



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE
E BIOTECNOLOGIA - REDE BIONORTE**



**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UM HIDROGEL
COMPOSTO DE GUARANÁ (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) E CARÁ-DE-
ESPINHO (*Dioscorea altíssima* Lam) COM POTENCIAL
ANTIOXIDANTE**

IVAN DE JESUS FERREIRA

Manaus – AM

2023

IVAN DE JESUS FERREIRA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UM HIDROGEL
COMPOSTO DE GUARANÁ (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) E CARÁ-DE-
ESPINHO (*Dioscorea altissima* Lam) COM POTENCIAL
ANTIOXIDANTE**

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

Orientador (a): Prof.^a Dr.^a. Marne Carvalho de Vasconcellos

Manaus – AM

2023

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Ferreira, Ivan de Jesus

Caracterização físico-química de um hidrogel composto de guaraná (Paullinia cupana var. sorbilis) e cará-de-espinho (Dioscorea altissima Lam) com potencial antioxidante. / Ivan de Jesus Ferreira – Manaus, 2023

105 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Marne Carvalho de Vasconcellos

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede Bionorte - 2023

1. Amazônia; 2. Guaraná; 3. Cará-de-espinho; 4. Hidrogel; 5. Antioxidante; I. Vasconcellos, Marne Carvalho de. II. Universidade Federal do Amazonas
- III. Título

F383c

IVAN DE JESUS FERREIRA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UM HIDROGEL
COMPOSTO DE GUARANÁ (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) E CARÁ-DE-
ESPINHO (*Dioscorea altissima* Lam) COM POTENCIAL
ANTIOXIDANTE**

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

Orientador (a): Prof.^a Dr.^a Marne Carvalho de Vasconcellos

Aprovado em: **10/02/2023**

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **MARNE CARVALHO DE VASCONCELLOS**
Data: 10/02/2023 13:15:33-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.^a Dr.^a Marne Carvalho de Vasconcellos
Presidente

Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente
 **EMERSON SILVA LIMA**
Data: 10/02/2023 13:19:30-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Emersom Silva Lima

Membro Titular Interno

Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente
 **FRANCISCA DAS CHAGAS DO AMARAL SOU;**
Data: 10/02/2023 19:48:20-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.^a Dr.^a Francisca das Chagas do Amaral

Membro Titular Interno

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

Documento assinado digitalmente
 **JAMAL DA SILVA CHAAR**
Data: 10/02/2023 13:38:46-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Jamal da Silva Chaar

Membro Titular Externo

Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente
 **JOAO OTACILIO LIBARDONI DOS SANTOS**
Data: 10/02/2023 17:45:46-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Prof. Dr. João Otacílio Libardoni dos Santos

Membro Titular Externo

Universidade Federal do Amazonas

MANAUS – AMAZONAS

2023

DEDICATÓRIA

Ao meu pai e amigo, **Manoel Valdenor de Sousa Ferreira** (*in memoriam* -...“invocado, determinado e guerreiro” e a minha mãe e protetora, **Maria Augusta de Jesus Ferreira** (*in memoriam* – “nossa querida, sempre disposta a ajudar... se foi antes do combinado. A minha esposa e meus filhos, **Sabrina Abranches Braule Pinto, Gustavo Abranches Braule Pinto de Jesus Ferreira e Beatriz Abranches Braule Pinto** (meu de Jesus Ferreira (orgulho, inspiração e amor da minha vida).

AGRADECIMENTOS

Ao Divino Pai Eterno (Pai das Misericórdias e Deus de toda Consolação) eterno autor da vida, que sempre esteve nos milagres da minha vida renovando graças, misericórdias, protegendo, capacitando e auxiliando a chegar até o fim. À minha esposa Sabrina Abranches Braule Pinto, e meus filhos Gustavo Abranches Braule Pinto de Jesus Ferreira e Beatriz Abranches Braule Pinto de Jesus Ferreira.

Aos meus irmãos, Ângela Augusta Ferreira de Alencar, Jackson José de Jesus Ferreira, Ana Maria Ferreira Pará, Carlos Augusto de Jesus Ferreira, Ivana de Jesus Ferreira, Valdenora de Jesus Ferreira, Aramita de Jesus Ferreira, Valdenor de Jesus Ferreira, Domingos Timóteo de Jesus Ferreira, Nilson de Jesus Ferreira, Daniel de Jesus Ferreira, Marcelo de Jesus Ferreira e Karla de Jesus Ferreira, pelas orações, ajuda, torcida e apoio – ***VOCÊS SÃO UM GRANDE TESOURO.***

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Marne Carvalho de Vasconcellos, por ter aceito o desafio de me orientar, depositar confiança nos meus propósitos, pela paciência, dedicação nas correções, conselhos e sempre me apoiar nos momentos difíceis e decisivos (***Aconselhou o caminho do ESSENCIALISMO...foi decisivo***).

À Profa. Dra. Isabel da Mota Pontes, pelo estímulo científico e confiança nos meus propósitos, pelo incentivo incondicional.

Ao pesquisador Jaime Paiva Lopes Aguiar pelo apoio, incentivo e colaboração nos experimentos.

Ao Prof. Dr. Emerson Silva Lima e à Profa. Dra. Rosany Piccolotto Carvalho, pela ajuda, apoio, sugestões e colaboração nos experimentos.

À Profa. Dra. Francisca das Chagas do Amaral Souza, pela ajuda e colaboração nos experimentos.

Ao Prof. Dr. Jamal da Silva Char pela contribuição curricular e suporte técnico e científico.

À Profa. Dra. Tatiane Pereira de Souza e à Profa. Dra. Jaqueline de Araújo Bezerra, pela ajuda e colaboração nos experimentos para que esse trabalho fosse realizado.

Ao Prof. Dr. Daurimar Pinheiro Leão, parceiro e amigo em todas as batalhas.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM); Faculdade de Educação Física e Fisioterapia (FEFF) e ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede Bionorte (PPG-BIONORTE) pela contribuição curricular e oportunidade concedida.

Agradeço também aos integrantes dos Grupos BIOPHAR e NANOPOL, em especial ao Leonard Domingo Rosales Acho, à Profa. Mestre Leilane Bentes e Matheus Moraes Biondo, por toda colaboração nos experimentos e pelo incentivo.

Aos integrantes do Centro de Apoio Multidisciplinar, em especial a Profa. Doutora Rita de Cássia Saraiva Nunomura, Doutor Júlio Nino de Souza Neto e ao Mestre Paulo Abraão Cavalcante Maranhão pela prontidão e comprometimento.

MUITO OBRIGADO

FERREIRA, Ivan de Jesus. **CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UM HIDROGEL COMPOSTO DE GUARANÁ (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) E CARÁ-DE-ESPINHO (*Dioscorea altissima* Lam) COM POTENCIAL ANTIOXIDANTE**. 2023. Tese (Doutorado em Biotecnologia – PPG-BIONORTE) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023.

RESUMO

O desenvolvimento de produtos com matéria-prima oriunda de vegetais para o consumo humano é de grande relevância principalmente para indústria de alimentos, para tanto a biotecnologia se constitui como ferramenta primordial nesse processo. Neste contexto, a proposta da elaboração de um alimento em estado gelatinoso para consumo alimentar utilizando polímeros naturais que permitem mecanismos para entrega de diferentes bioativos, como os polifenóis e carboidratos, foi o objetivo desta pesquisa, cuja proposta foi desenvolver um hidrogel composto de guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) e cará-de-espinho (*Dioscorea altissima* Lam.) com potencial antioxidante. As amostras do extrato de guaraná e do amido de cará-de-espinho foram analisadas quanto: caracterização físico-química, atividade citotóxica, atividade antioxidante, desenvolvimento de um hidrogel composto e análises reológicas. A análise das propriedades reológicas das amostras de hidrogel demonstrou que a formulação 5ACE10GL teve o maior escoamento com maior impacto na viscosidade aparente além de melhor consistência e desempenho, apresentando maior armazenamento de energia, melhor desempenho e boas propriedades de fluxo, comportamento mais forte, estruturado e compacto, com valor médio de viscosidade aparente, menor perda de carga e estrutura durante o escoamento, baixa deformação, caracterizando uma estrutura de hidrogel mais viscoso que elástico e melhor estruturado. Os resultados permitiram inferir que o rendimento do processo de extração do cará-de-espinho (8,28%), apontam para uma grande fonte de amido quando comparado a outros tubérculos da região amazônica destacando-se com grande potencial para indústria de alimentos. Tanto o guaraná liofilizado, quanto a formulação de hidrogel apresentaram potencial antioxidante relevante no teste de inibição do radical DPPH 80,9 µg/mL 56,3 µg/mL, respectivamente. Após 72h de exposição as células de fibroblasto humano MRC5 a viabilidade celular de guaraná, do amido do cara-de-espinho e das formulações de hidrogel variaram entre 70-85%, conferindo uma ausência de citotoxicidade do produto. Pode-se concluir que o reconhecimento da capacidade funcional da formulação, permitirá a produção e comercialização de suplemento alimentar com plantas de origem amazônica com latente bioativos, colocando em perspectiva a necessidade da continuidade da pesquisa, principalmente no que concerne a valorização do potencial do cará-de-espinho enquanto matéria-prima amazônica, de alto rendimento como fonte de amido a ser utilizado na produção de alimentos movimentando a economia local.

Palavras-chave: Amazônia; Guaraná; Cará-de-espinho; Hidrogel; Antioxidante.

FERREIRA, Ivan de Jesus. **PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF A HYDROGEL COMPOSED OF GUARANA (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) AND THORN YAM (*Dioscorea altissima* Lam) WITH ANTIOXIDANT POTENTIAL**. 2023. Thesis (Doctorate in Biotechnology – PPG-BIONORTE) – Federal University of Amazonas, Manaus, 2023.

ABSTRACT

The development of products with raw material derived from plants for human consumption is of great relevance, mainly for the food industry, for which biotechnology is constituted as a primordial tool in this process. In this context, the proposal for the elaboration of a food in a gelatinous state for food consumption using natural polymers that allow mechanisms for the delivery of different bioactives, such as polyphenols and carbohydrates, was the objective of this research, whose proposal was to develop a hydrogel composed of guarana (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) and yam (*Dioscorea altissima* Lam.) with antioxidant potential. Samples of guarana extract and yam starch were analyzed for: physical-chemical characterization, cytotoxic activity, antioxidant activity, development of a composite hydrogel and rheological analyses. The analysis of the rheological properties of the hydrogel samples showed that the 5ACE10GL formulation had the highest flow rate with the greatest impact on apparent viscosity in addition to better consistency and performance, showing greater energy storage, better performance and good flow properties, stronger behavior, structured and compact, with an average value of apparent viscosity, less pressure and structure loss during flow, low deformation, characterizing a hydrogel structure that is more viscous than elastic and better structured. The results allowed inferring that the yield of the thorn yam extraction process (8.28%) points to a great source of starch when compared to other tubers in the Amazon region, standing out with great potential for the food industry. Both the lyophilized guarana and the hydrogel formulation showed relevant antioxidant potential in the DPPH radical inhibition test 80.9 $\mu\text{g/mL}$ and 56.3 $\mu\text{g/mL}$, respectively. After 72 hours of exposure to MRC5 human fibroblast cells, the cell viability of guarana, yam-de-thorn starch and hydrogel formulations ranged between 70-85%, giving the product an absence of cytotoxicity. It can be concluded that the recognition of the functional capacity of the formulation will allow the production and commercialization of a food supplement with plants of Amazonian origin with latent bioactives, putting into perspective the need for continued research, especially with regard to valuing the potential of yam-de-thorn as an Amazonian raw material, of high yield as a source of starch to be used in food production, moving the local economy.

Keywords: Amazônia; Guarana; Yam; Hydrogel; Antioxidant.

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1 - Fruto do guaraná da Amazônia	19
Figura 2 - Produtos comerciais do guaraná	19
Figura 3 - Cadeia Produtiva do Guaraná	21
Figura 4 - Cará-de-espinho	22
Figura 5 - Cadeia produtiva do cará	23
Figura 6 - Fases da pesquisa	34
Figura 7 - Processo de extração aquosa do amido do cará-de-espinho	36
Figura 8 - Local de cultivo do cará-de-espinho (<i>D. altissima</i> . Lam)	37
Figura 9 - Local de produção do guaraná D'Amazônia Origens	38
Figura 10 - Reômetro Modular Compacto: MCR 72 (Anton Paar)	43
Figura 11 - Hidrogel composto de guaraná e cará-de-espinho nas formulações de hidrogel 5ACE/10GL, hidrogel 10ACE/5GL e hidrogel 10ACE/10GL ((g.100g ⁻¹ desolução)	49
Figura 12 - Atividade antioxidante, pelo método DPPH, do guaraná liofilizado, amido de cará-de-espinho e hidrogel	50
Figura 13 - Atividade antioxidante, pelo método TEAC (μmol de Trolox g ⁻¹) na concentração de 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ o padrão usado foi ácido gálico. As letras diferentes indicam diferencia estatística significativa pelo teste one-way ANOVA de comparação múltipla de tukey, p <0,05	51
Figura 14 - Curvas do fluxo de viscosidade aparente VS taxa de cisalhamento do hidrogel de amido de cará-de-espinho com a adição do extrato de guaraná liofilizado	52
Figura 15 - Fases do Método Alamar Blue	53
Figura 16 - Perfil citotóxico das amostras: extrato líquido de guaraná, extrato seco de guaraná (liofilizado), amido do cara-de-espinho, hidrogel 5ACE/5GL, hidrogel 5ACE/10GL, hidrogel 10ACE/5GL e hidrogel 10ACE/10GL	54
Figura 17 - Imagens da morfologia das células MRC-5	55
Figura 18 - Difractograma de raio-X (DRX) do extrato de guaraná liofilizado a 25°C	56
Figura 19 - Difractograma de raio-X de amido de cará-de-espinho por extração aquosa a 25°C	57
Figura 20 - Difractograma de raio-X do hidrogel de guaraná e cará-de-espinho a 25°C	58
Figura 21 - Cromatogramas representativo dos picos e tempos de retenção de catequina, cafeína e epicatequina das formulações de: extrato líquido de guaraná; extrato liofilizado de guaraná; hidrogel 5% cará-de-espinho + 5% extrato de guaraná; hidrogel 5% cará-de-espinho + 10% extrato de guaraná; hidrogel 10% cará-de-espinho + 5% extrato de guaraná ; e hidrogel de 10% cará-de-espinho + 10% extrato de guaraná	60
Figura 22 - Análise das concentrações de metilxantina(cafeína) e polifenóis (catequina, e epicatequina) por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) das formulações: hidrogel 5% cará-de-espinho + 5% extrato de guaraná; hidrogel 5% cará-de-espinho + 10% extrato de guaraná; hidrogel 10% cará-de-espinho + 5% extrato de guaraná ; e hidrogel de 10% cará-de-espinho + 10% extrato de guaraná	62

LISTA DE TABELAS

	Pag.
Tabela 1 - Estudos clínicos no período de 2011 a 2021 que utilizaram suplementação com alimentos ricos em polifenóis, sobre propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, desempenho motor e recuperação muscular em sujeitos praticantes de xintox e atividade e física	27
Tabela 2 - Formulação do hidrogel composto de cará-de-espinho e extrato de guaraná	40
Tabela 3 - Rendimento do processo de extração em %	48
Tabela 4 - Valores obtidos no método de captura do radical DPPH	50
Tabela 5 - Valores obtidos no método de captura do radical ABTS, expresso em TEAC	51
Tabela 6 - Parâmetros da composição centesimal em mg/100g ⁻¹ de amostra (base seca %) do extrato de guaraná, amido de cará-de-espinho e hidrogel	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTS•+	2, 2'-azinobis (3-etilfenil-tiazolina-6-sulfonato)
Abs	Absorbância
ACE	Amido de cará-de-espinho
ANOVA	Análise de Variância Univariada
BIOPHAR	Laboratório de Atividades Biológicas e Farmacêuticas
CC	Cromatografia em coluna
CLAE	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
CHO	Carboidrato
CI ₅₀	Concentração inibitória média
°C	Graus Celsius
CIM	Concentração inibitória mínima
DMSO	Dimetilsulfóxido
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazila
EM	Espectrometria de massas
EtOH	Etanol
ERRO	Espécies reativas de oxigênio
ERN	Espécies reativas de nitrogênio
HDL	Lipoproteína humana de alta-densidade
LDL	Lipoproteína humana de baixa-densidade
GL	Guaraná liofilizado
Hex	Hexano
IV	infravermelho
MeOH	Metanol
MANOVA	Análise de variância multivariada
MF	Maceração a frio
RPM	Rotações por minuto
SON	Sonicação
TEAC	Capacidade antioxidante equivalente trolox
UV	Radiação ultravioleta
VO ₂ máx	Consumo máximo de oxigênio
WHO	World Health Organization
µg/mL	Micrograma por mililitro
mmHg	Milímetros de mercúrio
mg/L	Miligrama por litro
µM	Micromolar
µNm	Micronanômetro
ppm	Partes por milhão

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
SUMÁRIO	xii
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Geral	17
1.2 Específicos	17
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	18
2.1 Guaraná (<i>Paullinia cupana</i> var. <i>sorbilis</i>)	18
2.2 Cará-de-espinho (<i>Dioscorea altíssima</i> Lam.)	21
2.3 Suplementação, recuperação muscular e desemeprho motor.....	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 Tipo de estudo	33
3.2 Locais de realização dos experimentos	33
3.3 Fases da pesquisa	33
3.4 Aquisição da matéria-prima	34
3.4.1 O guaraná (<i>Paullinia cupana</i> var. <i>sorbilis</i>).....	34
3.4.2 Cará-de-espinho (<i>Dioscorea altíssima</i> Lam.).....	35
3.5 Extração da matéria prima	35
3.5.1 Extração do cará-de-espinho (<i>Dioscorea altíssima</i> Lam)	35
3.5.2 Extrato do guaraná (<i>Paullinia cupana</i> var. <i>sorbilis</i>)	39
3.6 Liofilização do extrato de guaraná	39
3.7 Preparo do hidrogel composto de guaraná e cará-de-espinho	39
3.8 Testes antioxidantes	40
3.8.1 Varredura do Radical 2,2-Dipheny-1-picrylhidrazyl (DPPH•)	40
3.8.2 Varredura do Radical ABTS+•	41
3.8.3 TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity)	41
3.9 Análise reológica do hidrogel	42
3.10 Teste de citotoxicidade (Método Alamar Blue)	43
3.11 Caracterização físico-química	44
3.11.1 Análise físico-química do cará-de-espinho, extrato de guaraná e hidrogel	44
3.12 Determinação do teor de amilose	44
3.13 Caracterização do extrato de guaraná liofilizado por HPLC.....	45
3.14 Difração de Raios X (DRX)	46
3.15 Análise estatística	46
3.16 Informações éticas	47
4. RESULTADOS.....	48
4.1 Rendimento do processo de extração da materia prima	48
4.2 Formulação do hidrogel composto de guaraná liofilizado e amido de cará ...	49
4.3 Atividade antioxidante do guaraná liofilizado, amido de cará-de-espinho e hidrogel composto de guaraná e cará-de-espinho	50
4.4 Análise reológica do hidrogel	52

4.5 Teste de citotoxicidade (Método Alamar Blue)	53
4.6 Composição centesimal do extrato de guaraná, amido de cará-de-espino e hidrogel	55
4.7 Análise de difratometria de Raio X do extrato de guaraná liofilizado	56
4.8 Análise de difratometria raio x do amido de cará-de-espino	57
4.9 Análise de difratometria de raio x do hidrogel de guaraná e cará-de-espino	58
4.10 Análise de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC)	59
5 DISCUSSÃO	63
5.1 Rendimento do processo de extração da matéria prima	63
5.2 Formulação do hidrogel composto de guaraná liofilizado e amido de cará ...	64
5.3 Atividade antioxidante do guaraná liofilizado, amido de cará-de-espino e hidrogel composto de guaraná e cará-de-espino	65
5.4 Análise reológica do hidrogel	68
5.5 Teste de citotoxicidade (Método Alamar Blue)	70
5.6 Composição centesimal do extrato de guaraná, amido de cará-de-espino e hidrogel	73
5.7 Análise de difratometria de Raio X do extrato de guaraná liofilizado	74
5.8 Análise de difratometria raio x do amido de cará-de-espino	75
5.9 Análise Teor de amilose	76
4.10 Análise de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC)	78
6. CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXO 1 Cadastro de acesso ao patrimônio genético ou conhecimento tradicional associado, nº. aoff5f6, no sistema nacional de gestão do patrimônio genético e do conhecimento tradicional associado (SIGEN)	103

1 INTRODUÇÃO

As modalidades esportivas e as atividades físicas em geral, dependem diretamente das contrações musculares que promovem as diversas formas de ações motoras, e podem causar danos aos músculos em diferentes níveis, dependendo das características da carga de treino, carga de competição e nível de condicionamento físico dos praticantes (LIMA, 2020; BOTELHO, 2018; BARBANTI, 2017).

