; FUJITA, A.; OLIVEIRA, E.L. de; GENOVESE, M.I.; CORREIA, R.T.P. Dried camu-camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. McVaugh) industrial residue: A bioactive-rich Amazonian powder with functional attributes. **Food Research International**, v. 62, p. 934–940, 2014.
- BARBA, R. Y. B.; SANTOS, Nivaldo dos. A Bioeconomia no século XXI: Reflexões sobre Biotecnologia e Sustentabilidade no Brasil. *Revista de Direito e Sustentabilidade*, v. 6, n. 2, p. 26-42, 2020.
- BASUMATARY, B.; ROY, M.; BASUMATARY, D.; NARZARY, S.; DEURI, U.; NAYAK, P.K.; KUMAR, N. Design, Construction and Calibration of Low Cost Solar Cabinet Dryer. **International Journal of Environmental Engineering and Management**, v. 4, n. 4, p. 351-358, 2013.
- BENTLEY, R.; HASLAM, E. The Shikimate Pathway: a metabolic tree with many branches. **Biochemistry and Molecular Biology**, v. 25, n. 5, p. 307-384, 1990.
- BOUKHERS, I.; BOUDARD, F.; MOREL, S.; SERVENT, A.; PORTET, K.; GUZMAN, C.; VITOU, M.; KONGOLO, J.; MICHEL, A.; POUCHERET, P. Nutrition, healthcare benefits and phytochemical properties of cassava (*Manihot esculenta*) leaves sourced from three countries (Reunion, Guinea, and Costa Rica). **Foods**, v. 11, n. 14, p. 1-15, 2022.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v. 28, p. 25-30, 1995.
- BRASIL. **Métodos Físico-químicos para análise de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005 (Série A. Normas e Manuais Técnicos). IV edição.
- BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF: [s.n], 2010.

- BRASIL. **Alimentos regionais brasileiros** (2a ed.). Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2015.
- BRENNAN, J. G. **Food processing handbook**. Weinheim: Wiley-VCH, 602 p., 2006.
- CHAGAS, E. A.; LOZANO, R. M. B.; CHAGAS, P. C.; BACELAR-LIMA, C. G.; GARCIA, M. I. R.; OLIVEIRA, J. V.; SOUZA, O. M. MORAIS, B. S.; ARAÚJO, M. da C. da R. Intraspecific variability of camu-camu fruit in native populations of northern Amazonia. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15, p. 265-271, 2015.
- CHAGAS, E.; VANIN, F.; CARVALHO, R.A. de. Technological functional properties of camu-camu residue flour. **Anais do Simpósio Latino Americano de Ciência dos Alimentos**, v. 12, 2018.
- CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. D. O.; MATHIAS, E. D. A.; JÚNIOR, A. G. A. R. Qualidade da farinha de mandioca do grupo seca. **Food Science and Technology**, v. 26, p. 861-864, 2006.
- CHITARRA, M.I.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: glossário**. Lavras, MG: Editora UFLA, 2005.
- CHONG, C.H.; LAW, C.L. Drying of Exotic Fruits, Vegetables and Fruits - Volume 2, Jangam, S. V., Law, C. L., Mujumdar, A. S. (Eds.), **Drying of Foods, Vegetables and Fruits** (pp. 1-42), 2010.
- CONAB. Conjuntura mensal: **mandioca: raiz, farinha e fécula**. Brasília, 2017. 9p
- CORRÊA, J.M.S.; ROCHA, M.S.; SANTOS, A.A.; SERRÃO, E.M.; ZACARDI, D.M. Caracterização da pesca artesanal no Lago Juá, Santarém, Pará. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, p. 61-74, 2018.
- DECHEN, A.R.; HAAG, H.P.; CARMELLO, Q.A. de C. Funções dos microelementos nas plantas. In: Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P. de. **Microelementos na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991.
- DO COUTO OLIVEIRA, C. A volta da fome no Brasil. **Revista do Núcleo de Estudos de Economia Catarinense**, v. 11, n. 21, 2022.
- EKECHUKWU, O.V. Review of solar-energy drying systems I: an overview of drying principles and theory. **Energy Conversion & Management**, v. 40, p. 593-613, 1999.
- EVANGELISTA, J. **Tecnologia de Alimentos** (2a ed.). São Paulo, SP: Editora Atheneu, 2008.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2022. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2022**. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. Rome, FAO.
- FIALHO, J. de F.; VIEIRA, E.A. **Mandioca no Cerrado: orientações técnicas**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 208, 2011.
- FREITAS, A. R. de. **Estatística experimental na agropecuária**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. 460 p.
- FREITAS, C.A.B.; SILVA, A.S.; ALVES, C.N.; NASCIMENTO, W.M.O.; LOPES, A.S.; LIMA, M.O.; MULLER, R.C.S. Characterization of the Fruit Pulp of Camu-Camu (*Myrciaria*