Neste contexto, os esportes e atividades físicas que predominam a capacidade motora resistência (maratonas, ultramaratonas, triatlos, maratonas aquáticas) e esportes coletivos em geral, exigem ações extremas dos músculos que induzem a fadiga, provocam danos estruturais, e com isso, reduzem a capacidade de desempenho motor. Essas praticas esportivas têm atraído cada vez mais adeptos no Brasil, sendo que, 38,8 milhões de brasileiros de ambos os sexos, praticaram ou praticam algum esporte (IBGE, 2015). Logo, é importante identificar estratégias eficazes para apoiar a recuperação rápida entre sessões de treinamento intensivo ou durante as competições de grande exigência física como os torneios, jogos e os campeonatos prolongados (BOWTELL, 2019; JUSZKIEWICZ, 2019).

Embora o exercício físico regular seja responsável pelo aumento ou melhora do desempenho motor, o exercício físico e treinamento esportivo com altas cargas tem o poder de causar danos aos músculos e afetar suas funções (D'ANGELO, 2020a). No meio esportivo, as plantas e alimentos ricos em polifenóis vêm ganhando popularidade, pois representam uma fonte rica em antioxidantes. Além disso, encontram-se no âmbito dos alimentos com potentes atividades biológicas no combate ao estresse oxidativo (D'ANGELO, 2020b; MASSARO, 2019; KASHI, 2019).

Na busca por estratégias eficazes para apoiar a recuperação rápida e melhorias observadas na capacidade de rendimento em esportes de resistência, os praticantes de esporte recreativo e os atletas profissionais empregam cada vez mais dietas à base de plantas. Neste contexto, é sabido que os alimentos naturais, ricos em polifenóis e carboidratos apresentam possibilidade efetiva de modular o desempenho da capacidade motora resistência, do ponto de vista antioxidante, anti-inflamatório e imunológico (CRADDOCK et al., 2020; NEBL, 2019; NIEMAN, 2017).

Apesar da prática regular de exercícios físicos apresentar inúmeros benefícios à saúde, particularmente no tratamento e prevenção de doenças crônico-degenerativas, o exercício físico também está relacionado à produção de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, que em

excesso, têm potencial para produzir efeitos tóxicos e danos as estruturas musculares (WIGHTMAN, 2020; YFANTI, 2019). Neste cenário, os suplementos alimentares têm sido utilizados na tentativa de proteger e melhorar o desempenho dos praticantes de exercícios e esportes de alto rendimento (MARTÍNEZ-NOGUERA, 2019).

Neste âmbito, os suplementos nutricionais antioxidantes mais correntes, empregados em estudos relacionados ao exercício e ao esporte de resistência e seus efeitos sobre o status redox em humanos, são a: vitamina C, vitamina E, polifenóis, N-acetilcisteína e proteína do leite (YFANTI, 2019). Outras pesquisas utilizaram plantas e frutas, ricos em antioxidantes como cacau, romã, uva, groselha negra e cereja (MASSARO, 2019; BLOEDON et al., 2019).

Desponta neste cenário o guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) que é rico em polifenóis, quando comparado a outros alimentos como chá verde e chocolate, apresentando concentração dez vezes maior de catequinas (CAMPOS, 2018). Além disso, apresenta alto teor de cafeína, tanino, teobromina, teofilina, fósforo, potássio, ferro, cálcio, tiamina, vitamina A, proteína e açúcares (SCHIMPL et al., 2013). Como produto, tem sido utilizado principalmente na indústria de refrigerantes, cosmética, farmacêutica e suplementos alimentares (MACHADO et al., 2018; YONEKURA, et al., 2016). Por apresentar características medicinais e possuir valor comercial é fundamental para bioeconomia do Brasil, particularmente o Estado do Amazonas, pois é fonte geradora de emprego e renda principalmente para os pequenos produtores (GAMA, 2019; MINGORI, 2018).

Outra planta encontrada na região amazônica com grande potencial para elaboração de bioprodutos é o cará-de-espinho (*Dioscorea altissima* Lam.), alimento de interessante qualidade nutricional e de importância social e econômica (SILVA et al., 2019). É também conhecido como cará-japacanga e cipó-jacaré, sendo raramente cultivada, exceto em aldeias indígenas, hortas e roças de famílias do Baixo Amazonas. No Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas Campus/Manaus Zona Leste, os experimentos com essas espécies permitiram uma produtividade de aproximadamente 150 kg/planta (SILVA et al., 2016; TEIXEIRA, 2016).

Por apresentar atributos funcionais e tecnológicas, adequados e de alta qualidade, o amido do cará-de-espinho apresenta grande potencial para ser utilizado na indústria de embalagens e como matéria-prima na indústria de alimentos para produção de sopas, massas, pães e produtos à base de carnes e alimentação animal (SILVA et al., 2019).

Em geral, o cará é utilizado na alimentação básica de muitas culturas por apresentar excelente qualidade nutritiva e energética, sendo também utilizado para fins terapêuticos e medicinais, além de ser rico em carboidratos, vitaminas, minerais, proteína, lipídios e

compostos fenólicos. Suas principais aplicações no âmbito farmacêutico são os estudos das: atividades hipoglicêmica, imunomoduladora, antioxidante, purgativa, anti-inflamatória, imunoestimulante, analgésica, antienvelhecimento, diurética, anti-reumáticas, anti-hipertensivas, antiplaquetária, antimutagênico, antifúngico, anticoncepcional e antitumoral (LEÃO et al., 2020).

Apesar do grande potencial apresentado pelo guaraná e o cará-de-espinho para a produção e comercialização de novos produtos, a cultura do guaraná que gera milhares de empregos, enfrenta dificuldades e ameaças de se converter em atividade pouco lucrativa, principalmente para o pequeno produtor rural. A baixa produtividade e os baixos preços pagos aos produtores pelo guaraná em rama, bem como a falta de tecnologias agroindustriais para agregação de valor ao produto, tem contribuído para o desencorajamento do produtor em continuar com essa atividade (ATROCH & CORDEIRO, 2022).

No momento atual, é preciso diversificar o modelo de bioeconomia, permitindo melhorias para o bem-estar humano e imparcialidade social, reduzir os riscos ambientais com uma exploração racional com agregação de valor sobre os recursos naturais (DINIZ & BERMANN, 2012).

No Estado do Amazonas, a produção de alimentos a base de plantas ainda é pouco explorada, apesar do grande potencial que a região apresenta, a citar o cará-de-espinho, que associado ao guaraná, pode surgir como alternativa de disseminação e reconhecimento no mercado de alimentos funcionais.

Em vista disso, Moura (2016) destaca que o desenvolvimento de alimentos para atletas encontra-se como tendência no mercado global da indústria de suplementos esportivos, que visam atender ao desejo de consumidores sedentos por produtos naturais ao invés de sintéticos.

Ante o exposto, ao considerar as propriedades biofuncionais do guaraná e cará-de-espinho buscamos desenvolver um hidrogel composto de guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) e cará-de-espinho (*Dioscorea altíssima* Lam.) com potencial atividade antioxidante.

A junção do extrato de guaraná com o amido do cará-de-espinho é uma proposta de formulação com potencial nutricional, rico em compostos bioativos, que desponta para possíveis aplicações no âmbito comercial de um bioproduto inovador, validado pelas análises desenvolvidas nesta pesquisa, valorizando assim os recursos naturais e alavancando a bioeconomia regional.

1.1 GERAL

Desenvolver um hidrogel composto de guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) e cará-de-espino (*Dioscorea altissima* Lam.) com atividade antioxidante.

1.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar as matérias-primas vegetal e o material obtido através de análise físico-química;
- Elaborar um hidrogel por ensaios térmicos, composto de guaraná e cará-de-espino para fins de suplementação alimentar;
- Verificar a atividade antioxidante do extrato de guaraná, amido de cará-de-espino e hidrogel composto de guaraná e cará-de-espino pelos métodos DPPH e ABTS;
- Analisar as propriedades reológicas do hidrogel composto de guaraná e cará-de-espino em fluxo estacionário e nas soluções em função das proporções dos agentes;
- Avaliar a citotoxicidade *in vitro* do extrato de guaraná, do amido de cará-de-espino e do hidrogel composto de guaraná e cará-de-espino.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GUARANÁ (*Paullinia cupana*, var. *sorbilis*)

O guaranazeiro (*Paullinia cupana*, var. *sorbilis*), é uma planta nativa da região Amazônica, **oriunda de Maués**, município do Estado do Amazonas. É uma espécie vegetal arbustiva e trepadeira, adaptado à baixa altitude e ao clima quente e úmido, pertencentes à família das Sapindáceas, e possui cerca de 130 gêneros e 2.000 espécies (FIGUEROA, 2016; TRICAUD; PINTON; PEREIRA, 2016).

O guaranazeiro possui caule sulcado e uma coloração marrom-amarelada quando lignificado. As folhas são alternadas e ímpares com as bainhas bem desenvolvidas tendo aproximadamente 1,5 cm de comprimento. O pecíolo principal (raque) mede de 8 a 19 cm e os pecíolos dos folhetos são muito curtos. Os folhetos têm uma forma aproximadamente oval e um ápice serrilhado, com largura variando de 10 a 14 cm e comprimento de 27 a 33 cm. As folhas são na cor verde escuro com a parte superior brilhante (CAVALCANTI et al., 2020).

O fruto do guaraná (**Figura 1**), é esférico, escuro brilhante, em forma de cápsula com um a três folhetos, com apenas uma semente. Quando maduro, apresenta cor vermelha e laranja e se abre mostrando suas sementes. O pericarpo é marrom-escuro levemente tomado por uma substância branca servindo para a dispersão da semente (SCHIMPL et al., 2013; KUSKOSKI et al., 2013). Além disso, esse fruto é rico em compostos bioativos, principalmente metilxantinas e taninos, com efeitos estimulantes prolongados, o que lhe garante grande valor comercial (DALONSO; PETKOWICZ, 2012; NINA, 2019).

Por ser de interesse econômico e social, transformou-se em produto utilizado em grande escala para fabricação de bebidas, alimentos, fármacos e cosméticos (MARQUES et al., 2016; MARQUES et al., 2019). Os principais produtos comerciais derivados do guaraná encontrados no mercado nacional e internacional (**Figura 2**), na sua forma natural ou misturado com outros ingredientes são: refrigerante, energéticos, em grão torrado, bastão, em pó, encapsulado, xaropes, extratos, destilados, aromatizantes, essências, sorvetes, cremes, shampoo e mascara facial (TRICAUD; PINTON; PEREIRA, 2016).

Popularmente, o guaraná é utilizado como energético, afrodisíaco e remédio. Isso porque as suas sementes são abundantes em compostos bioativos responsáveis por diferentes ações farmacológicas como: antioxidante, estimulante, antimicrobianas, anticancerígena,

proteção hepática e perda de peso. Sua composição apresenta metilxantinas (cafeína, teobromina, teofilina), taninos (catequinas, epicatequinas e proantocianidinas), saponinas e ves-

Figura 1 – Fruto do guaraná da Amazônia



Fonte: EMBRAPA Amazônia Ocidental, 2021 - Foto: ROSA, Felipe Santos da

Figura 2 – Produtos comerciais do guaraná



Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=PRODUTOS+DERIVADOS+DO+GUARANÁ&source>

tigeos de outros compostos (MARTINS, 2010; DA SILVA LIMA et al., 2018; PATEIRO et al., 2018; MARQUES, 2019).

O guaraná é um dos vegetais mais ricos em cafeína (2,5% a 6,8%), dependendo da marca considerada, podemos encontrar concentrações quatro vezes maior quando comparado ao pó de café, e em cada grama encontra-se aproximadamente 50mg desta substância. Essa substância é responsável pela característica estimulante do guaraná (YONEKURA et al., 2016; CAMPOS, 2018; MACHADO et al., 2018).

A cafeína (1,3,7-trimetilxantina) possui efeito estimulante no sistema nervoso central, músculos cardíacos, sistema respiratório, sistema muscular e sistema urinário, sendo também considerado um diurético fraco e relaxante muscular. A teobromina (3,7-dimetilxantina) tem ação diurética, e a teofilina (1,3-dimetilxantina) tem um efeito broncodilatador (CAVALCANTI et al., 2020a).

Os taninos encontrados no guaraná apresentam principalmente atividade antioxidante, antiviral e bactericida. Suas concentrações de catequinas são dez vezes maiores, do que, a maioria dos alimentos considerados fonte deste composto, como o chá verde e o chocolate. É uma excelente fonte de polifenóis, com a capacidade de diminuir os riscos para a saúde e melhorar o desempenho esportivo, relacionados ao estresse oxidativo (MARTINS, 2010).

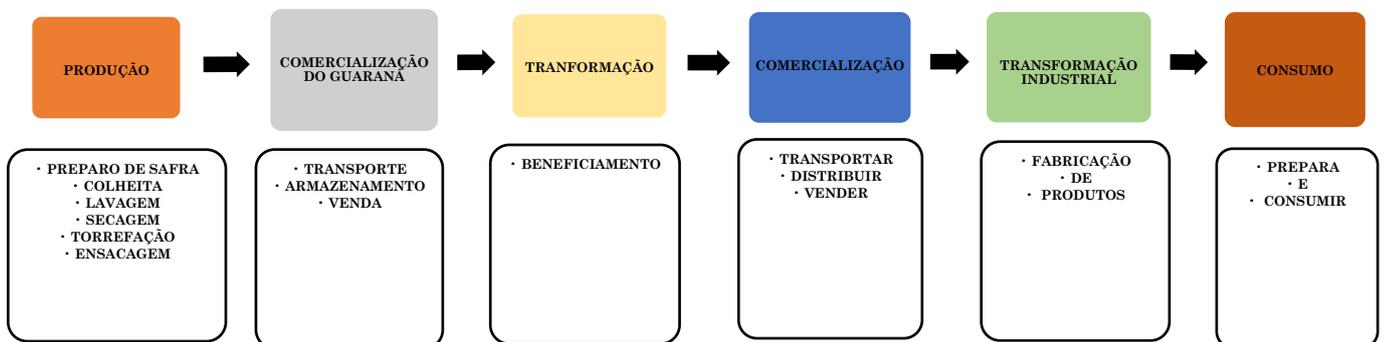
Desta forma, produtos naturais com atividade antioxidante, são excelentes substitutos dos produtos sintéticos que estão associados a problemas como toxicidade e carcinogênese (YAMAGUCHI et al., 2015; CAMPOS, 2018).

Considerando as suas propriedades energéticas, medicinais e antioxidantes, o guaraná é um produto com elevado poder econômico e industrial, particularmente para o Estado do Amazonas (NINA et al., 2021). No território brasileiro, os principais estados envolvidos na cultura do guaraná são: Acre, Amazonas, Bahia, Mato Grosso, Pará, Rondônia e São Paulo. Na região norte do Brasil, o Estado do Amazonas, no município de Maués, o cultivo do guaraná foi incentivado principalmente pelas indústrias de bebidas, cosméticas e farmacêuticas, sendo o segundo maior produtor do país, perdendo apenas para o estado da Bahia (IBGE, 2016; MACHADO et al., 2018).

Apesar do guaraná possuir uma cadeia produtiva bem definida (**Figura 3**), que vai do produtor rural até o consumidor final, a produtividade do guaraná é baixa no Estado do Amazonas. De acordo com a pesquisa Sistemática da Produção Agrícola no Brasil (IBGE, 2018), atualmente o estado da Bahia é o maior produtor com 862,1 ton/ha, seguido pelo estado do Amazonas com 501,5 ton/ha. Os principais fatores que levaram a esta baixa produtividade no Amazonas são: falta de políticas públicas; concentração da produção no município de Maués e regiões do Baixo Amazonas; e alto custo de implantação da cultura para o pequeno produtor (MERIGUETE, 2020). Apesar da baixa produtividade, o guaraná-do-Amazonas possui maior

valor agregado, o que valoriza o trabalho dos produtores do município de Maués e estimula a produção local (NINA, 2019).

Figura 3 – Cadeia Produtiva do Guaraná



Fonte: Modificado e adaptado de MERIGUETE, 2020

2.2 CARÁ-DE-ESPINHO (*Dioscorea altissima* Lam.)

O cará-de-espinho (**Figura 4**) é uma planta alimentícia não convencional (PANC) com potencial para a alimentação humana e animal, e uma fonte alternativa de renda para o pequeno agricultor. Essa planta também é conhecida como cará-japecanga, cipó-jacaré e inhame-de-espinho, é uma herbácea perene, trepadeira, nativa, encontrada nas regiões norte, centro-oeste e sudeste do Brasil, sendo raramente cultivada, exceto em aldeias indígenas, hortas e roças de famílias do Baixo Amazonas (KINUPP; LORENZI, 2014; DIAS; DA SILVA, 2021).

Inhame ou Cará são nomes genéricos de espécies de plantas trepadeiras monocotiledôneas do gênero *Dioscorea*. Supõe-se que existem quase 600 espécies espalhadas no mundo. Em termos de produção é considerado um dos tubérculos mais importantes do mundo, seguido pela bata e mandioca (LEÃO et al., 2020).

Figura 4 – Cará-de-espinho

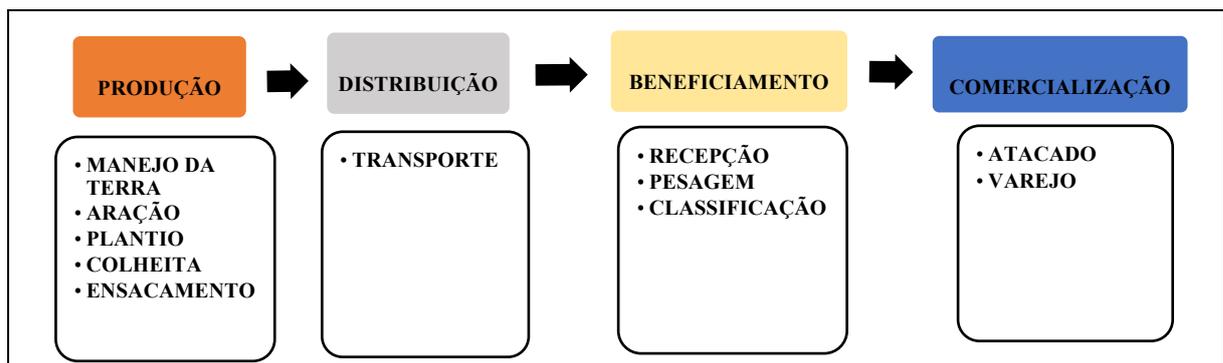
Fonte: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT93CGYYnPgZ4aAUAgA5U329WGc-L6aGXKESw&usqp=CAU>

Comparada a mandioca, que é uma das principais fontes de alimento na Amazônia, o cará-de-espinho apresenta elevada produtividade, podendo chegar a 150Kg/planta. Outra vantagem desta planta encontra-se na sua baixa perecibilidade, podendo em ambiente seco e protegido da luz, manter suas propriedades por até 120 dias (SILVA et al., 2013; PRICE et al., 2016). Em relação a outras culturas como mandioca e batata doce, o cará-de-espinho possui grande valor nutritivo, apresentando em sua composição elevadas concentrações de carboidrato e proteína. O amido extraído desta planta tem propriedades como biodegradabilidade e não toxicidade o que facilita o beneficiamento no âmbito da indústria de alimentos (SILVA et al., 2019).

O cará-de-espinho apresenta a seguinte composição físico-química: 68,23% de umidade; 24,91% de carboidratos; 3,49% de proteínas; 0,05% de lipídios; 0,78% de cinzas; e 2,54% de fibras. Essa planta demonstra grande potencial nutricional para alimentação humana e animal, especialmente como alternativa à mandioca e outras fontes de carboidratos (DIAS; DA SILVA, 2021). Para KUMAR et al. (2017), os tubérculos da espécie *Dioscorea* tem grande potencial farmacológico pois são ricos em compostos polifenólicos. Suas principais propriedades estão relacionadas as suas capacidades antioxidantes, antifúngicos, antimutagênicos, hipoglicêmicos, imunomodulares, antimicrobiana e antifúngica.

Segundo Leão et al. (2020), a cultura de produção do cará tem importante papel socioeconômico para os pequenos produtores, em particular da região amazônica, pois permite o consumo alimentar e torna-se uma fonte de renda para a famílias. Em um modelo conceitual (**Figura 5**), a cadeia de produção desta planta pode ser sintetizada nas seguintes etapas: Produção, Distribuição, Beneficiamento e comercialização.