dubia) of Seven Different Genotypes and Their Rankings Using Statistical Methods PCA and HCA. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 27, n. 10, p.1838-1846, 2016.

FREITAS, B.S.M. de; CAVALCANTE, M.D.; CAGNIN, C.; SILVA, R.M; PLÁCIDO, G.R.; OLIVEIRA, D.E.C. de. Physical-chemical characterization of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) foam-mat drying at different temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p.430-435, 2018.

FREITAS, C.G.; FARIAS, C.S.; VILPOUX, O.F. A produção camponesa de farinha de mandioca na Amazônia sul ocidental. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 29-42, 2011.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Revista Ciência & Saúde coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1503-1510, 2012.

GRIGIO, M.L.; DURIGAN, M.F.B.; CHAGAS, E.A.; VASCONCELOS, L.; SOUZA, A.A.; NASCIMENTO, C.R. Determinação do ponto de colheita de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh). In: XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2012, Bento Gonçalves. **Anais do XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura**, 2012.

GRIGIO, M.L.; CHAGAS, E.A.; RATHINASABAPATHI, B.; CHAGAS, P.C.; SILVA, A.R. V. da; SOBRAL, S.T.M.; OLIVEIRA, R.R. de. Qualitative evaluation and biocompounds present in different parts of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit. **African Journal of Food Science**, v. 11, n. 5, p. 124-129, 2017.

GUERRERO-ROMERO, F.; SIMENTA-MENDÍA, L.E.; MARTÍNEZ-AGUILAR, G.; SÁNCHEZ-MERAZ, M.A.; GAMBOA-GÓMEZ, C.I. Hypoglycemic and antioxidant effects of five commercial turmeric (*Curcuma longa*) supplements. **Journal of Food Biochemistry**, 00:e13389, 2020.

GUIMARÃES, P.V.P.; CHAGAS, E.A.; DURIGAN, M.F.B.; GRIGIO, M.L.; SOUSA, R. de C.P. de. Rendimento e caracterização física de resíduos dos processos de extração de polpa e produção de suco caseiro de camu-camu. In: **Coletânea a Conferência da Terra: línguas, ritos e protagonismos nos territórios indígena: educação ambiental, sustentabilidade e território tradicional**. Boa Vista: Editora da UFRR, 2020.

HOMMA, A.K.O. **Amazônia: criando uma nova natureza**. In: SCARLATO, F.C.; EVANGELISTA, R.A. de O.; ARAÚJO, W.F. (Org.). **Amazônia: terra e água degradação e desenvolvimento sustentável**. Boa Vista: Editora UFRR, 2012. p. 101-122.

HURTADA, W.A.; BARRION, A.S.A.; NGUYEN-ORCA, M.F.R.; ORILLO, A.T.O.; MAGPANTAY, JR.R.L.; GERONIMO, G.D.; RODRIGUEZ, F.M. Physicochemical properties, nutritional value, and sensory quality of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) rice-like grains. **Food Research**, v. 4, n. 5, p. 1623-1629, 2020.

INOUE, T.; KOMODA, H.; UCHIDA, T.; NODE, K. Tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*) has anti-oxidative and anti-inflammatory properties. **Journal of Cardiology**, v. 52, p. 127-132, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

JULIANO, F.F.; SILVA, P.P.M. da; CASEMIRO, R.C.; COSTA, M.H.; SPOTO, H.F. Polpa de camu-camu liofilizada e armazenada em diferentes embalagens. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 8, n. 2, p. 1374-1384, 2014

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica “Ceres” Ltda., 1985, 492p.