Figura 5 – Cadeia produtiva do cará



Fonte: Modificado e adaptado LEÃO, 2021

2.3 SUPLEMENTAÇÃO, RECUPERAÇÃO MUSCULAR E DESEMPENHO MOTOR

A prática regular de exercícios físicos intensos ou extenuantes, provoca fadiga muscular, levando a formação de radicais livres, espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, por consequência, estresse oxidativo, inflamação, dano muscular e dor (CARMEN et al., 2021).

Neste sentido, ocorre uma diminuição momentânea da capacidade de rendimento dos esportistas. Além disso, este tipo de evento pode levar a lesões musculares graves comprometendo a participação dos atletas nos treinamentos e competições esportivas (BUCHWALD-WERNER; SYBILLE et al, 2018; LEVERS; KYLE et al., 2015; POWER; JACKSON, 2008).

Um dos efeitos deletérios mais frequentes provocados pelo exercício físico é o dano muscular, levando a um atraso no processo de recuperação das funções motoras (RAY; HUANG; TSUJI, 2012). Por essa razão, a suplementação alimentar com potencial antioxidante, tem possibilidade de exercer importante função no processo de recuperação dos esportistas, diminuindo as sequelas deixadas pelo estresse oxidativo (GOULART et al., 2020).

Como estratégia, os esportistas recorrem ao uso de medicamentos antioxidantes e anti-inflamatórios (ROJANO ORTEGA et al., 2020). É uma prática usada para reduzir o dano muscular, no entanto, tem implicações gastrointestinais, renais e cardiovasculares, justificando a busca de suplementos de fontes naturais com o fito de diminuir a inflamação e a recuperação muscular durante o processo de treinamento (SEMEN et al., 2020).

Na busca de atender essa demanda, diversos estudos mostraram que produtos alimentícios naturais possuem potencial ergogênicos semelhante ao dos suplementos esportivos industrializados (BELL et al., 2016; PEREIRA-CARO et al., 2017; KEANE et al., 2018; GAAMOURI et al., 2019; BOWTELL; KELLY, 2019; STEVANOVIĆ et al., 2020; SORRENTI et al., 2020; MARTINS et al., 2020; FERNÁNDEZ-LÁZARO et al., 2020; AMMAR et al., 2020; LEÃO, 2021). Por esse motivo, na última década, foram realizadas pesquisas no sentido de investigar o efeito da suplementação com alimentos potencialmente bioativos, sobre o estresse oxidativo e o desempenho esportivo em sujeitos praticantes de esporte e atividade física (**Tabela 1**).

Um alimento muito consumido mundialmente na forma de tempero é o açafrão-da terra. Essa planta contém a curcumina, substância bioativa com potencial antioxidante. Para compreender os efeitos dessa substância relacionados ao exercício físico, AMALRAJ et al. (2020), investigaram o consumo da curcumina na forma biodisponível sobre os danos musculares provocados pelo exercício físico intenso e contínuo. A curcumina tem um efeito biopositivo na redução dos danos musculares e tem efeitos vantajosos na recuperação da inflamação muscular induzida pelo exercício excêntrico. A amostra foi constituída por um total de 12 homens e 18 mulheres, com idade média de 36,11 anos, que foram randomizados em dois grupos de tratamento. Os resultados demonstraram que o consumo oral desta planta, com elevado teor de polifenóis, reduziu significativamente a dor muscular, diminuiu as concentrações de creatinina quinase, aumentou a potência aeróbia, melhorou a recuperação e redução da dor muscular, sem quaisquer efeitos colaterais.

A uva é uma fruta consumida mundialmente e que apresenta potencial antioxidante. Neste cenário Toscano et al. (2015), analisaram o efeito ergogênico do suco de uva roxa integral no desempenho de corredores recreativos. A amostra foi composta por 28 voluntários de ambos os sexos, com idade média de 39,8 anos. Os resultados demonstraram que o grupo que consumiu suco de uva teve aumento significativo no tempo de corrida até a exaustão, melhorando a sua capacidade aeróbia. Além disso, o mesmo grupo teve aumentos significativos na capacidade antioxidante. A suplementação com suco de uva roxa demonstrou efeito ergogênico em corredores recreativos, promovendo aumento do tempo de corrida até a exaustão.

Em outro estudo realizado por Toscano et al. (2019), investigaram os efeitos de uma única dose de suco de uva roxa no desempenho físico, estresse oxidativo, inflamação e lesão muscular em 14 corredores recreativos do sexo masculino, com idade média de 39,9 anos. Os resultados demonstraram que o grupo que consumiu suco de uva apresentou diferenças significativas na capacidade de corrida até a exaustão e aumento da capacidade antioxidante pós-exercício. A ingestão de dose única de suco de uva roxa teve efeitos ergogênicos em corredores recreativos, aumentando o tempo de corrida até a exaustão e aumentando a atividade antioxidante.

Estudo realizado por Goulart et al. (2020), investigaram os efeitos do consumo de suco de uva, sobre os parâmetros de estresse oxidativo e fadiga muscular antes e após simulações de lutas em judocas. A amostra foi constituída por 9 homens e 11 mulheres, com idade média de 17,8 anos. Os resultados apontam que o consumo de suco de uva, rica em polifenóis, pode melhorar os parâmetros de estresse oxidativo, reduzindo os danos aos lipídios e ao DNA. Além disso, em relação a parâmetros de fadiga muscular, o suco de uva gerou aumento na força muscular do membro superior. Por ser um alimento natural com baixo grau de processamento, o consumo ao longo dos anos pode trazer benefícios significativos à saúde dos atletas e praticantes da atividade física.

Koivisto et al. (2019), estudaram os efeitos de alimentos ricos em antioxidantes no estresse oxidativo induzido pela altitude e inflamação em atletas de resistência de elite. A amostra foi constituída por 23 homens e 8 mulheres, com idade média de 23,5 anos. Os resultados demonstraram aumento da capacidade antioxidante, aumentando a ingestão diária de alimentos ricos em antioxidantes comuns, como: vegetais e frutas vermelhas, frutas e bagas secas, nozes e chocolate amargo. Durante o treino em altitude, sugere-se o aumento do consumo de alimentos naturais ricos em antioxidantes.

A romã é uma fruta rica em polifenóis, e tem sido estudado seus efeitos na atividade antioxidante, anti-inflamatório e seus benefícios relacionados à saúde e ao rendimento esportivo (VUČIĆ et al., 2019; DERAKHSHAN et al., 2018; AMMAR et al., 2016). Desta forma, no âmbito do esporte de rendimento, Fuster-Muñoz et al. (2016), avaliaram os efeitos do suco de romã no nível de estresse oxidativo em corredores de resistência aeróbia de longa duração. A amostra foi constituída por 20 corredores de elite, com idade média de 33,3 anos, que consumiram o suco durante 21 dias. Os resultados demonstraram que a suplementação com suco de romã aumentou a capacidade antioxidante e o desempenho dos corredores. O consumo prolongado desta fruta diminuiu os danos provocados pelo exercício intenso e contínuo, sendo recomendado sua adição na dieta dos atletas.

Nesta mesma linha Ammar et al. (2017), investigaram os efeitos da suplementação de suco de romã sobre biomarcadores de estresse oxidativo após exercícios de levantamento de peso. A amostra foi composta por nove levantadores de peso de elite, com idade média de 21,1 anos, que realizaram duas sessões de levantamento de peso olímpico após ingerir o placebo ou suplementos de suco de romã. Os resultados demonstraram que a suplementação acelerou a cinética de recuperação e as defesas antioxidantes enzimática.

Tabela 1 – Estudos clínicos no período de 2011 a 2021 que utilizaram suplementação com alimentos ricos em polifenóis, sobre propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, desempenho motor e recuperação muscular em sujeitos praticantes de esporte e atividade e física

Ano	Autor(es)	Participantes	Suplementação	Protocolo de Exercício	Efeito da suplementação
2012	KANG, Seung Wan et al.	70 ♂ ativos (23,9 anos)	100 mg extrato de fruta de lichia oligomerizada ou uma mistura de vitaminas, ou um placebo, durante 30 dias	teste em esteira a 80% da FC _{máx} e medimos o tempo de corrida até a exaustão na linha de base e após 30 dias de suplementação.	↑ Tempo de exaustão
2014	BRAAKHUIS et al.	23 ♀ atletas de corrida (31,8 anos)	3 semanas - 2 x dia - groselha preta + vitamina, vitamina C e placebo	3 semanas de treino com cargas submáximas contra-relógio de corrida de 5 km e teste de carga progressiva em esteira até exaustão	↑ desempenho para o consumo de groselha preta nas corredoras mais rápidas
2014	TREXLER, Eric T. et al.	10 ♂ 9 ♀ altamente ativos (22,2 anos)	1000 mg de extrato de romã ou placebo, 30 min antes do teste	Duas séries de três corridas em esteira até a exaustão foram concluídas para determinar a velocidade crítica e a capacidade de corrida anaeróbica.	↑ Tempo de exaustão
2015	COOK et al.	14 ♂ ativos (38 ± 13 anos)	7 dias 300 mg de groselha preta ou placebo	30 minutos em ciclo ergômetro seguido de 16,1 km de contra-relógio	↑ rendimento contra-relógio ↑ Oxidação de gordura
2015	MACEDO, R. C. S. et al.	60 ♂ bombeiros (22,3 anos)	Cápsulas de 100 mg de resveratrol ou placebo por 90 dias	Teste físico composto por quatro 04 exercícios realizados em seqüência: barra fixa, abdominais, teste de velocidade: sprint de 50 metros; exercício aeróbio: corrida por 12 min (teste de Cooper).	↑ efeito anti-inflamatório, que reduziu a IL-6 e o TNF-α.
2015	PERKINS, Ian Craig et al.	13 ♂ ativos (25,4 anos)	7 dias 300 mg de groselha preta ou placebo	protocolo de corrida em esteira até a exaustão, com etapas: 6 x 19 s de tiros com 15 s de corrida de baixa intensidade entre os tiros	↑ desempenho de corrida
2015	TOSCANO, Lydiane Tavares et al.	11 ♂ 17 ♀ (39,8 anos)	28 dias de consumo - grupo suco de uva 10 mL / (kg · min) ou um grupo que recebeu uma bebida isocalórica, isoglicêmica e isovolumétrica de controle	Teste de exercício cardiopulmonar seguindo o protocolo de rampa (Bruce et al. 1963) com cargas incrementais a cada 3 minutos até a exaustão e teste de limiar anaeróbio	efeito ergogênico ↑ tempo de exaustão
2016	BELL, Phillip G. et al.	16 ♂ jogadores de futebol (25,4 anos)	8 dias consecutivos de consumo (2x/dia 30 ml) de cereja ácida Montmorency	duplo-cego controlado por placebo com grupos independentes; teste de vai e vêm de vários estágios para prever o VO _{2max} ; testes de desempenho funcional e uma seção de 15 min do Teste Intermitente de Loughborough.	↑ recuperação após atividades de sprint repetidas e prolongada
2016	FUSTER-MUÑOZ, Encarnación et al.	31 ♂ corredores de longa distância (35,2 anos)	21 dias consumo de suco de romã G1: 200 ml, G2 200 mL / d diluído 1: 1 com água e G controle que não consumiu	treinamento de corrida de resistência por mais de 1 hora por sessão e mais de três sessões por semana.	↑ níveis de MDA e carbonilas ↓ dano oxidativo causado pelo exercício
2016	WILLEMS, Mark ET et al.	13 ♂ ativos (22,1 anos)	300 mg/dia de groselha preta durante 7 dias	Loughborough Intermittent Shuttle Test 5 x 15 min com sprints máximos de 15 m intermitentes, intercalados por corrida de intensidade moderada e alta.	↓ Diminuição do sprint máximo mais rápido entre os blocos
2017	ARETA, José et al.	11 ♂ triatletas (30,3 anos)	5 dias antes de cada dia de ensaio, os indivíduos ingeriram por dia 5 g de erva-mate ou placebo (maltodextrina).	Testes em ciclo ergômetro em etapas consecutivas de 5 minutos a 30%, 40%, 50%, 60%, 70% e 80% do V' O _{2max} . Após 5 minutos de recuperação, os participantes realizaram teste máximo em aproximadamente 30 minutos	↑ aumentou a utilização de gordura durante o exercício submáximo ↑ aumento do desempenho
2017	CASES, Julien et al.	20 ♂ ativos (20,0 anos)	290 mg de polifenóis uva (Vitis vinifera L.) e romã (Punica granatum L.), e pela extração do chá verde com água (Camellia sinensis L. Kuntze). 1h Pré-teste	4 x 30 s de ciclo total de sprints com recuperação entre sprints de 4-5 min	↑ Potência máxima e média ↑ Catalase eritrocitária e atividade SOD plasmática
2017	COOK, Matthew David et al.	15 ♂ ciclistas de resistência (38 ± 12 anos)	3 x extrato de groselha negra da Nova Zelândia (300, 600 ou 900 mg por dia) cápsula por 7 dias e uma condição de controle sem dose	Teste em ciclo ergômetro com carga incremental até a exaustão voluntária.	↑ débito cardíaco ↓ volume sistólico e ↓ diminuiu a pressão arterial média

Tabela 1 – Estudos clínicos no período de 2011 a 2021 que utilizaram suplementação com alimentos ricos em polifenóis, sobre propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, desempenho motor e recuperação muscular em sujeitos praticantes de esporte e atividade e física (CONTINUAÇÃO).

Ano	Autor(es)	Participantes	Suplementação	Protocolo de Exercício	Efeito da suplementação
2017	DELEY, Gaëlle et al.	48 ♂ (treino de 3 a 6h/dia) (31,6 anos)	ingestão aguda de polifenóis de uva e maçã 500 mg 1h antes do teste, ingestão na noite anterior e placebo	Teste de potência aeróbia máxima foi determinada durante um teste de ciclismo incremental.	↑ capacidade de manter esforços intensos e retardar o esforço percebido.
2017	DECROIX, Lieselot et al.	12 ciclistas profissionais ♂ (30,3 anos)	2h antes dos testes flavonoides de cacau 900 mg/dia ou placebo	randomizado, duplo-cego e cruzado; 2 ocasiões separadas, dois ensaios de tempo de 1,5h e 3 horas.	↑ aumentou a capacidade antioxidante total em repouso e durante o exercício
2017	MURPHY, Connor A.; COOK, Matthew D.; WILLEMS, Mark ET.	10 ♂ ciclistas treinados (30,12 anos)	300 mg de groselha preta da Nova Zelândia por 7 dias	2 × 4 km contra-relógio com 10 min. De recuperação ativa	↑ capacidade de desempenho
2017	CRUM, Emma May et al.	7 ♂ e 1 ♀ ciclistas de competição (17,5 anos)	1 dose 1000 mg de um suplemento de extrato de romã em cápsula ou de uma cápsula de placebo da mesma cor, tamanho e formato (ANTES DO TESTES)	Estudo cruzado, duplo-cego, randomizado, em quatro ocasiões: duas vezes em condições ao nível do mar (SEA) e duas vezes em condições de alta altitude (ALT, 1.657 m, ~ 17% O ₂). 3x6 minutos de exercício em ciclo ergômetro potências de 50, 65 e 80% do VO _{2max} pedalr intensidade submáx até exaustão.	restauração parcial do VO ₂ durante o exercício intenso em um ambiente hipóxico
2017	SADOWSKA-KRĘPA, Ewa et al.	18 estudantes de educ. física ♂ (21,0 anos)	6 semanas com 160 mg / dia de um extrato padronizado de Ginkgo biloba ou um placebo.	Pedalar em ciclo ergômetro em estágios de 3 min de duração, começando com uma potência de 40 W, aumentando progressivamente em 40 W e continuando até a exaustão.	↑ desempenho de resistência ↑ VO _{2max} ↑ capacidade antioxidante
2018	CRUM, Emma M.; BARNES, Matthew J.; STANNARD, Stephen R.	8 ciclistas ♂ (37,11 anos)	4 períodos de suplementação de 8 dias: 815 a 1350 mg/dia, somente extrato de romã, somente N-acetilcisteína, extrato de romã + N-acetilcisteína e placebo.	Estudo cruzado ciclagem submáxima e um contra-relógio de 5 min,	↑ o VO ₂ necessário durante o exercício submáximo. ↑ Concentração de nitrato plasmático
2018	JACOB, Joby; GOPI, Sreeraj; DIVYA, Chandradhara	24 adultos ♂ (36,5 anos)	1 dose de 250 mg Fitnox(flavanonas de gengibre preto (15%), polifenóis de romã (35%) e moringa) e placebo (cápsulas de amido de 250 mg) antes dos testes	Teste de corrida e caminhada de 12 minutos (COOPER,1968)	↑ níveis de NO no sangue e na saliva por até 12 horas ↑ desempenho de adultos saudáveis.
2018	KEANE, Karen M. et al.	11 ciclistas ♂ (28,7 anos)	ingestão aguda de 60 mL de concentrado de Cerejas azedas Montmorency de forma cruzada e duplo-cega; placebo água, isolado de proteína de soro de leite e maltodextrina.	3 testes de exercício de “degrau”, em cicloergometro, incluindo 2 testes de degrau de intensidade moderada seguidos por 1 sessão de exercício de intensidade severa; Total de 4 séries de exercícios de intensidade moderada e 2 séries de exercícios de intensidade severa para cada condição experimental.	↓ pressão arterial ↑ desempenho final do sprint do ciclismo
2019	GAAMOURI, Nawel et al.	15 ♂ e 6 ♀ atletas de taekwondo (21,9 anos)	40 g de pó de alfarroba diluído em 250 ml de água foram administrado ou placebo pela manhã no café da manhã durante as 6 semanas	duplo-cego, randomizado; 4 sessões de exercício com duração de 4 min com 4 min de atividade recuperação intermediária; 10 s de exercício intercalado com 20 s de passivo recuperação	↑ desempenho aeróbio ↑ esforço percebido

Tabela 1 – Estudos clínicos no período de 2011 a 2021 que utilizaram suplementação com alimentos ricos em polifenóis, sobre propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, desempenho motor e recuperação muscular em sujeitos praticantes de esporte e atividade física (CONTINUAÇÃO).

Ano	Autor(es)	Participantes	Suplementação	Protocolo de Exercício	Efeito da suplementação
2019	GELABERT-REBATO, Miriam et al.	12 estudantes de educ. física ♂ (21,3 anos)	grupo placebo: cápsulas 500 mg de maltodextrina; grupos tratamento: cápsulas luteolina e mangiferina 50 mg / 100mg e 300mg dia de extrato de casca de amendoim contendo 95% de luteolina e 140 mg / d de MLE (Zynamite®); ingestão os suplementos ocorreu a cada oito horas durante 15 dias	duplo-cego cruzado; 4 x séries de exercícios com carga progressiva em ciclo ergômetro até a exaustão, seguidos de exercícios de velocidade e resistência	suplementação aguda e prolongada em baixas e altas doses: ↑desempenho do exercício; ↑ oxigenação cerebral ↑ extração de O ₂ muscular
2020	AMMAR et al.	9 levantadores de peso de elite ♂ (21,0 ± 1 anos)	250 ml de romã ou placebo 3 vezes ao dia	duplo-cego controlado; 2 séries de 3 repetições a 85% de 1-RM e 2 repetições a 90% de 1-RM) com recuperação passiva de 5 e 8 minutos entre as séries e três exercícios de levantamento de peso olímpico.	atenua a resposta aguda do plasma; ↓ concentrações séricas de hormônios esteróides níveis basais de pré-treinamento após 2 h a 1 dia de repouso
2020	MARTIN-RINCON, Marcos et al.	18 ♀ e 30 ♂ corredores de 5Km	140 mg de Zynamite® combinado com 140 mg de quercetina e placebo (728 mg de maltodextrina) Uma hora antes da competição, e a cada 8 horas durante 24 horas	duplo-cego; competição de 10Km e 100 drop jump de um passo de 59 cm de altura, consistindo de 5 séries de 20 repetições com intervalo de 10 s entre os saltos e intercalado por um período de recuperação de 2 min entre as séries	uma dose única de 140 mg de Zynamite® combinada com 140 mg atenua dores e danos musculares e acelera a recuperação do desempenho muscular
2020	POTTER, Julia A. et al.	18 escaladores ♂ (24 ± 6 anos)	600 mg extrato de groselha negra da Nova Zelândia (contendo 210 mg antocianinas) ou um placebo durante 7 dias	duplo-cego, randomizado e cruzado; escalada por tempo de suspensão, pull-ups e tempo total de escalada em 3 sessões intermitentes em parede de escalada rotativa até a exaustão com 20 minutos de recuperação entre as escaladas.	o extrato de NZBC facilitou não apenas a manutenção do tempo total da escalada; ↑ resistência de escalada ↑ desempenho na escalada esportiva.

Por sua alta capacidade anti-inflamatória e antioxidante, a cereja passou a ser investigada como uma alternativa de suplementação para atletas com objetivo de aumentar a capacidade de recuperação muscular e coibir a inflamação provocado pelo exercício intenso. Em vista disso, Sumners et al. (2011), analisaram os efeitos do exercício intensivo de força, com cargas submáximas, associado ao consumo do suco concentrado de cereja Montmorency. A amostra foi constituída por 10 atletas do sexo masculino, com idade média de 27,8 anos. Os resultados evidenciaram melhora na recuperação do treino de força associado ao consumo deste suco. Os autores sugerem o consumo pré e pós-treino de força muscular com cargas submáximas a máximas.

Este mesmo fruto foi utilizado em dois estudos, com o mesmo delineamento, com o objetivo de investigar os efeitos do concentrado de cereja ácida Montmorency em parâmetros fisiológicos de estresse oxidativo, inflamação e dano muscular em ciclismo de estrada simulado de alta intensidade, com duração de 109 minutos. A amostra foi constituída por 16 ciclistas treinados, que foram divididos em grupos iguais e consumiram 30 ml de suco concentrado ou placebo, duas vezes ao dia, durante sete dias consecutivos. Os resultados demonstraram que o consumo do concentrado de cereja pode ser eficaz no processo de recuperação muscular e reduzir a inflamação induzida em modalidades esportivas que exigem a participação de atletas em uma elevada frequência de eventos esportivos de alto rendimento (BELL et al., 2014; BELL et al., 2015).

Com o mesmo concentrado de cereja Bell et al. (2016), estudaram os efeitos da suplementação em marcadores de recuperação após corridas de velocidade intermitente e prolongada. A amostra foi composta por 16 jogadores de futebol semiprofissionais do sexo masculino. Os resultados demonstraram que o consumo desta fruta é eficaz em acelerar a recuperação após corridas de velocidade prolongadas e repetidas. Esse estudo proporcionou mais evidências de que alimentos ricos em polifenóis são eficazes em acelerar a recuperação após vários tipos de exercícios extenuantes e intensos.

Essa mesma fruta, foi investigada por Levers et al. (2015), com o fito analisar o efeito agudo da suplementação em pó da torta de cereja antes e após exercícios intensos de força em corredores de longa duração. A amostra foi composta por 23 homens saudáveis treinados, com idade média de 20,9 anos. Os resultados evidenciaram maior tolerância a dor muscular durante os exercícios. A suplementação desta fruta em dose única apresentou potencial para aliviar a dor muscular, durante a recuperação do exercício físico em indivíduos treinados em resistência.

Em outro estudo, com o mesmo suplemento em pó Levers et al. (2016), analisaram se a suplementação antes e após o exercício de resistência afetaria os marcadores de dano muscular, inflamação, estresse oxidativo e dor muscular. A amostra foi composta por 18 homens e 9 mulheres corredores e triatletas treinados, com idade média de 21,8 anos. Os resultados evidenciaram melhora na capacidade de corrida, menor produção de catabólicos, aumento na atividade antioxidante, diminuição inflamatória, pós treinamento. A suplementação aguda desta fruta é sugerida para consumo de atletas de resistência de alto rendimento, que buscam mitigar os efeitos danosos do treino e a melhora da performance.

Polley et al. (2019), realizaram estudo com o propósito de analisar os efeitos do consumo de cereja ácida Montmorency com e sem associação ao exercício aeróbio. A amostra foi composta por 12 homens com peso normal, com idade média de 22,3 anos. Os resultados evidenciaram aumento na capacidade antioxidante pós-prandial. Os autores sugerem que o consumo desta fruta associado ao exercício físico melhora a capacidade antioxidante dos praticantes.

O néctar de groselha preta foi pesquisado por Hutchison et al. (2016), que teve como objetivo analisar sua eficácia na diminuição dos sintomas de dano muscular provocado por exercício físico de força muscular excêntrica, com cargas supramáximas. A amostra foi composta por 16 universitários, randomizados, que consumiram 450 ml de néctar de groselha preta ou um placebo, duas vezes por dia durante oito dias consecutivos. Os resultados atestaram que o consumo desta fruta antes e depois de uma sessão de exercícios excêntricos amenizam o dano e a inflamação muscular.

O suco de tomate foi investigado para avaliar seu efeito antioxidante associado ao exercício de resistência aeróbia de curta duração. A amostra foi composta 15 sujeitos não treinados, que realizaram exercício físico em bicicleta ergométrica, com duração de 20 minutos a 80% da frequência cardíaca máxima. Os resultados apontam que o consumo diário de suco de tomate apresenta efeito antioxidante em indivíduos não treinados em resistência aeróbia (HARMS-RINGDAHL; JENSSEN; HAGHDOOST, 2012).

O mirtilo é abundante em antocianinas com grande potencial antioxidante. Essa fruta foi investigada por McAnulty et al. (2011), com o propósito de verificar seu efeito sobre o estresse oxidativo, inflamação e alterações imunológicas. A amostra foi composta por 25 indivíduos, atletas, sexo masculino, que consumiram diariamente 250g de mirtilo, durante 6 semanas, e 375g 1h antes da realização um teste de 2,5 horas de corrida em intensidade submáxima. Os resultados mostraram que a ingestão aguda reduz o estresse oxidativo e aumenta as citocinas anti-inflamatórias.

Nieman et al., (2015), estudaram os efeitos da ingestão de banana e pera no desempenho e recuperação no ciclismo de 75 Km em atletas de resistência em jejum noturno. A amostra foi composta 20 homens atletas de ciclismo/elite, com idade média de 39,2 anos. Os resultados indicam que a ingestão de banana e pera melhora o desempenho no ciclismo de 75 km, diminui a utilização e oxidação de ácidos graxos e os compostos fenólicos aumentam a capacidade antioxidante. O consumo de banana durante o esforço de longa duração favorece particularmente a recuperação dos atletas.

Knab et al. (2013), estudaram os efeitos de um suco de frutas ricas em flavonoides, composto por maçã vermelha, laranja, pimentão vermelho, cenoura, brócolis, salsa, tomate, pepino, amoras, morangos, amora silvestre e abacaxi, sobre o repouso crônico e inflamação pós-exercício, estresse oxidativo e função imunológica. A amostra foi constituída por 9 nadadores, que durante 10 dias realizaram treinamento intervalado de alta intensidade e consumiram o equivalente a 230 mg de flavonoides, antes e depois do treino. Os resultados indicaram que o consumo de bebida rica em polifenóis atenuaram os danos e a inflamação muscular no grupo de não atletas.

O consumo de polifenóis para melhora do desempenho vem ganhando espaço entre os esportistas e praticantes de atividades físicas, particularmente pelo fato deste tipo de suplemento está associada as suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, que aumentam a capacidade antioxidante endógena (SABOU et al., 2021).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 TIPO DE ESTUDO

Trata-se de um estudo experimental Souza (2019), para elaboração de um hidrogel composto de guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) e cará-de-espinho (*Dioscorea altissima* Lam.) com potencial para suplementação nutricional.

3.2 LOCAIS DE REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos desta pesquisa foram realizados nas seguintes instituições e laboratórios:

Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

Laboratório de Atividade Biológica - BIOPHAR
Laboratório de Cultura de Células - BIOPHAR
Laboratório de Fotoquímica e Semissíntese – FITOPHAR
Laboratório de Polímeros Nanoestruturados - NANOPOL
Laboratório de Nanotecnologia de Produtos Naturais – NANONAT
Laboratório de Fisiologia
Laboratório de Ensaio e Pesquisas de Combustíveis – LAPEC
Laboratório de Processos de Separação
Laboratório de Análise Sensorial de Alimentos
Centro de Apoio Multidisciplinar - CAM

Universidade do Estado do Amazonas (UEA)

Centro Multiusuário para Análise de Fenômenos Biomédicos

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Laboratório Temático de Química de Produtos Naturais
Laboratório de Bioquímica e Fisiologia Vegetal

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)

Laboratório de Química Analítica
Laboratório Multiusuários em Nanotecnologia

3.3 FASES DA PESQUISA

O projeto foi dividido em três fases conforme **Figura 6**:

PRIMEIRA FASE (1 - OBTENÇÃO DA MATERIA-PRIMA; 2 - LIMPEZA, SECAGEM E TRITURAÇÃO; 3 – EXTRAÇÃO DO AMIDO DE CARÁ-DE-ESPINHO; 4 – EXTRAÇÃO DO GUARANÁ; 5 - LIOFILIZAÇÃO DO EXTRATO DE GUARANÁ; E 6 - FORMULAÇÃO DO HIDROGEL).

SEGUNDA FASE (1 - ATIVIDADE ANTIOXIDANTE; 2 - ANÁLISE REOLOGICA; E 3 – CITOTOXICIDADE PELO MÉTODO ALAMAR BLUE).

TERCEIRA FASE (1 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL; 2 - ANÁLISE DRX; 3 – DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AMILOSE; E 4 - ANALISE DE HPLC).

Figura 6 – Fases da Pesquisa



3.4 AQUISIÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

3.4.1 GUARANÁ (*Paullinia cupana var. sorbilis*)

O pó de guaraná, Guaraná de Maués®, foi adquirido da empresa D'Amazônia Origens (**Figura 9**), que possui o selo de Indicação Geográfica e Número Serial que garante a rastreabilidade e segurança da origem da matéria prima. Foi colhido a mão, safra 2018/2019, sendo escolhido somente a fruta madura, despolpado sem uso dos pés e lavado em água limpa

antes de ser torrado e peneirado. Seu pó é altamente solúvel e com um sabor inconfundível o que lhe garante o Selo da Indicação Geográfica de Procedência.

3.4.2 CARÁ-DE-ESPINHO (*Dioscorea altissima* Lam.)

Os tubérculos de cará-de-espinho (*Dioscorea. altissima. Lam*) foram adquiridos na Unidade Educativa de Produção de Agricultura, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) - Campus Manaus - Zona Leste, localizado nas coordenadas S 04' 53,1" e W 059° 56' 02,9" (**Figura 8**). O projeto foi cadastrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético (SIGGEN Nº. AOFF5F64.5 EXTRAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA.

3.5 EXTRAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

3.5.1 EXTRAÇÃO DO CARÁ-DE-ESPINHO (*Dioscorea altissima. Lam*)

A extração aquosa do amido do cará-de-espinho foi realizada conforme metodologia De Melo Neto et al. (2015), modificado e adaptado (**Figura 6**). Os tubérculos foram submetidos às etapas de higienização e sanitização em água clorada (100 ppm) por 15 min., lavados com água potável para eliminação de terra e demais corpos estranhos.

O descascamento foi feito de forma manual com os tubérculos dentro de um recipiente. Em seguida os tubérculos foram colocados imersos em outro recipiente com água e cortados em pedaços pequenos de 0,3 cm x 0,3 cm x 0,3 cm. A polpa de cará-de-espinho foi adicionada apenas água destilada como solvente na proporção de 1:2 (ms/va) de acordo com a **Equação 1**, para posterior trituração por cinco minutos em liquidificador doméstico.

$$\text{Extração do amido\%} = m_s/v_a^2 \times 100$$

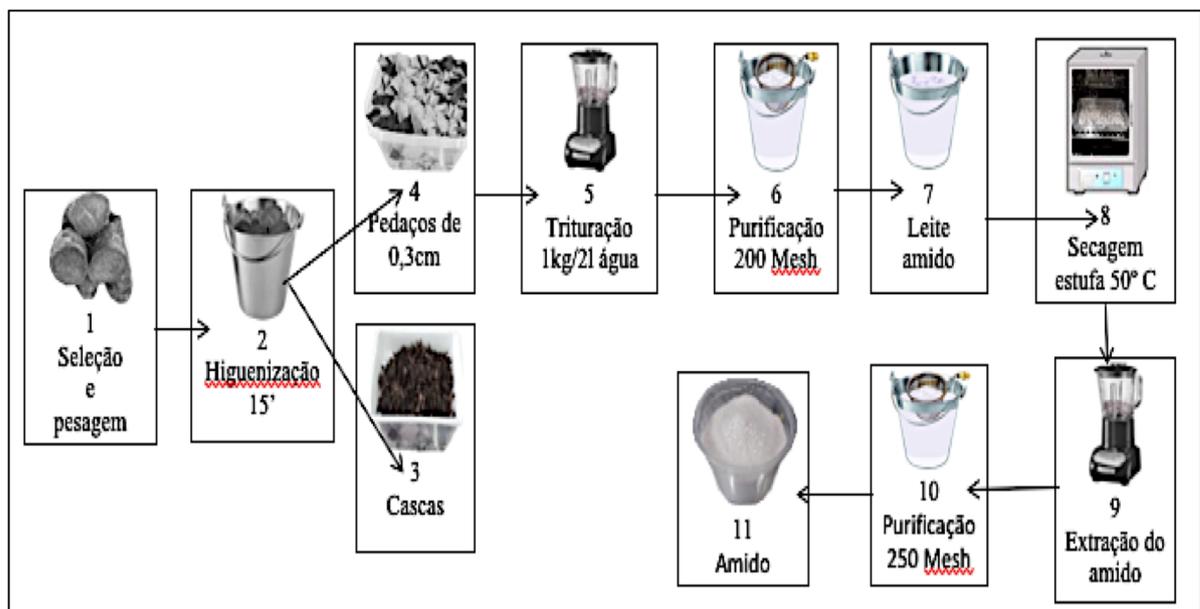
Onde: m_s = massa de polpa de cará-roxo (g)
 v_a = volume de água destilada (ml)

Equação 1

A filtração foi feita em sacos de malha poliéster 40x40cm, com abertura de malha próxima a 200 mesh, sendo o sobrenadante descartado. A goma purificada foi disposta em bandeja de alumínio para decantação por 24 horas, em temperatura ambiente com a finalidade de estimular a ação enzimática.

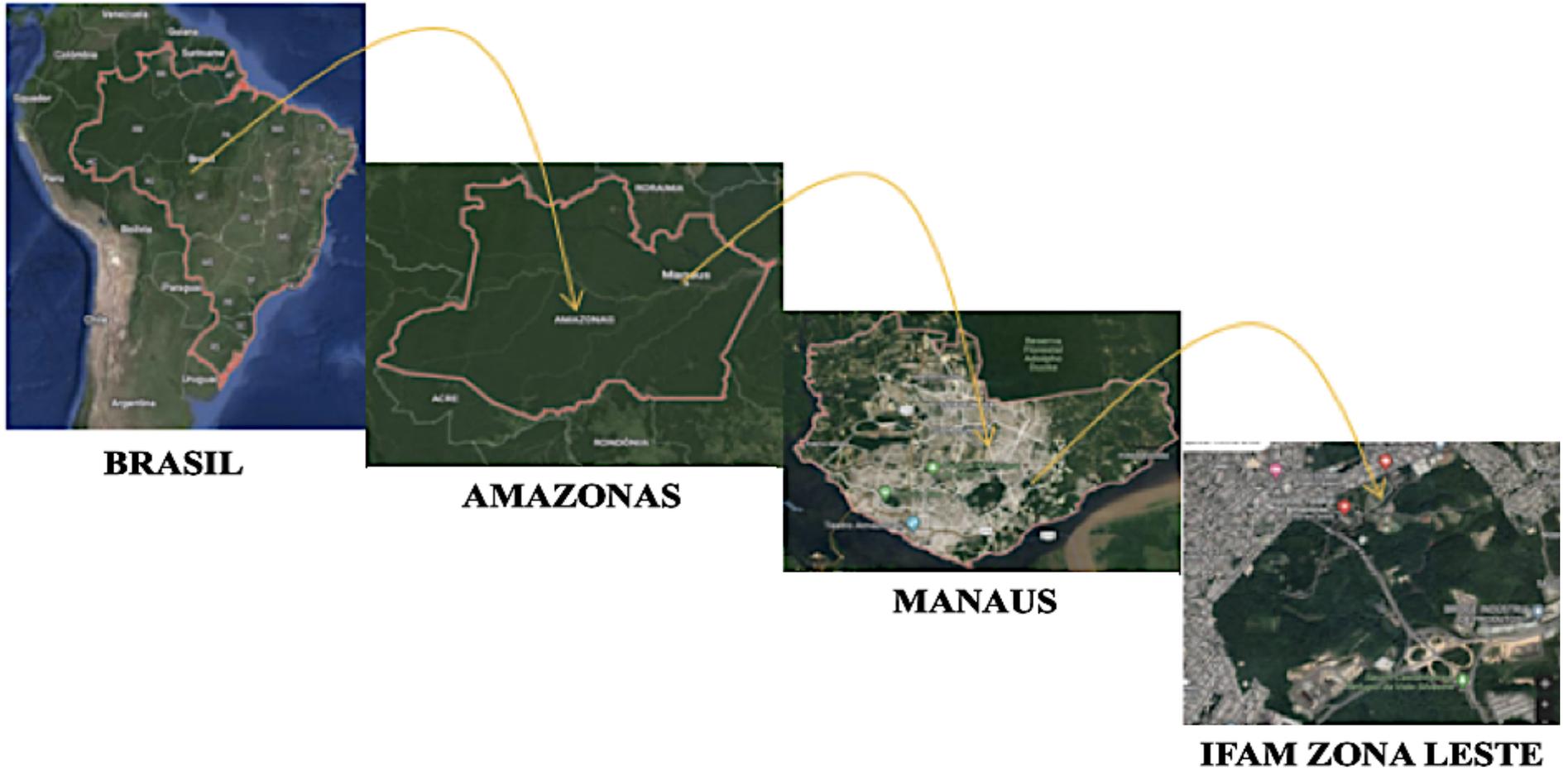
O material decantado foi desidratado em estufa com circulação de ar a 50°C por 72 horas até atingir o mínimo de umidade para a obtenção da goma. Por fim, a amostra foi moída em liquidificador. A goma pulverizada foi classificada por tamanho através de peneiramento em peneiras com abertura de 250 mesh (ABNT), em seguida acondicionada em sacos plásticos com capacidade para 500g com fechamento hermético, armazenadas e mantidas em ausência de luz, em sala com temperatura entre 28 e 37°C até o momento da execução das análises. O rendimento da extração foi calculado como porcentagem de massa de amido obtida, em relação à massa bruta de tubérculos empregada, com a sua umidade original.

Figura – 7 Processo de extração aquosa do amido do cará-de-espinho



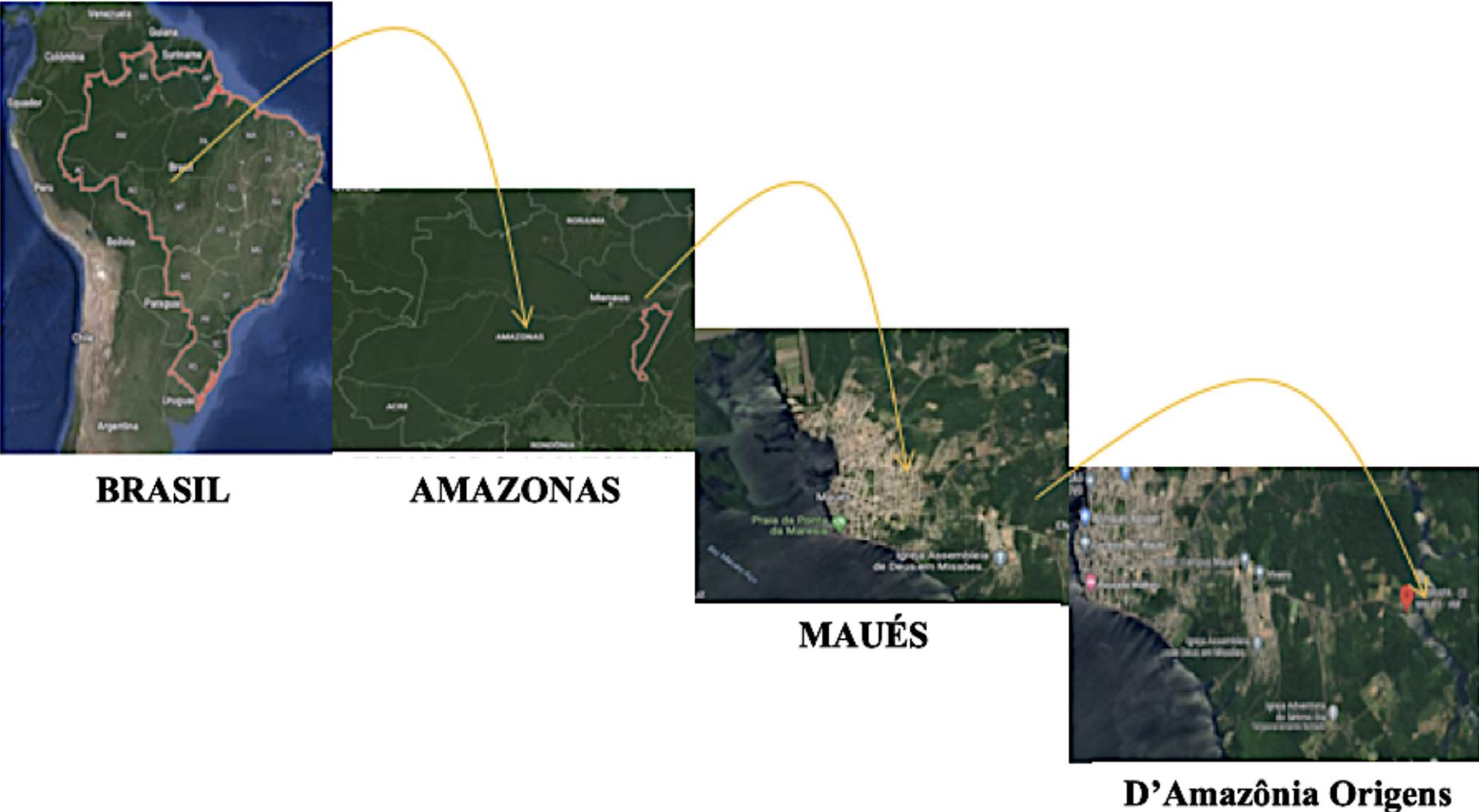
Fonte: Modificado e adaptado de LEÃO, 2021.