LEITÃO, B.R.G. de S.; LEITÃO, C.S. de S. Sustentabilidade e elaboração de novos produtos através do aproveitamento de resíduo alimentar. *Revista de Produção Acadêmico-Científica*, v. 2, n. 2, p. 97-104, 2015.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 6ª ed., Piracicaba, 2012, 171p.

MODESTO JÚNIOR, M. de S.; ALVES, R.N.B. Rentabilidade de farinhas no estado do Pará. In: EMBRAPA (Ed.). **Cultura da Mandioca - Aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria**. Brasília/DF, p. 185–205, 2016.

JUSTI, K.C.; VISENTAINER, J.V.; SOUZA, N.E. de; MATSUSHITA, M. Nutritional composition and vitamin C stability in stored camu-camu (*Myrciaria dubia*) pulp. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 50, n. 4, p. 405-408, 2000.

KANESHIMA, T.; MYODA, T.; TOEDA, K.; FUJIMORI, T.; NISHIZAWA, M. Antimicrobial constituents of peel and seeds of camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v. 81, n. 8, p. 1461-1465, 2017.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 6ª ed., Piracicaba, 2012, 171p.

LANGLEY, P.C.; PERGOLIZZI JR; J.V., TAYLOR JR, R., RIDGWAY, C. Antioxidant and associated capacities of camu camu (*Myrciaria dubia*): a systematic review. **Journal of Alternative and Complementary Medicine**, v. 21, p. 8-14, 2015.

LEITÃO, B.R.G. de S.; LEITÃO, C.S. de S. Sustentabilidade e elaboração de novos produtos através do aproveitamento de resíduo alimentar. **Revista de Produção Acadêmico-Científica**, v. 2, n. 2, p. 97-104, 2015.

LINDER, S.A proposal for the use of standardized methods for chlorophyll determinations in ecological and ecophysiological investigations. **Physiologia Plantarum**, v. 32, n. 2, p. 154-156, 1974.

MACHADO, A.L.; FRANÇA, A.B.; RANGEL, T.L.V. Carestia, mapa da fome e o agravamento da insegurança alimentar e nutricional em tempos de pandemia: o retrocesso brasileiro na política de combate à fome. **Boletim de Conjuntura**, v. 8, n. 24, p. 87–101, 2021.

MAHAN, L.K.; RAYMOND, J.L. **Krause Alimentos, Nutrição e Dietoterapia** (14th ed.). Elsevier Brasil, 2018.

MOHIDIN, S.R.N.S.P.; MOSHAWIH, S.; HERMANSYAH, A.; ASMUNI, M.I.; SHAFQAT, N.; MING, L.C. Cassava (*Manihot esculenta* Crantz): a systematic review for the pharmacological activities, traditional uses, nutritional values, and phytochemistry. **Journal of**

Evidence-Based Integrative Medicine, v. 28, p. 1-26, 2023.

MONTERO, I.F.; CHAGAS, E.A.; MELO FILHO, A.A. de; SARAIVA, S.A.M. de; SANTOS, R.C.; CHAGAS, P.C.; DUARTE, E.D.R. da S. Evaluation of total phenolic compounds and antioxidant activity in Amazon fruit. **Chemical Engineering Transactions**, v. 64, p. 649-654, 2018.

MONTERO, I.F.; CHAGAS, E.A.; MELO FILHO, A. A. de; MALDONADO, S.A.S.; SANTOS, R.C. dos; RIBEIRO, P.R.E.; CHAGAS, P.C.; MELO, A.C.G.R. de. Characterization of Bioactive Compounds in Northern Amazon Fruits. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 9, p. 134-144, 2019.

NACHTIGALL, Yasmin Dal Lago et al. Estratégias em promoção aos objetivos de desenvolvimento sustentável: Experiências com a reprodução de tecnologias sociais no Brasil. **Economia e desenvolvimento**, v. 32, n. 8, p. 01-10, 2020.