Figura – 8 Local de cultivo do cará-de-espinho (*D. altissima. Lam*) – Instituto Federal do Amazonas



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura – 9 Local de produção do guaraná D’Amazônia Origens – Município de Maués/AM



Fonte: Elaborado pelo autor

3.5.2 EXTRATO DO GUARANÁ (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*)

Para obtenção das frações solúveis, o extrato foi obtido como descrito por Bittencourt et al. (2013), com modificações. O extrato hidroalcoólico de *Paullinia cupana* foi produzido utilizando álcool 70:30 e água para 100 mL de fluido de extração preparado na concentração de 300 mg/mL. Após 24 h de extração, a suspensão foi submetida a filtragem em papel Whatman No.1 e o sobrenadante foi isolado. O etanol foi removido usando um evaporador rotativo a pressão reduzida, 50° a 115 rpm, e posteriormente foi liofilizado para determinar as composições, bem como para realizar outros procedimentos experimentais.

3.6 LIOFILIZAÇÃO DO EXTRATO DE GUARANÁ (Friezer-dryer)

O processo de liofilização do guaraná foi realizado no Laboratório de Alimentos e Nutrição-LAN da Coordenação de Sociedade, Ambiente e Saúde (CSAS) do INPA, em liofilizador modelo L101 (Liobras Brasil), composto por câmara e tampa em acrílico, sistema de vácuo, bandejas inox e acabamento sanitário espelhado. Depois de congeladas a (-18 °C) o extrato de guaraná foi desidratado por 48 horas à -40°C. O guaraná congelado foi encaminhado para a câmara de vácuo com aumento gradativo da temperatura, reduzindo-se deste modo a pressão circunvizinha, o que permite à água congelada no material passar diretamente da fase sólida para a fase de vapor, sem tornar-se líquido durante o processo. A temperatura da zona de sublimação no material liofilizado foi mantida abaixo da temperatura do ponto triplo da água ou solução aquosa do açaí desidratado. Este processo, entretanto, permitiu manter a estrutura, as propriedades nutritivas e as características originais do açaí, com aumento da estabilidade do produto durante a estocagem.

3.7 PREPARO DO HIDROGEL COMPOSTO DE GUARANÁ E CARÁ-DE-ESPINHO

Foram produzidas amostras com diferentes concentrações usando extrato de guaraná liofilizado e amido de cará-de-espinho, conforme requisitos específicos de BRASIL (2010). As formulações foram submetidas ao aquecimento em banho-maria a uma temperatura de 75 ° C por 30 min, com agitação mecânica constante a 750 rpm, usando bastão de vidro para evitar a formação de grumos, até a formação de um hidrogel. Os teores de extrato de guaraná e amido de cará-de-espinho empregados na obtenção do hidrogel estão apresentados na **Tabela 2**. Após o período de endurecimento, foram avaliados os parâmetros reológicos sob cisalhamento oscilatório.

3.8 TESTES ANTIOXIDANTES

3.8.1 VARREDURA DO RADICAL 2,2-DIPHENYL-1-PICRYLHYDRAZYL (DPPH•)

A atividade sequestrante do radical lipossolúvel DPPH• foi realizada segundo metodologia utilizado por Mahmoudi et al. (2009), com modificações relacionadas ao volume alterado para microplaca.

Tabela 2 - Formulação do hidrogel composto de cará-de-espinho e extrato de guaraná

Proporções das matérias-primas			
Formulação	Material de base (g.100g ⁻¹ de solução)	Material de base (g.100g ⁻¹ de solução)	Material de base (ml/100ml)
	ACE%	GL%	H ₂ O ml
5ACE +10GL	5	10	85
10ACE + 5GL	10	5	85
10ACE +10GL	10	10	80

ACE: amido de cará-de-espinho; GL: extrato guaraná liofilizado.

Foram pesados 2 µg de DPPH (Diphenil-picryl-hidrazina) e dissolvidos em 10 mL de etanol absoluto. Uma alíquota de 30 µL das amostras em concentração de 1 µg.mL⁻¹ foi adicionada num poço. Para conhecer a absorbância dos brancos específicos (Abs_{controle}), em placa de 96 poços foram adicionados 0,270 µL das diluições dos extratos em triplicata e as absorbâncias foram mensuradas em espectrofotômetro UV-Vis no comprimento de onda 515 nm no leitor de Elisa DTX Beckman Coulter. Após a primeira leitura, foi adicionado 0,100 mL da solução de DPPH e a placa permaneceu incubada ao abrigo da luz por 30 minutos. A segunda leitura (Abs_{amostra}) foi mensurada a redução do radical livre DPPH a 492 nm. Como controle negativo foi utilizado o DMSO mais 0,100 mL de solução de DPPH. Os ensaios foram feitos em triplicata e os resultados foram expressos em porcentagem de inibição do DPPH, calculado segundo a equação abaixo. Os resultados foram expressos em µg/mL de equivalente trolox por grama de peso seco.

$$\% \text{ inibição} = 100 - [\text{Abs}_a / \text{Abs}_c] \times 100$$

Abs_a=Absorbância da Amostra;

Abs_c=Absorbância do controle

3.8.2 VARREDURA DO RADICAL ABTS+•

O ensaio foi realizado mediante o método descrito por Shanty, (2018) com modificações. Inicialmente, foi preparada a solução de ABTS 0,7 mM em 5 mL de água deionizada e 5 mL de perssulfato de potássio 2,4 mM. Em seguida, foi incubada a mistura reacional em temperatura ambiente na ausência de luz por 12 h para obtenção de uma solução oxidada de tonalidade azul esverdeada. Antes de plaquear, o ABTS oxidado foi diluído (1:5) com água deionizada, após o plaqueamento foi incubado por 15 min na ausência de luz à temperatura ambiente e realizada a leitura no leitor de microplaca em 620 nm. Os resultados foram expressos em porcentual de inibição e a CI50 foi calculado através do programa GraphPad Prism 6.0. O padrão utilizado foi o ácido gálico.

$$\% \text{ inibição} = 100 - [\text{Abs}_a / \text{Abs}_c] \times 100.$$

3.8.3 TEAC (TROLOX EQUIVALENT ANTIOXIDANT CAPACITY)

A determinação foi realizada seguindo o protocolo de Erel (2004). Foi preparada uma solução de ABTS como descrita anteriormente no item 4.8.2. Após o repouso de 12 – 16 h, a solução estoque de ABTS oxidada foi diluída até obter uma absorbância de $1.000 \pm 0,1$ em comprimento de onda de 630 nm, em leitor de Elisa (DTX 800 Multimode Detector, Beckman

Couter). Na microplaca de 96 poços de fundo chato, foram adicionados 300 μL do ABTS diluído e 10 μL de soro, foi incubado por 15 min, à temperatura ambiente e ao abrigo da luz. A concentração de CAT foi calculada usando como padrão solução de 1 mmol/L de Trolox[®] (ácido 2-carboxílico-6-hidroxi-2,5,7,8- tetrametilcromano) e os resultados dos ensaios foram expressos em mmol Trolox Equivalente/L.

3.9 ANÁLISE REOLÓGICA DO HIDROGEL

Os parâmetros reológicos das formulações de hidrogel, foram através de um reômetro controlado por tensão, modelo Modular Compacto: MCR 72 (Anton Paar Brasil LTDA.), como mostra a **Figura 10**. Foram utilizadas placas de alumínio de aço inoxidável paralela de 1° com 40 mm de diâmetro e 0,5 mm de lacuna ranhuradas para evitar o deslizamento da amostra com um gap fixo de 800 μm , que permitiu medir torques de 0,1 μNm a 200 μNm segundo metodologia de Liu et al. (2019). Primeiramente, o comportamento das soluções do hidrogel foram estudadas na faixa de deformação γ (s^{-1}) entre a faixa de varredura logarítmica com uma faixa de frequência de 10^{-3} - 10^1 Hz, variando a tensão de cisalhamento para obter uma taxa de cisalhamento entre aproximadamente 0,1 e 300 s^{-1} . A temperatura de análise foi mantida em 25°C através de um sistema de geometria que utilizou um cilindro peltier estacionário instalado na placa inferior. O *software* TRIOS foi conectado a um microcomputador para controlar o equipamento e adquirir parâmetros reológicos. As curvas de escoamento e a viscosidade aparente foram determinadas através de regime estacionário conduzido sob tração de cisalhamento constante, para verificar o comportamento viscoelástico do hidrogel em relação à resistência. Os dados de tensão de cisalhamento foram ajustados ao modelo reológico de Ostwald-de-Waele (Lei de Potência) segundo a Equação: $\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$, onde τ representa a tensão de cisalhamento (Pa); K é o índice de consistência ($\text{Pa} \cdot \text{s}^n$), $\dot{\gamma}$ é a taxa de cisalhamento (s^{-1}) e n é o índice de comportamento de fluxo adimensional. O tempo de corrida, para cada ensaio, foi programado para 2 minutos para a corrida ascendente e 2 minutos para a corrida descendente, obtendo-se 21 pontos de taxa de deformação versus taxa de cisalhamento constante. A partir do método empregado foi possível avaliar os parâmetros com as seguintes características: temperatura inicial de pasta, viscosidade mínima, temperatura no pico de viscosidade máxima, viscosidade final no ciclo de resfriamento, tendência a retrogradação (*set back*) e quebra do grânulo intumescido.

Figura 10 - Reômetro Modular Compacto: MCR 72 (Anton Paar).



3.10 TESTE DE CITOTOXICIDADE (MÉTODO ALAMAR BLUE)

A citotoxicidade do amido de cará-de-espinho, extrato líquido de guaraná, extrato liofilizado guaraná e as formulações do hidrogel foram determinadas pelo método Alamar Blue (NAKAYAMA et al. (1997). As células foram cultivadas em garrafa de cultura com meio DMEM alta glicose completo, e para o teste transferidas para placas de 96 poços em concentração celular de $0,5 \times 10^4$ células/poço (TPP, Suíça). A placa foi então mantida em cultura nos tempos de 24, 48 e 72h em incubadora de CO₂ (Modelo 4111 – Thermo Scientific – SOTELAB) a 37 °C com atmosfera de 5 % de CO₂. Após decorrido os tempos supramencionados, foram adicionadas as amostras na concentração única de $50\mu\text{g.mL}^{-1}$ e a placa permaneceu em cultura por 24 h nas mesmas condições. O grupo controle negativo recebeu no poço somente meio de cultura, e como controle positivo de fármaco padrão de morte foi utilizado Doxorrubicina na concentração de $20 \mu\text{g.mL}^{-1}$. Decorrido os tempos de 24, 48 e 72h de tratamento, foi acrescentado 10 μL da solução de uso de Alamar Blue (solução estoque 0,4% -1:20 em meio de cultura sem soro fetal bovino) em cada poço da placa. Após 3 h de metabolização de exposição ao Alamar Blue, retirando da estufa 30 min antes do término, a fluorescência foi medida usando-se um leitor de microplaca Elisa (DTX-800 Beckman Coulter). Os dados foram analisados em relação ao controle utilizando o Programa de estatística GraphPad Prisma versão 5.0.

3.11 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

3.11.1 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DO AMIDO DE CARÁ-DE-ESPINHO, EXTRATO DE GUARANÁ E HIDROGEL

A matéria prima foi analisada quanto à umidade, proteína bruta, cinzas, grau de pureza, perfil de cor, acidez titulável e pH. Foram analisadas amostras do amido de cará-de-espinho, extrato de guaraná e hidrogel em triplicata. O protocolo tem como base os princípios das Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz – (IAL, 2008). As análises microbiológicas dos teores de cinzas, proteínas, lipídios e umidade foram descritas de acordo com os métodos oficiais da Associação de Químicos Analíticos Oficiais-AOAC (2006): umidade (nº 92510), cinzas (nº 92303), lipídeos (Método de Bligh-Dyer) e proteínas (nº 92087) que tratam de metodologias padrões para análises físico-químicas de alimentos.

3.12 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AMIOLOSE

O teor de amilose purificada extraída do amido de tubérculos de cará-de-espinho, foi determinado utilizando o método colorimétrico do iodo simplificado em duplicata usando Calorimetria Diferencial de Varredura, em triplicata, usando o método de Capacidade de Ligação com Iodo. A determinação calorimétrica foi realizada utilizando-se DSC-7 (Perkin Elmer, Norwalk, EUA), utilizando-se 8 mg de amostra de amido com 40 µl de solução de 1-lisofosfatidilcolina a 2% (p/v) (L4129, Sigma Chemical Co., St. Louis), EUA) segundo metodologia de PÉREZ (2013).

Para o preparo da curva analítica foram utilizadas 10 soluções preparadas em balões volumétricos de 100 mL, preparadas a partir da solução de amilose com dição de ácido acético 1 mol. L⁻¹ (mL) e solução de iodo a 0,0001 mol. L⁻¹ (mL). Em seguida, o volume foi transferido quantitativamente para um balão volumétrico de 100 mL, completado com água destilada e agitado suavemente.

Para o preparo do branco, foi adicionado 1 mL de etanol (95%), 9 mL de hidróxido de sódio (NaOH) (1 mol. L⁻¹) e 2 mL de solução de iodo em um balão volumétrico de 100 mL. O volume foi completado com água destilada e deixado em repouso por 30 min.

A amostra de amido envolvida em papel filtro, mergulhada em solução de hexano PA e mantida sob refrigeração por 3 dias, para retirada da gordura. Da amostra desengordurada de amido, foi pesada 0,5 g, as quais foram colocadas em tubos de ensaio com tampa. Foi

acrescentado 1 mL de etanol (95%), lentamente, para evitar a formação de grumos, em seguida foram adicionados 9 mL de hidróxido de sódio (1 mol.L⁻¹), com posterior homogeneização a fim de que todos os compostos entrem em contato com os grânulos do amido. A amostra foi aquecida em banho termostatizado a 100°C por 9 min, para a gelatinização do amido, deixando esfriar por 30 minutos. Após resfriadas, as amostras foram transferidas quantitativamente para balão volumétrico de 250 mL e completado o volume com água destilada.

Da solução obtida foram pipetados 5 mL e transferidos para balão volumétrico de 100 mL, onde foi acrescentado como catalisador da reação, 1 mL de ácido acético, sob agitação, 2 mL de solução de iodo e completado o volume com água destilada, as soluções foram homogeneizadas e deixadas em repouso por 30 min. A leitura da absorbância das soluções contidas nos balões (curva analítica), padrão, branco e amostra, foram realizados em um espectrofotômetro digital, no comprimento de onda de 590 nm. Os valores obtidos foram o resultado da média de cinco leituras. O teor de amilose foi obtido a partir da curva analítica construída com amilose de cará-roxo e realizado em triplicata.

3.13 CARACTERIZAÇÃO POR HPLC DO EXTRATO DE GUARANÁ LÍQUIDO, EXTRATO DE GUARANÁ LIOFILIZADO E FORMULAÇÕES DE HIDROGEL

Para a realização deste estudo foi utilizada a técnica de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC). Foi realizada com cromatografia líquida de Shimadzu; modelo: LC-6AD. Foram usados os padrões Sigma Aldrich com especificações para catequina, cafeína e epicatequina. A separação dos padrões de guaraná foram realizadas com coluna C18 (Varian), 250 x 4,6 mm, 5 µm, comprimento de onda: 280 nm, volume de injeção: 20 µL, vazão da fase móvel: 1 mL / min, fase móvel: água: acetonitrilo: metanol: acetato de etilo: ácido acético (89: 6: 1: 3: 1), pH 3,5. Foi utilizado um sistema gradiente com duas fases móveis com os seguintes componentes: eluente A (água + ácido fórmico 0,1%) e eluente B (metanol). O sistema de fluxo foi completado com 1,0 ml/min de extratos brutos com um volume final de injeção de 60µL. O sistema operou a uma temperatura de 27°C. As condições de eluição aplicadas incluíram: 10% isocrático 0 a 4 min; Gradiente linear entre 10% a 50% do eluente B com tempo de injeção entre 4 a 15 minutos; 50% B isocrático por 15-30 min; e por fim, lavar e acondicionar a coluna. As medições de absorbância foram lidas a 270 nm, 324 nm e 373 nm, respectivamente. Os experimentos foram realizados em triplicata. A coleta de dados foi obtida em comprimentos de onda de 270 nm e 280 nm (CAVALCANTI et al., 2020b).

3.14 DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)

Os graus de organização das moléculas de polímero das amostras foram obtidos através da Espectroscopia de difração de Raio-X (DRX) com um difratômetro Shimadzu, modelo XRD 7000 (máxima) do Laboratório de Alimentos e Nutrição do IFAM, de acordo com a metodologia reportada por Alberton et al. (2014). As amostra foram colocadas em um porta-amostra de vidro próprio do equipamento e expostas a radiação UV/ionizante $\text{CuK}\alpha$, e monocromador ajustado para comprimento de onda de $\lambda = 1,542 \text{ \AA}$, operando a 35 kV e 15 mA, que contém um tubo de cobre gerador de raios X com filamento de tungstênio e monocromador de grafite no intervalo angular de 10° a 80° (ângulo de Bragg- 2θ), passo angular de $0,02^\circ$ e velocidade de $0,016^\circ \cdot \text{seg}^{-1}$. A técnica de difração de raios-X está baseada na difração de radiação eletromagnética de comprimentos de onda na ordem de 10^{-10} a 10^{-12} m , e fornece importantes informações sobre a estrutura cristalina de sólidos e é feita a partir da incidência de raios-X no material. Em todas as amostras foram feitas aplicações de "smoothing" para diminuir os ruídos instrumentais. O grau relativo de cristalinidade (X_c) é definido como a porcentagem de material cristalino na biomassa, e foi calculado baseando-se na relação entre a área dos picos (A_p) e área de base (A_b) do difratograma, de acordo com a Equação 1.

$$X_c = \frac{A_p}{(A_p + A_b)} * 100 \quad (1)$$

onde: X_c é o grau relativo de cristalinidade;

A_p é a área dos picos (cristalina);

A_b é a área de base (amorfa).

3.15 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com apoio do Departamento de Estatística da Universidade Federal do Amazonas os resultados foram descritos por meio de média, desvio padrão, frequência e percentual analisados por meio do software estatístico *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 26.0. As variáveis foram testadas quanto à normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Análises de variância (ANOVA) one-way seguido de teste Tukey para comparação entre os grupos. Os valores com $p < 0,05$ foram considerados estatisticamente significativos.

3.16 INFORMAÇÕES ÉTICAS

Para obtenção de autorização de acesso de remessa e obtenção de anuência prévia do provedor de amostra de patrimônio genético, o projeto foi cadastrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético (SISGEN Nº. AOFF5F6) em observância a Lei 13.123/2015 **(ANEXO 1)**

4 RESULTADOS

O hidrogel constituído por guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) e cará-de-espinho (*Dioscorea altíssima* Lam.) apresenta potencial para elaboração de suplemento alimentar com foco no esporte. O reconhecimento da sua capacidade funcional sobre o desempenho, permitirá a produção e comercialização de suplemento esportivo com plantas de origem amazônica com latente bioativos.

4.1 RENDIMENTO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO AMIDO DE CARÁ-DE-ESPINHO E EXTRATO DE GUARANÁ

Na **Tabela 3**, apresentamos o rendimento do processo de extração do guaraná e do cara-de-espinho. Para o preparo do extrato hidroalcolico de guaraná foi utilizado: 350g de guaraná em pó, que depois de passar pelas etapas de filtragem, rotavaporização e liofilização obteve-se o rendimento de 58,6g (16,7%) de extrato de guaraná. Em relação ao cara-de-espinho foram utilizados 2.037,4 g de tubérculos *in natura*, que após processamento de extração aquosa obteve-se rendimento de 168,8g de amido (8,28%).

Tabela 3 – Rendimento do processo de extração em % do amido de cará-de espinho *in natura* e extrato de guaraná liofilizado em pó (g).

Produto	Volume	
Amido de Cará-de-espinho	2037,4g <i>in natura</i>	168,8g (8,28%)
Guaraná liofilizado	350g em pó	58,6g (16,7%)

Em relação ao guaraná, Maul (2001) realizou três procedimentos de extração obtendo os seguintes resultados: por extração hidralcoólica (16,7%), por soxhlet (15,2 %) e extração supercrítica (9,2%). Valores semelhantes foram encontrados no presente trabalho em comparação com os resultados obtidos por Silva et al. (2017) e Yonekura et al. (2016).

4.2 FORMULAÇÃO DO HIDROGEL COMPOSTO DE CARÁ-DE-ESPINHO E GUARANÁ

Cada amostra de hidrogel foi testada à temperatura ambiente, até se chegar à composição de textura desejada após o período de endurecimento, quanto aos parâmetros reológicos sob cisalhamento oscilatório de gelatinização. Os hidrogéis foram avaliados em função da correlação de aceitação do consumidor com as propriedades reológicas como a sua viscosidade, solubilidade, densidade e umidade.

Com vista a elaboração de um hidrogel para consumo humano, não tóxico e biodegradável, optamos pelo uso de polímeros naturais, como os polissacarídeos encontrados no guaraná e no amido de cara-de-espinho. Destacamos que para todas as formulações elaboradas, foi possível a obtenção de hidrogel (**Figura 11**).

Figura 11 - Hidrogel composto de guaraná e cará-de-espinho nas formulações de hidrogel 5ACE/10GL, hidrogel 10ACE/5GL e hidrogel 10ACE/10GL ((g.100g⁻¹desolução)

		
5ACE10GL ACE 5% GL 10% H ₂ O 85 ml	10ACE5GL ACE 10% GL 5% H ₂ O 85 ml	10ACE10GL ACE 10% GL 10% H ₂ O 80 ml

ACE – AMIDO DE CARÁ-DE-ESPINHO; GL-GUARANÁ LIOFILIZADO

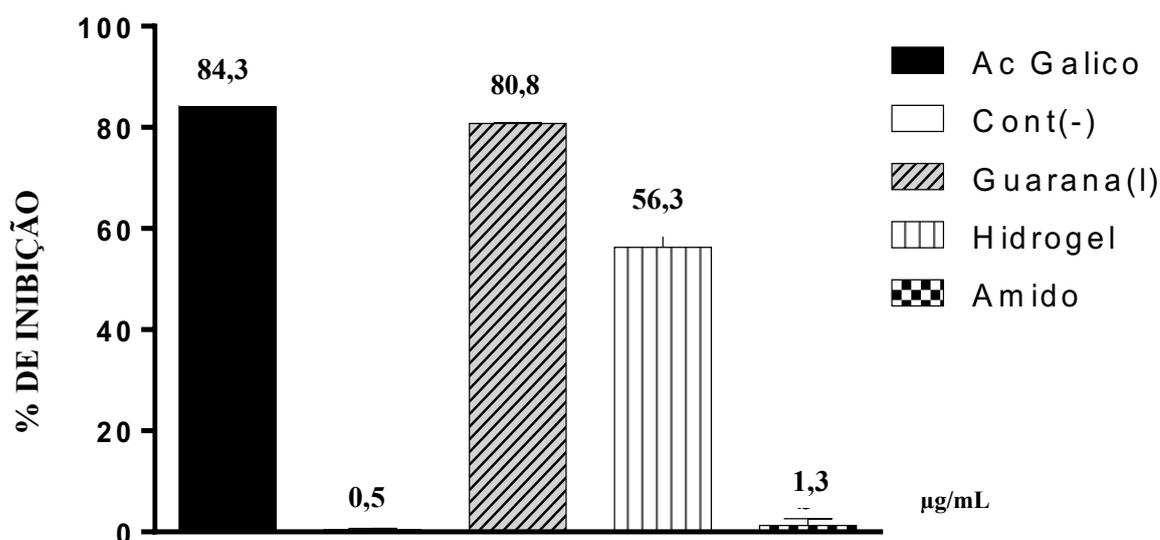
4.3 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO GUARANÁ LIOFILIZADO, AMIDO DE CARÁ-DE-ESPINHO E HIDROGEL COMPOSTO DE GUARANÁ E CARÁ-DE-ESPINHO

Na **Tabela 4** e **Figura 12** apresentamos os valores da capacidade antioxidante das amostras de guaraná liofilizado, hidrogel e amido de cará-de-espino. Os resultados obtidos na determinação da capacidade sequestrante do radical DPPH são expressos em percentagem de inibição, mediante a curva de inibição expressos em $\mu\text{g/mL}$. Os valores obtidos pelo método de captura do radical DPPH: Guaraná liofilizado ($80,9 \mu\text{g/mL}$), Hidrogel ($56,3 \mu\text{g/mL}$), Amido de cará-de-espino ($1,3 \mu\text{g/mL}$), Ac. Gálico ($84,3 \mu\text{g/mL}$) e Controle negativo ($0,5 \mu\text{g/mL}$). O guaraná foi o produto com maior atividade antioxidante seguido do hidrogel.

Tabela 4 - Valores obtidos no método de captura do radical DPPH

Amostra $100 \mu\text{g mL}^{-1}$	$\mu\text{g/mL} \pm \text{DP}$
Guaraná liofilizado	$80,8 \pm 0,2$
Hidrogel	$56,3 \pm 2,6$
Amido de cará de espino	$1,3 \pm 0,3$
Ac Gálico	$84,3 \pm 0,3$
Controle (-)	$0,5 \pm 0,2$

Figura 12 - Atividade antioxidante, pelo método DPPH, do guaraná liofilizado, amido de cará-de-espino e hidrogel

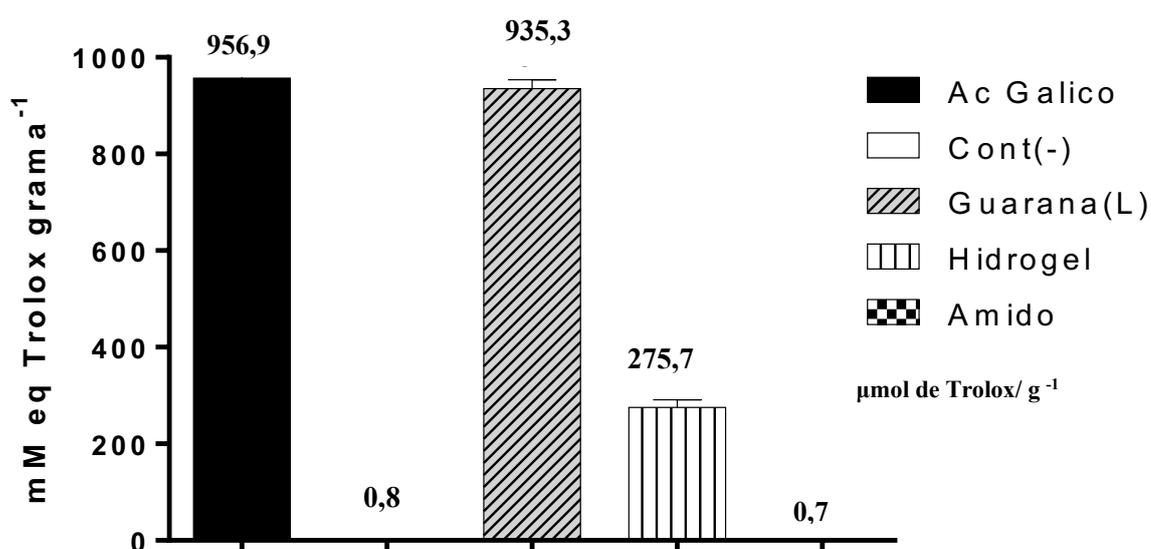


O potencial antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC) das mostras de guaraná liofilizado, hidrogel e do amido de cará-de-espinho são apresentados na **Tabela 5** e **Figura 13**. O guaraná liofilizado apresentou maior expressão em sequestrar radicais livres pelo método de Trolox equivalente (TEAC), com valor de 935,3 ($\mu\text{mol de Trolox/ g}^{-1}$) cujo valor foi superior ao hidrogel que apresentou valor de 275,7 ($\mu\text{mol de Trolox/ g}^{-1}$), o amido de cará-de-espinho com valor de 0,7 ($\mu\text{mol de Trolox/ g}^{-1}$), Ac. Gálico 956,9 ($\mu\text{mol de Trolox/ g}^{-1}$) e Controle negativo 0,8 ($\mu\text{mol de Trolox/ g}^{-1}$). Estes resultados permitem inferir que por este método também identificamos elevada capacidade antioxidante das amostras.

Tabela 5 - Valores obtidos no método de captura do radical ABTS, expresso em TEAC

Amostra 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$	Valor de TEAC ($\mu\text{mol de Trolox g}^{-1}$ de amostra \pm DP)
Guaraná liofilizado	935,3 \pm 18,6
Hidrogel	275,7 \pm 15,7
Amido de cará de espinho	0,7 \pm 0,2
Ac Gálico	956,9 \pm 12,7
Controle (-)	0,8 \pm 0,1

Figura 13 - Atividade antioxidante, pelo método TEAC ($\mu\text{mol de Trolox g}^{-1}$) na concentração de 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ o padrão usado foi ácido gálico. As letras diferentes indicam diferencia estatística significativa pelo teste one-way ANOVA de comparação múltipla de tukey, $p < 0,05$.

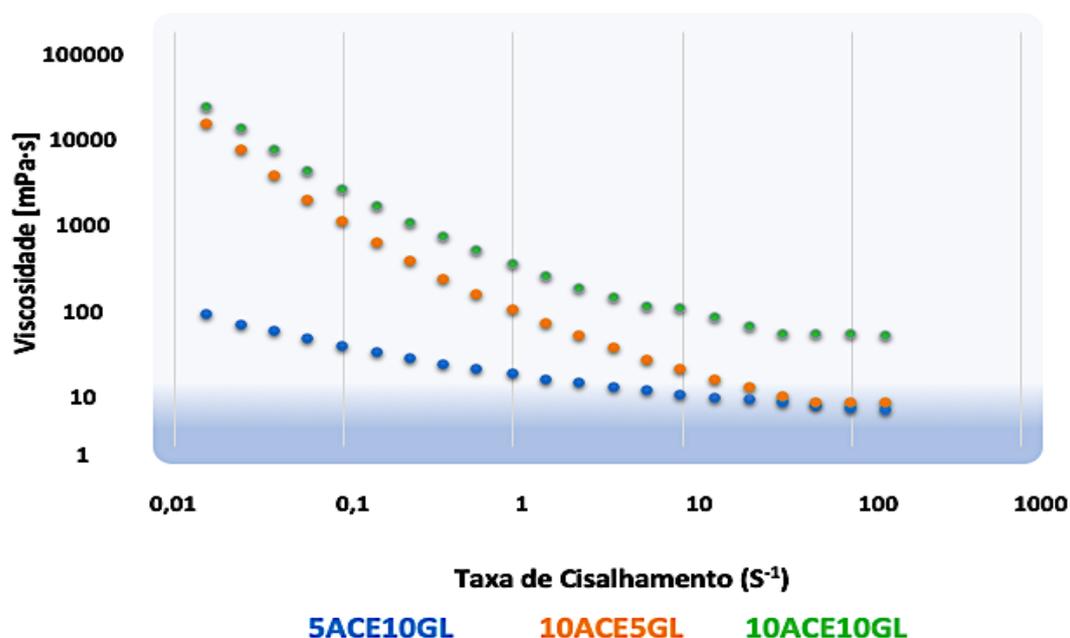


Os resultados permitem inferir que existe uma relação entre as concentrações elevadas de compostos fenólicos totais e a capacidade antioxidante das amostras analisadas. Neste contexto, os maiores conteúdos de compostos fenólicos totais foram as que apresentaram a maior atividade antioxidante, tanto utilizando os radicais DPPH, como os radicais TEAC.

4.4 ANÁLISE REOLÓGICA DO HIDROGEL

Ao estudar o comportamento reológico do hidrogel composto de amido de cará-de-espinho (ACE) e extrato de guaraná liofilizado (GL), os experimentos em duplicata foram realizados a 25°C. Na **Figura 14**, apresentamos as curvas do fluxo de viscosidade aparente versus taxa de cisalhamento do hidrogel de amido de cara-de espinho com a adição do extrato de guaraná liofilizado. As concentrações das amostras analisadas foram: 5ACE10GL, 10ACE5GL e 10ACE10GL. Outro aspecto, foi que o desempenho reológico referente à viscosidade aparente foi avaliado em função da taxa de cisalhamento fixada em 100 s^{-1} e o estresse de $0,01 \text{ s}^{-1}$ foram escolhidos para os testes de varredura de frequência, o que é comumente associada às condições do processo alimentar.

Figura14 - Curvas do fluxo de viscosidade aparente VS taxa de cisalhamento (100 s^{-1}) do hidrogel de amido de cará-de-espinho com a adição do extrato de guaraná liofilizado.



Fonte: Dados da pesquisa 2022

Os resultados da análise reológica apresentam viscosidade aparente versus a taxa de cisalhamento em fluxo estacionário, com as curvas de escoamento para as três soluções do

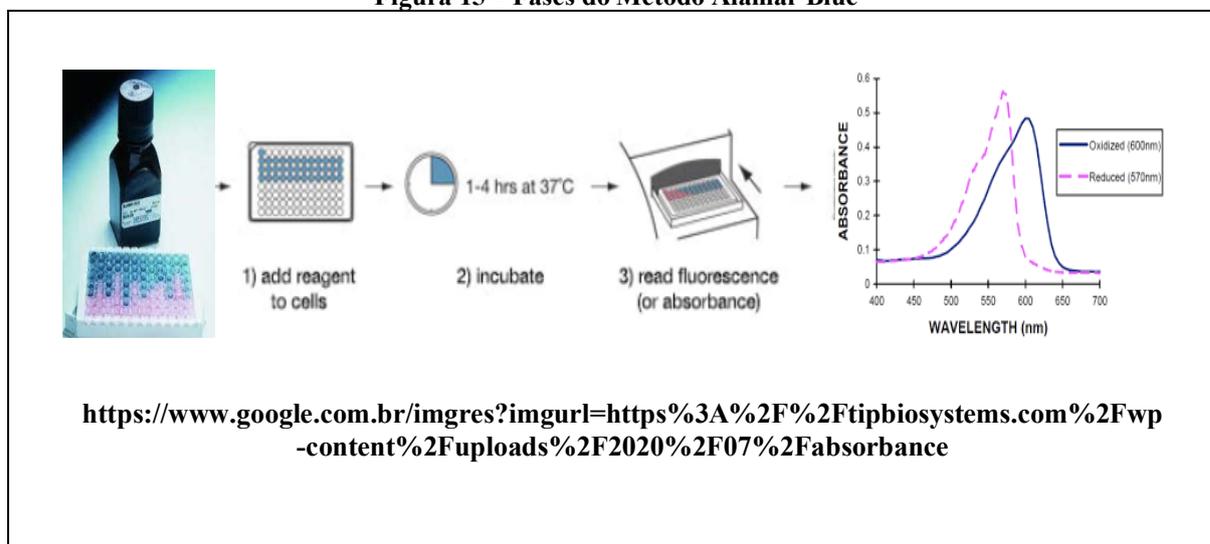
hidrogel, onde se confirma que nenhuma faixa viscoelástica linear entre $0,01$ e $10s^{-1}$ foi observada. Analisando-se as curvas de fluxo da viscosidade aparente, nota-se que para a temperatura estudada ($25^{\circ}C$) a extensão do espessamento das amostras dos hidrogéis não são constantes e variam com as proporções dos agentes nas soluções. Foi investigado que a adição do amido de cará-de-espinho na solução 10ACE5GL provocou uma diminuição acentuada na viscosidade aparente, porém, tal adição não alterou o comportamento reológico do hidrogel.

4.5 TESTE DE CITOTOXICIDADE (MÉTODO ALAMAR BLUE)

Foram analisadas quanto a citotoxicidade amostras do extrato líquido de guaraná, extrato seco de guaraná (liofilizado), amido do cara-de-espinho, hidrogel 5ACE/10GL, hidrogel 10ACE/5GL e hidrogel 10ACE/10GL.

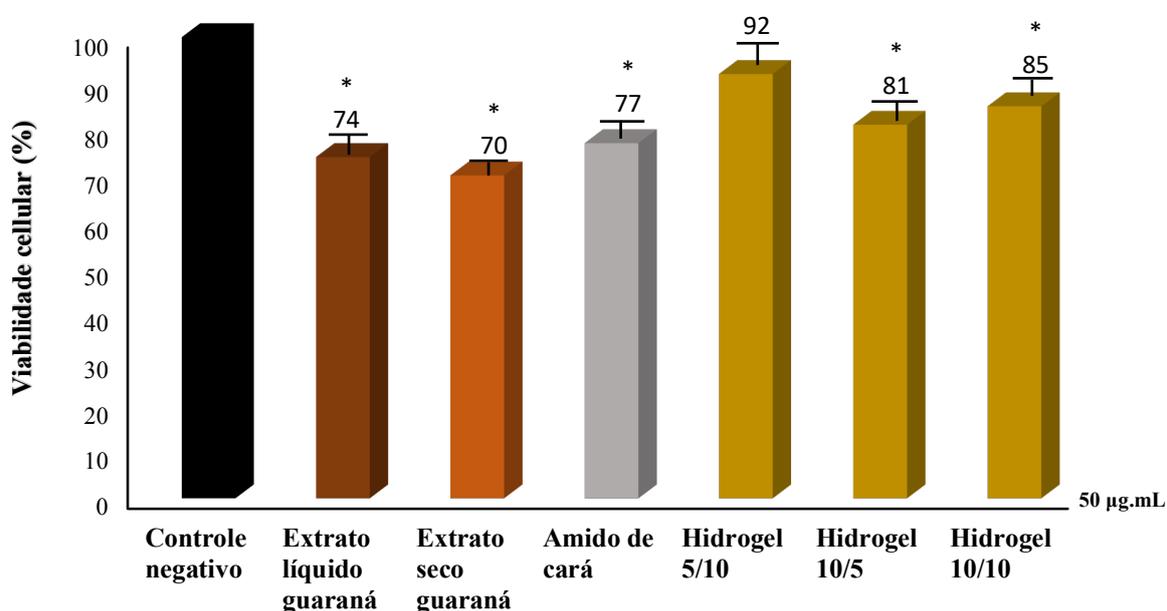
O método Alamar Blue (**Figura 15**) envolveu a adição de indicador colorimétrico redox para controle do crescimento de células. Foi determinada a concentração inibitória capaz de provocar a morte ou a inativação metabólica de 50% das células cultivadas. Esse parâmetro forneceu dados a respeito do perfil citotóxico das amostras supracitadas, sobre a linhagem de fibroblastos humanos MCR-5.

Figura 15 – Fases do Método Alamar Blue



Após o tempo de incubação, observamos células viáveis a uma concentração de $50 \mu\text{g/mL}$ com valores sempre maiores que 50%. Abaixo da concentração $50 \mu\text{g/mL}$, o hidrogel de cará-de-espinho 5ACE/10GL, hidrogel 10ACE/5GL e hidrogel 10ACE/10GL não mostraram nenhum dano, quando comparada com as células de controle negativo (não tratado).