NASCIMENTO FILHO, W.B.; FRANCO, C.R. Avaliação do potencial dos resíduos produzidos através do processamento agroindustrial no Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1968-1987, 2015.

NETO GRASSI, R. Segurança alimentar, biotecnologia e política agrária. **Revista Luso-Brasileira de Direito do Consumo**, v. 3, n. 1, 2013.

ORDOÑEZ-SANTOS, L.E.; AGUILAR, P.H.; SOLARTE, O.D.R.; JARAMILLO, M.E.A. Concentración de carotenoides totales en residuos de frutas tropicales. **Producción + Limpia**, v. 9, n. 1, p. 91-98, 2014.

PASSOS, C.J.S.; MERGLER, D.; GASPAR, E.; MORAIS, S.; LUCOTTE, M.; LARRIBE, F.; GROSOBOIS, S. Caracterização do consumo alimentar de uma população ribeirinha na Amazônia Brasileira. **Revista Saúde e Ambiente**, v. 4 (1/2), p. 72-84, 2001.

PIÑEDO, P.M.; DELGADO, V.C.; FARROÑAY, P.R.; DEL CASTILLO, T.D.; IMAN, V.S.; VILLACRÉS, V.J.; FACHING, M.L.; OLIVA, C.C.; ABANTO, R.C.; BARDALES, L.R.; VEJA, V.R. **Camu camu (*Myrciaria dubia*, Myrtaceae) aportes para su aprovechamiento sostenible en la Amazonia peruana**. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, PROBOSQUES, 2010. 135p.

PEREIRA, S.L.; ROCHA, C.G.S.; FORMIGOSA, M.M. Etnofísica dos mecanismos de alavancas utilizados pelos agricultores na produção da farinha de mandioca, Senador José Porfírio, Pará. **Revista Insignare Scientia-RIS**, v. 3, n. 5, p. 152-169, 2020.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Available in: <https://www.r-project.org/>

RANGANNA, S. **Analysis and quality control for fruit and vegetable products**. Tata McGraw-Hill Publishing, 1112 p, 1986.

REIS, D.S., FIGUEIREDO NETO, A., FERRAZ, A. de V., FREITAS, S.T. de (2017). Produção e estabilidade de conservação de farinha de acerola desidratada em diferentes temperaturas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2015083, 2017.

RIBEIRO, P.F. de A., STRINGHETA, P.C., OLIVEIRA, E.B. de, MENDONÇA, A.C., SANT'ANA, H.M.P. Teor de vitamina C, β -caroteno e minerais em camu-camu cultivado em diferentes ambientes. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 567-572, 2016.

RINALDI, M.M.; FIALHO, J. de F.; VIEIRA, E.A.; OLIVEIRA, T.A.R. de; ASSIS, S.F. de O. Utilização de ácido cítrico para a conservação pós-colheita de raízes de mandioca. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. e2017072, 2017.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.; MORAIS, S.M. de; SAMPAIO, C. de G.; JIMÉNEZ, J.P.; SAURA-CALIXTO, F.D. **Metodologia Científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP)**. Comunicado Técnico, Embrapa Agroindústria Tropical. 2006. 4 p.

SANTOS, M.D.; BLATT, C.T.T. Teor de flavonóides e fenóis totais em folhas de *Pyrostegia venusta* Miers. de mata e de Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 135-140, 1998.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Mandioca (Farinha e Fécula) - Séries Estudos Mercadológicos**. Brasília/DF, p. 7-32, 2012.

SHARMA, A.; CHEN, C.R.; LAN, N.V. Solar-energy drying systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 1185–1210, 2009.

SHRINET, K.; SINGH, R.K.; CHAURASIA, A.K.; TRIPATHI, A.; KUMAR, A. Bioactive compounds and their future therapeutic applications. In: **Natural Bioactive Compounds**, p. 337-362, 2021.

SILVA, M.L.A. et al. Vulnerabilidade social, fome e pobreza nas Regiões Norte e Nordeste do Brasil. **Políticas públicas, educação e diversidade: uma compreensão científica do real**, v. 1, n. 1, p. 1083-1105, 2020.

SILVA, A.G.H.; PIRES, L.V.; COZZOLINO, S.M.F. Cálcio. In COZZOLINO, S.M.F., **Biodisponibilidade de elementos** (5a ed.) (pp. 599-636). Barueri, SP: Manole, 2016.

SILVA, V.X.; PONTES, J.; FLACH, A.; LIMA, C.G.B.; CHAGAS, E.A.; NEVES, L.C. Composição quantitativa de pigmentos durante o desenvolvimento de frutos de camu-camu (*Myrciaria dubia*). In: XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2012, Bento Gonçalves. **Anais do XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura**, 2012.

SINGLETON, V.L.; ORTHOFER, R; LAMUELA-RAVENTÓS, R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology: Oxidants and Antioxidants**. New York: Academic Press, v. 299, p. 152-178, 1999.

SMIDERLE, O.J.; SOUSA, R. de C.P. de. Teor de vitamina C e características físicas do camu-camu em dois estádios de maturação. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 2, n. 2, p. 61-63, 2008.

SOUSA, R. de C.P. de. **Bioprospecção e desenvolvimento de produtos com potencial biotecnológico a partir das sementes de *Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh, Myrtaceae, da Amazônia Setentrional**. 135 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2016.

SOUZA, A. das G.C. de; SOUSA, N.R. **Cupuaçuzeiro**. In: BRUKNER, C.H. Melhoria de fruteiras tropicais. Viçosa: UFV, p. 251-266, 2002.

SOUZA, M.P.; LIMA, B.R. de; SÁ, I.S.C.; FREITAS, F.A. de. Bioactive compounds isolated from Amazonian fruits and their possible applications. In: **Studies in Natural Products Chemistry**, Elsevier, v. 79, p.205-239, 2023.

STORCK, C.R.; BASSO, C.; FAVARIN, F.R.; RODRIGUES, A.C. Qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 277-284, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.A.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. (6a ed.). Porto Alegre, RS: Artmed, 2017.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p.

TOCI, A.T.; ZANONI, M.V.B. Corantes alimentícios. In: ZANONI, M.V.B., YAMANAKA, H. (Eds.), **Corantes: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento** (p. 37-54). São Paulo, SP: Cultura Acadêmica, 2016.

TROEH, F.R.; THOMPSON, L.M. **Solos e fertilidade do solo**. (6a ed.). São Paulo, SP: Andrei, 2007.

UNICAMP. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. NEPA - UNICAMP. – 4ª ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA - UNICAMP, 2011. 161 p.

VENTURINI, M.T.; SANTOS, L.R.; OLIVEIRA, E.J. Development of a diagrammatic scale for the evaluation of postharvest physiological deterioration in cassava roots. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 658-668, 2015.

VRANOVÁ, E.; COMAN, D.; GRUISSEM, W. Network analysis of the MVA and MEP pathways for isoprenoid synthesis. **Annual Review of Plant Biology**, v. 64, n. 1, p. 665-700, 2013.

WHITHAM, F.H.; BLAYDES, D.F.; DEVLIN, R.M. **Experiments in plant physiology** (pp. 55-58). New York: D. Van Nostrand Company, 1971.

WHITNEY, E.; ROLFES, S.R. **Nutrição: entendendo os elementos**. (10a ed.) Brasil: Cengage Learning.

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 Amazonica**, v. 33, n. 4, p. 549-554, 2003.

YUYAMA, L.K.O.; MAEDA, R.N.; PANTOJA, L.; AGUIAR, J.P.L.; MARINHO, H.A. Processamento e avaliação da vida-de-prateleira do tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) desidratado e pulverizado. **Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas**, v. 28, n. 2, p. 408-412, 2008.

YUYUAMA, K. A cultura de camu-camu no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 2, p. 335-690, 2011.

ZAPATA, S.M.; DUFOUR, J.P. Camu-camu *Myrciaria dubia* (HBK) McVaugh: chemical composition of fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 61, p. 349–351, 1993.