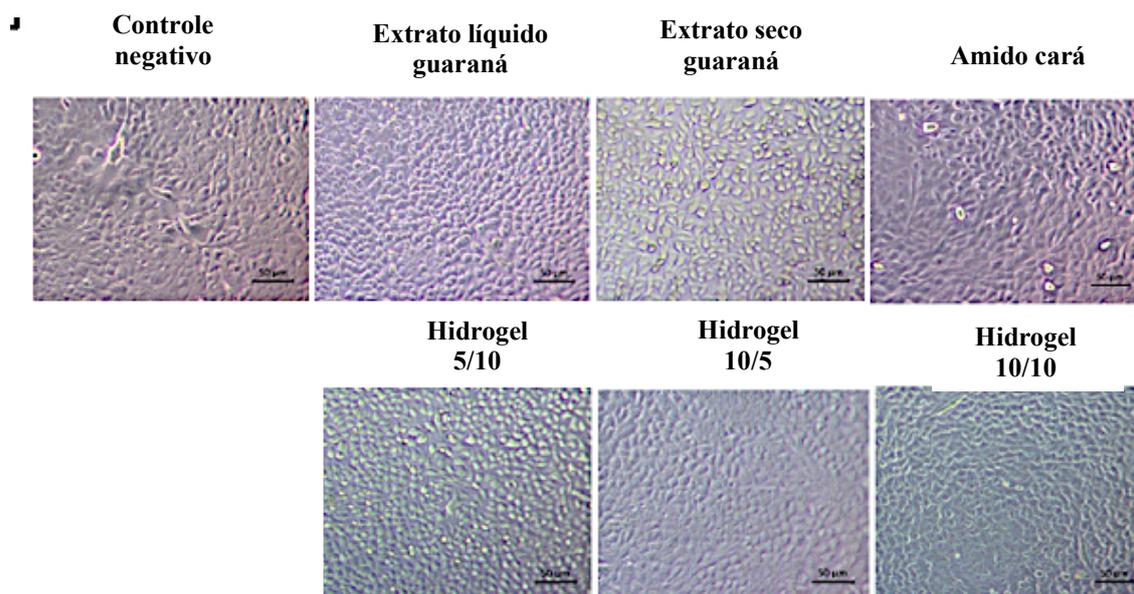
Figura 16 - Perfil citotóxico das amostras: extrato líquido de guaraná, extrato seco de guaraná (liofilizado), amido do cara-de-espinho, hidrogel 5ACE/10GL, hidrogel 10ACE/5GL e hidrogel 10ACE/10GL



As amostras não apresentaram efeito citotóxico em MRC-5 nas concentrações testadas, ou seja, não apresentaram citotoxicidade na concentração de 50 µg.mL⁻¹ (**Figura 16**). Após 72h de exposição das células humanas MRC5 a viabilidade celular foi de: extrato líquido de guaraná (74,0%), extrato liofilizado de guaraná (70%), amido do cara-de-espinho (77%), hidrogel 5ACE/10GL (92%), hidrogel 10ACE/5GL (81%) e hidrogel 10ACE/10GL(85%).

Na **Figura 17** apresentamos imagens da morfologia das células MRC-5, incubadas em meio DMEM durante 72h. Alterações morfológicas foram observadas e comparadas com células não tratadas (ST). A cultura de células foi examinada e fotografada usando um microscópio invertido (40X).

Figura 17 – Imagens da morfologia das células MRC-5



4.6 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DO EXTRATO DE GUARANÁ, AMIDO DE CARÁ-DE-ESPINHO E DO HIDROGEL.

Os resultados da composição centesimal do extrato de guaraná, amido de cará-de-espinho e hidrogel são apresentados na **Tabela 6**. Entre as amostras analisadas, o hidrogel composto de extrato de guaraná liofilizado e amido de cará-de-espinho é o único produto que não possui valores de composição química estabelecidos pela Farmacopeia Brasileira. Neste compêndio farmacêutico nacional que estabelece é possível identificar as exigências mínimas de qualidade, autenticidade e pureza de insumos farmacêuticos, de medicamentos e de outros produtos sujeitos à vigilância sanitária.

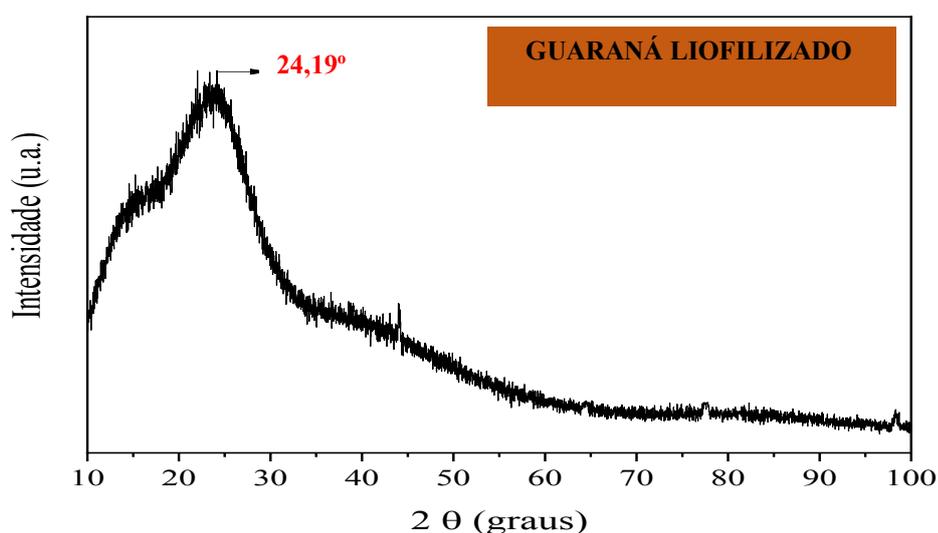
Composição	Extrato de Guaraná		Amido de Cará-de-espinho		Hidrogel	
	Média	D. P.	Média	D. P.	Média	D. P.
Umidade	7,71± 0,04		10,53 ± 0,33		7,75 ± 0,02	
Cinzas	1,22± 0,03		0,91 ± 0,2		1,41 ± 0,37	
Lipídios	2,80± 0,01		0,64 ± 0,11		1,28 ± 0,1	
Proteínas	12,45± 0,36		3,50 ± 0,48		5,09 ± 0,02	
Carboidratos	32,10± 0,05		84,42 ± 0,21		21,47 ± 0,32	

4.7 ANÁLISE DE DIFRATOMETRIA DE RAIOS X DO EXTRATO DE GUARANÁ LIOFILIZADO

Os resultados das análises de DRX com o grau de cristalinidade do extrato de guaraná liofilizado são apresentados na **Figura 18**, nota-se um pico de maior intensidade no ângulo em $2\theta = 24,19^\circ$. A amostra foi analisada no intervalo de varredura limitado entre 10° e 100° .

O grau de cristalinidade (X_c) do extrato de guaraná liofilizado foi plotado por computador usando *OriginPro 2018*® e calculado como a razão entre a área superior de intensidade do pico de difração superior correspondente à região cristalina e a área total de difração. A seção amorfa foi tomada como a área inferior entre uma curva suave abaixo da porção cristalina e uma linha de base que conecta o ponto de intensidade, no intervalo de varredura limitado entre 10° e 60° (2θ). O grau de cristalinidade do guaraná liofilizado foi de 24,19%.

Figura18 - Difractograma de raio-X (DRX) do extrato de guaraná liofilizado a 25°C .

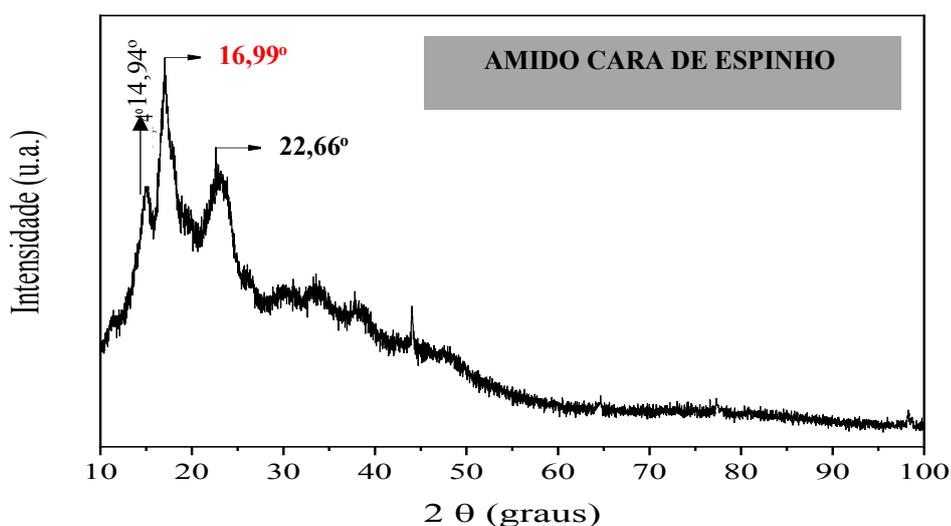


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

4.8 ANÁLISE DE DIFRATOMETRIA RAIO X DO AMIDO DE CARÁ-DE-ESPINHO

O difratograma de raio X do amido de cará-de-espinho é demonstrado na **Figura 19**. Apresenta picos mais fortes de difração registrados na região cristalina em 14,94°; 16,99° e 22,66°, indicando que o amido presente no amido do cará-de-espinho pode ser categorizado como do Tipo B, típico de rizomas e tubérculos tropicais. Amidos com padrões de difração do Tipo B correlacionam-se negativamente com o grau de cristalinidade dos amidos, ou seja, quanto maior o teor de amilose do amido, menor sua cristalinidade. O padrão cristalográfico denominado tipo B, é aquele no qual o amido presente na farinha é constituído por uma maior proporção de cadeias ramificadas longas, com duplas hélices das moléculas de amilopectina.

Figura 19 - Difratograma de raio-X de amido de cará-de-espinho por extração aquosa a 25°C.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

O grau de cristalinidade relativa do amido do cará-de-espinho foi plotado por computador usando *OriginPro 2018*® e calculado como a razão entre a área superior de intensidade do pico de difração superior correspondente à região cristalina e a área total de difração.

A seção amorfa foi tomada como a área inferior entre uma curva suave abaixo da porção cristalina e uma linha de base que conecta o ponto de intensidade, no intervalo de varredura

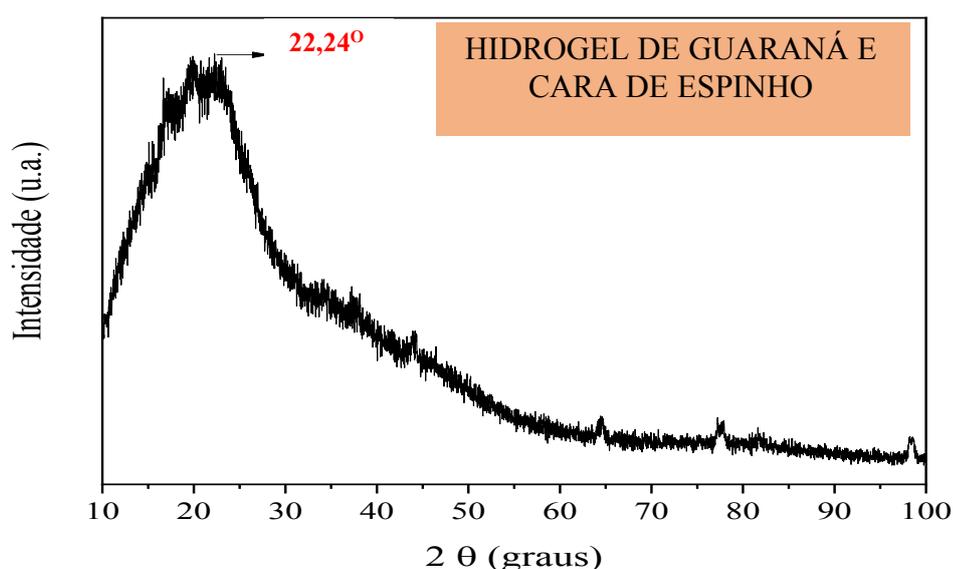
limitado entre 10° e 55° (2θ), pois as fases de cristalinidade para os amidos possuem picos típicos aos padrões Tipo B ou C, neste intervalo. O grau de cristalinidade do amido de cará-de-espinho foi de 22,68%. A alta região de cristalinidade e a baixa região amorfa podem ser explicadas pelo baixo teor de amilose presente no amido de cará-de-espinho (17,70%) que se correlaciona positivamente com o grau de cristalinidade da matéria-prima

4.9 ANÁLISE DE DIFRATOMETRIA DE RAIOS X DO HIDROGEL DE GUARANÁ E CARÁ-DE-ESPINHO

O difratograma de raios X do hidrogel, na **Figura 20**, apresenta picos de difração correspondentes a 2θ localizado em $22,24^\circ$ mostrando que os principais picos indicam regiões cristalinas características do amido e da constituição do extrato de guaraná liofilizado.

O Xc do hidrogel de guaraná e cará-de-espinho foi plotado por computador usando *OriginPro 2018*® e calculado como a razão entre a área de intensidade do pico de difração superior correspondente à região cristalina e a área total de difração. A seção amorfa foi tomada como a área inferior entre uma curva suave abaixo da porção cristalina e uma linha de base que conecta o ponto de intensidade, no intervalo de varredura limitado entre 10° e 60° (2θ). O grau de cristalinidade do hidrogel foi de 22,24%.

Figura 20 -Difratograma de raios-X do hidrogel de Guaraná e Cará-de-espinho a 25°C



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

4.10 ANALISE DE CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA (HPLC)

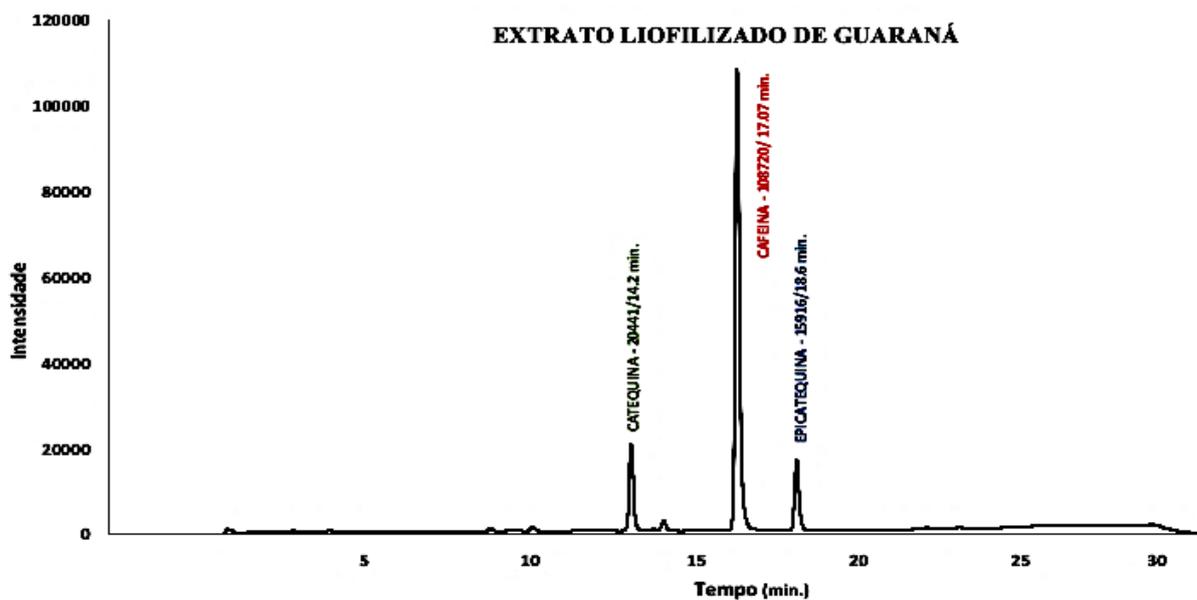
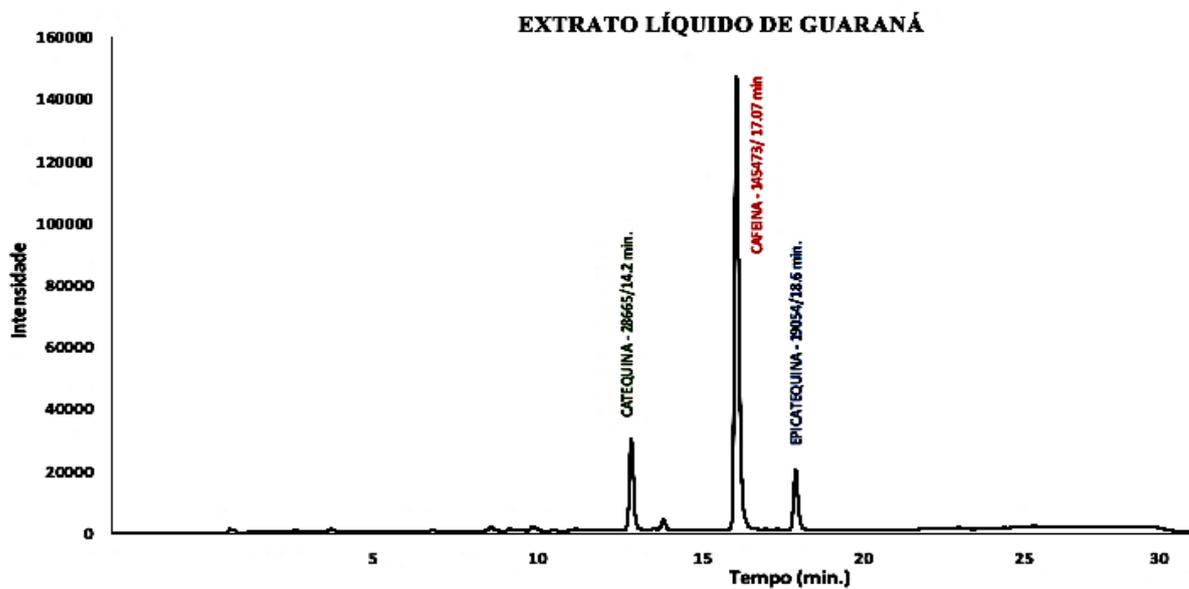
A caracterização e concentrações de metilxantina e polifenóis foram obtidos por curvas com quantidades conhecidas de soluções padrões comerciais de cafeína, catequina e epicatequina (Sigma-Aldrich®). A análise por HPLC foi nos comprimentos de onda de 270 e 280 nm (**Figura 21**). As soluções apresentaram os seguintes picos/tempo de retenção: cafeína (17,07 min), catequina (14,2 min) e epicatequina (18,6 min), para todas as amostras. O cálculo da quantidade de metilxantinas e polifenóis foi realizado a partir de equação linear em razão dos níveis de absorvância.

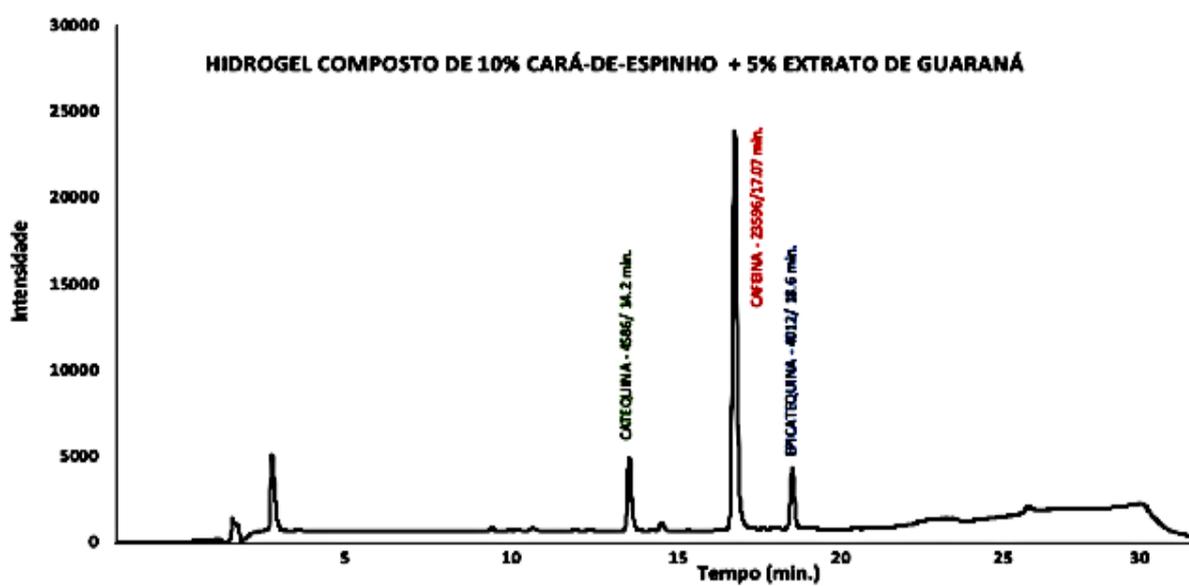
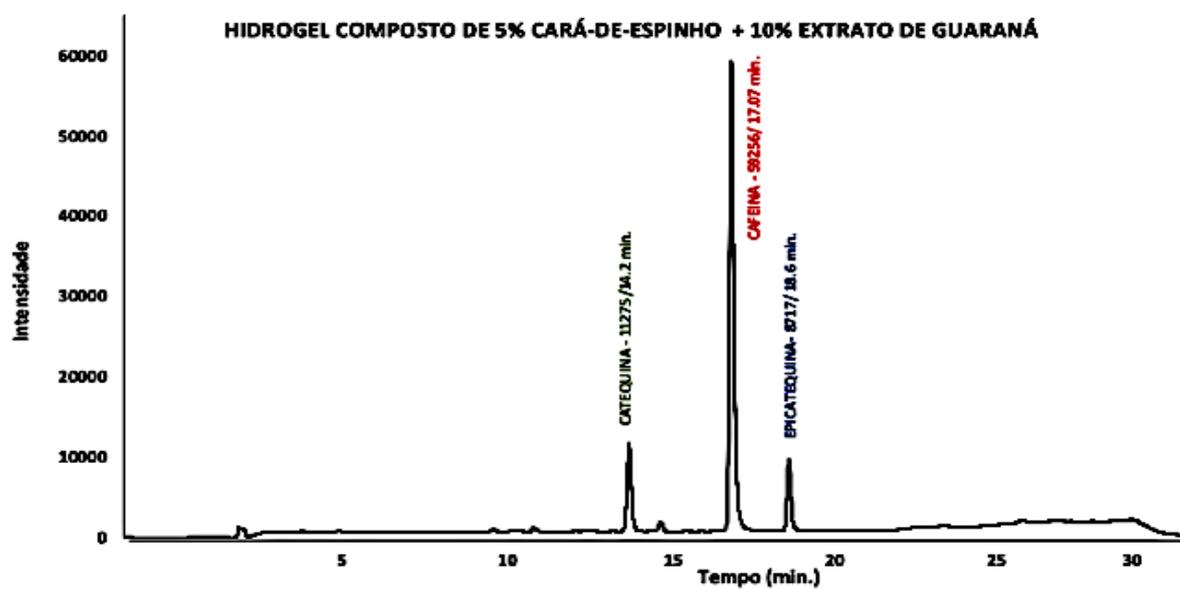
A Cromatografia Líquida de Alta Eficiência foi empregada por permitir a quantificação simultânea de marcadores químicos em tempo satisfatório e custo aceitável. A corrida cromatográfica foi aplicada desenvolvidas com ajustes na faixa de gradiente dos parâmetros cromatográficos, inclinação, vazão e temperatura para produzir picos de retenção dos marcadores avaliados. Os eluentes da fase móvel foram água e metanol, sendo os solventes mais utilizados para a fase móvel em HPLC de fase reversa misturas de água e acetonitrila ou água e metanol, sendo a acetonitrila o modificador orgânico preferido (CAVALCANTI et al., 2020b).

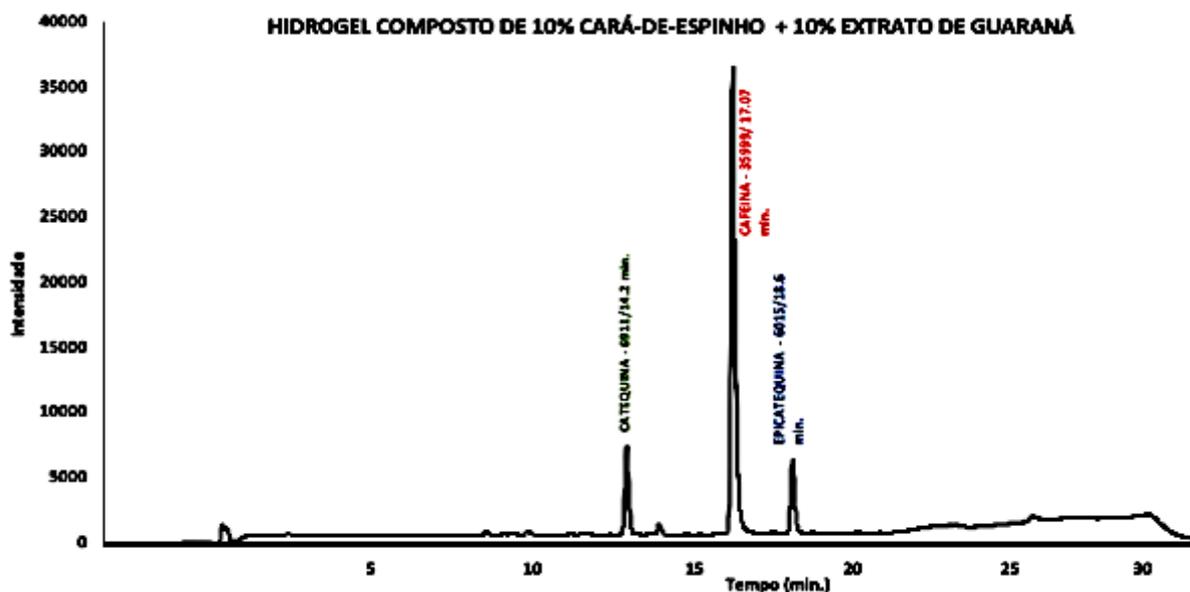
Os efeitos estimulantes do guaraná devem-se especialmente pela presença de cafeína, teobromina, teofilina, catequinas e epicatequinas, sendo estas substâncias potentes antioxidante quando consumidos na dieta humana (MACHADO et al., 2018; LIMA et al., 2017; PEREIRA et al., 2017).

Para todas as amostras analisadas, identificamos o maior pico de retenção para cafeína, seguido de catequina e epicatequina. Entre as formulações analisadas, os extratos líquidos e extrato liofilizado apresentaram maior concentração de metilxantina e polifenóis, quando comparados as formulações de hidrogel. Essa diferenças podem ser explicadas, pela forma de preparo do hidrogel, onde a mistura de amido de cara-de-espinho e o guaraná, foram submetidos a temperaturas elevadas, sofrendo degradação (PINAFFI, 2018)

Figura 21. Cromatogramas representativo dos picos e tempos de retenção de catequina, cafeína e epicatequina das formulações de: extrato líquido de guaraná; extrato liofilizado de guaraná; hidrogel 5% cará-de-espinho + 5% extrato de guaraná; hidrogel 5% cará-de-espinho + 10% extrato de guaraná; hidrogel 10% cará-de-espinho + 5% extrato de guaraná ; e hidrogel de 10% cará-de-espinho + 10% extrato de guaraná .

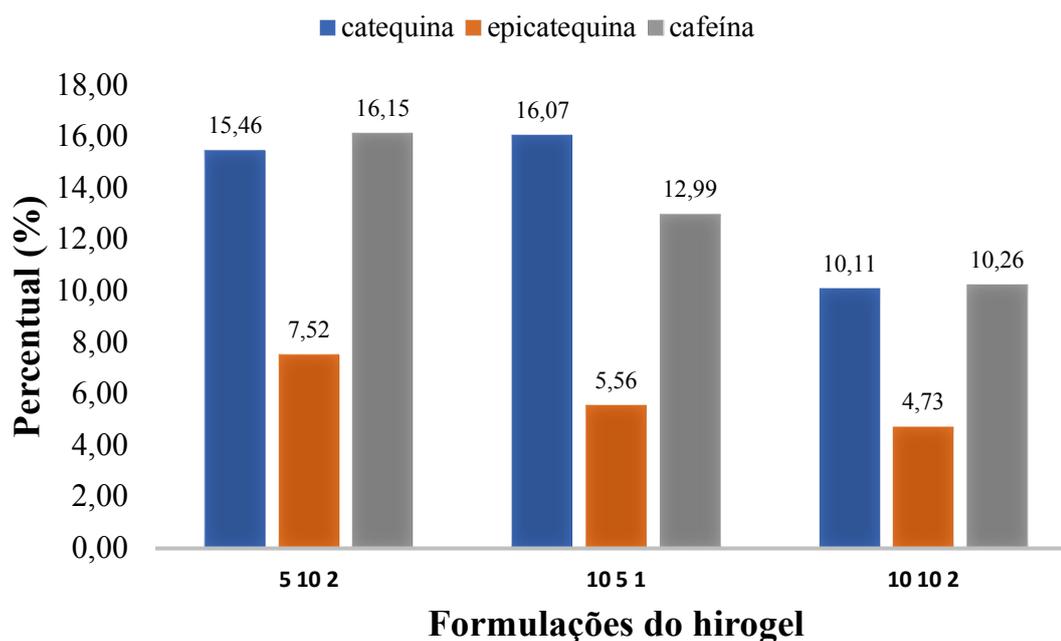






Na **Figura 22**, é possível observar que o teor de cafeína (10,26 a 16,15%) é o fitoquímico presente em maior quantidade nas formulações de hidrogel. O conteúdo de catequinas observado foi de 10,11 a 16,07%, enquanto o de epicatequinas foi de 4,73 a 7,52%. Nossos dados, mostram elevado teor de compostos fenólicos na composição das formulações de hidrogel, o que pode contribuir para o efeito antioxidante deste produto.

Figura 22. Análise das concentrações de metilxantina (cafeína) e polifenóis (catequina, e epicatequina) por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) das formulações: hidrogel 5% cará-de-espinho + 5% extrato de guaraná; hidrogel 5% cará-de-espinho + 10% extrato de guaraná; hidrogel 10% cará-de-espinho + 5% extrato de guaraná; e hidrogel de 10% cará-de-espinho + 10% extrato de guaraná



5. DISCUSSÃO

5.1 RENDIMENTO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DA MATERIA PRIMA

O processo de extração do guaraná pode variar de acordo com o método utilizado, mas geralmente envolve diversas etapas. Esse procedimento de extração do guaraná é realizado através da colheita das sementes maduras, que são descascadas, torradas e moídas para se obter uma pasta grossa. Posteriormente, essa pasta é peneirada, moldada em bastões ou pequenas bolas e deixada para secar. Após esse processamento, os bastões ou bolas são triturados em um moinho para se transformarem em um pó fino (SOUZA et al., 2016).

O guaraná é cultivado em várias regiões do Brasil, especialmente na Amazônia, e é exportado para todo o mundo. É utilizado em bebidas energéticas, refrigerantes, suplementos alimentares e outros produtos, e é valorizado por suas propriedades estimulantes e antioxidantes (BITTENCOURT, 2013).

Em âmbito industrial, os extratos de guaraná são produzidos pelo método de maceração hidroalcoólica a frio, que corresponde ao contato direto da planta com um solvente como acetona, metanol e acetato de etila, que podem provocar toxicidade pela presença de resíduos destes solventes. De acordo com Bouras et al. (2015), essa forma de produção é desvantajosa pois necessita de grandes volumes de solventes, despende tempo e energia. Desta forma, a busca por técnicas de extração com solventes seguros é recomendada (SANTANA & MACEDO, 2019).

Como alternativa, desponta a manipulação intensiva de matéria-prima com uso de solventes ecologicamente apropriado, como água, etanol e CO₂, conforme sugere Santana et al. (2019). Nesta lógica, optamos por obter frações solúveis do extrato de guaraná que nos permitiu remover os solventes (etanol e água) e determinar as composições, bem como realizar outros procedimentos experimentais.

A quantidade de amido obtida do cara-de espinho neste estudo é similar ao estudo de Silva et al. (2019), que obteve rendimento de 8,57%. Rendimento menor foi obtido por Do Carmo (2017), apresentando rendimento de 7,65%.

O rendimento e a qualidade de um produto, podem ser influenciados por fatores como condições climáticas, o desenvolvimento da cultura, o período da colheita, a composição do solo, matéria-prima vegetal, características morfológicas e o método de extração (NUNES et al., 2009; DE PAULA, et al., 2012).

Segundo Santos (2016), os diferentes ecossistemas amazônicos e a sazonalidade são grandes fontes de variação na composição de plantas e frutos da região amazônica. Para Yamaguchi (2015), as condições de extração são determinantes para o rendimento final de um produto. Neste contexto, as diferenças de rendimento também podem ser justificadas pelas particularidades das matérias primas, classes de substâncias presentes e solvente utilizado.

5.2 FORMULAÇÃO DO HIDROGEL COMPOSTO DE CARÁ-DE-ESPINHO E EXTRATO DE GUARANÁ

Os hidrogéis são materiais poliméricos que possuem alta capacidade de absorção e retenção de água em sua estrutura molecular. Eles são constituídos principalmente por água e polímeros solúveis em água, tais como o poliacrilato de sódio (PEPPAS; MERRILL, 1977).

Esses materiais são encontrados em diversas formas, tais como em pó, grânulos, folhas e filmes (HOFFMAN, 2012). Os hidrogéis têm ampla utilização em diversas áreas, incluindo produtos médicos, produtos de higiene pessoal e agricultura (LEE; MOONEY, 2012).

Devido à sua capacidade de retenção de água, os hidrogéis são frequentemente utilizados em produtos para cuidados com a pele, como cremes hidratantes e máscaras faciais. Além disso, são utilizados em curativos e materiais médicos para manter um ambiente úmido e propício à cicatrização (TAN; MARRA, 2010).

Na agricultura, os hidrogéis são utilizados como um meio de retenção de água no solo, melhorando a eficiência do uso da água e promovendo o crescimento de plantas (DEEN & CHUA, 2015).

Como supracitado, o hidrogel tem capacidade de reter elevados volumes de água, permitindo o uso de produtos em diferentes áreas da indústria. Esse poder de absorção de água, sobrevém de grupos funcionais hidrofílicos ligados à estrutura polimérica, enquanto sua resistência à dissolução surge de ligações cruzadas entre cadeias (AHMED, 2015).

De acordo com sua procedência, os hidrogéis podem ser classificados em naturais e sintéticos. Em sua composição podemos encontrar polímeros sintéticos de natureza hidrofóbica e quimicamente mais fortes em comparação com os polímeros naturais, o que permite a esses resistência mecânica com uma taxa de degradação lenta e maior durabilidade (TABATA, 2009).

Além do exposto, os hidrogéis comestíveis são largamente utilizados na indústria de alimentos e pertencem a categoria de polissacarídeos gelificam-te. Outrossim, são constituídos de sistema reticulado substancialmente diluído e são categorizados principalmente como fracos

ou fortes dependendo de seu comportamento de fluxo em estado estacionário (GULREZ, AL-ASSAF & PHILLIPS, 2011).

Os hidrogéis são de grande importância para a indústria de alimentos esportivos, pois podem ser utilizados como aditivos para melhorar a textura e a retenção de água dos alimentos. Eles são capazes de formar uma rede tridimensional dentro do alimento, o que melhora sua consistência e proporciona uma sensação de saciedade prolongada (PARK et al., 2014).

Além disso, os hidrogéis podem ser utilizados para a liberação controlada de nutrientes e substâncias bioativas nos alimentos esportivos. Por exemplo, pode-se incorporar proteínas, vitaminas, minerais, aminoácidos e outros compostos benéficos para o desempenho esportivo na matriz do hidrogel, de modo que sejam liberados de forma gradual durante a digestão (WU et al., 2022).

Outra vantagem dos hidrogéis é que eles podem ser facilmente modificados para apresentar diferentes propriedades, como a capacidade de se dissolver em determinados líquidos ou resistência à temperatura. Isso permite que a indústria de alimentos esportivos desenvolva produtos inovadores e adaptados às necessidades dos consumidores em geral.

5.3 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO GUARANÁ LIOFILIZADO, AMIDO DE CARÁ-DE-ESPINHO E HIDROGEL COMPOSTO DE GUARANÁ E CARÁ-DE-ESPINHO

O guaraná (*Paullinia cupana*) é uma planta originária da região amazônica do Brasil, conhecida por suas propriedades estimulantes e antioxidantes. Diversos estudos científicos têm investigado a atividade antioxidante do guaraná e seu potencial para prevenir doenças associadas ao estresse oxidativo, como câncer, doenças cardiovasculares e neurodegenerativas (BASTOS et al., 2007).

O estresse oxidativo é um processo bioquímico que ocorre no organismo quando há um desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio e a capacidade do sistema antioxidante para neutralizá-las. Esse desequilíbrio pode levar a danos nas células e nos tecidos, contribuindo para o desenvolvimento de várias doenças crônicas (HALLIWELL, 2006).

O guaraná contém compostos antioxidantes, como catequinas, epicatequinas e procianidinas, que podem ajudar a proteger o organismo contra o estresse oxidativo. Estudos *in vitro* e em animais têm demonstrado que o extrato de guaraná pode reduzir a produção de EROs e aumentar a atividade das enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase (SOD) e a catalase (CAT) (BASTOS et al., 2007; KANAZAWA et al., 2007).

Além disso, pesquisas realizadas em humanos sugerem que o consumo de guaraná pode ter efeitos benéficos sobre a saúde. Um estudo clínico randomizado duplo-cego controlado por placebo investigou os efeitos do consumo de uma bebida contendo guaraná em pacientes com síndrome metabólica e observou uma redução significativa nos níveis de marcadores de estresse oxidativo, como o malondialdeído (MDA) e a proteína C-reativa (PCR) (PEREIRA et al., 2011).

Outro estudo clínico randomizado avaliou os efeitos do consumo de um suplemento de guaraná em pacientes com doença de Parkinson e observou uma melhora significativa nos sintomas motores e uma redução na oxidação de lipídios no plasma (MOURA et al., 2007). Em resumo, o guaraná é uma fonte natural de compostos antioxidantes que podem ajudar a prevenir doenças associadas ao estresse oxidativo. Mais estudos são necessários para confirmar seus benefícios à saúde e determinar as doses adequadas para uso terapêutico.

Segundo Pinho et al. (2021), os compostos fenólicos presentes no guaraná contribuem para sua elevada capacidade antioxidante. Além das metilxantinas e taninos, os polissacarídeos possuem propriedades antioxidantes o que pode explicar a sua elevada capacidade em sequestrar radicais (LAI, 2010; MAJHENIČ; ŠKERGET & KNEZ 2007; YAMAGUTI-SASAKI et al, 2007; YANG et al., 2006).

Diversos estudos analisaram a atividade antioxidante, *in vitro* e *in vivo* do extrato de guaraná e identificaram elevada capacidade antioxidante deste produto (PEIXOTO et al., 2017; ARANTES et al., 2016; YONEKURA, L. et al., 2016; PORTELLA et al., 2013).

Os resultados indicaram que extratos de guaraná são potentes antioxidantes naturais que podem modular o estresse oxidativo. Neste sentido, a formulação de um hidrogel composto com um bioproduto de elevado potencial antioxidante agrega valor a um produto genuinamente amazônico.

Outro aspecto a ser considerado é que o guaraná (*Paullinia cupana*) é uma planta amplamente utilizada por atletas e praticantes de atividade física devido ao seu potencial efeito ergogênico, que pode melhorar o desempenho físico e a resistência muscular durante o exercício, particularmente de resistência aeróbica (SOUZA et al., 2017). O principal componente ativo do guaraná é a cafeína, que é amplamente conhecida por seus efeitos estimulantes sobre o sistema nervoso central e muscular (GRAHAM, 2001).

A cafeína presente no guaraná atua como um antagonista dos receptores de adenosina, o que resulta em aumento da produção de catecolaminas e melhora da atividade muscular. Estudos têm demonstrado que a cafeína pode melhorar o desempenho durante o exercício de resistência aeróbica, reduzindo a percepção de esforço e aumentando a capacidade de exercício (SPRIET, 2014).

Além disso, o guaraná também pode melhorar a capacidade de oxidação de ácidos graxos durante o exercício, o que pode levar a uma maior utilização de gordura como fonte de energia e, conseqüentemente, a uma redução do esgotamento de glicogênio muscular (KENNEDY et al., 2010).

Um estudo realizado com jogadores de futebol demonstrou que o consumo de um suplemento contendo guaraná durante uma partida melhorou o desempenho físico, resultando em uma redução da fadiga e aumento da resistência muscular (MATSUMOTO et al., 2002).

Outro estudo investigou os efeitos do guaraná em ciclistas de endurance e observou que o consumo de uma bebida contendo guaraná antes do exercício resultou em uma redução significativa no tempo para completar uma prova de ciclismo de 10 km (SOUZA et al., 2017).

Em resumo, o guaraná, devido ao seu alto teor de cafeína e outros compostos ativos, pode melhorar o desempenho físico e a resistência muscular durante o exercício. No entanto, é importante considerar que o consumo excessivo de guaraná pode levar a efeitos colaterais, como ansiedade, taquicardia e insônia, e que a dosagem adequada para uso ergogênico ainda precisa ser estabelecida.

Em relação ao cará-de-espinho (*Dioscorea altissima*) é uma trepadeira perene, nativa de várias partes da África tropical, incluindo Camarões, Guiné, Gana, Nigéria e Serra Leoa (MOLENAAR et al., 2008). Produz tubérculos subterrâneos comestíveis, que são utilizados na culinária, tendo um sabor semelhante ao da batata-doce, mas com uma textura mais firme. É uma fonte rica em nutrientes, incluindo carboidratos, fibras, vitaminas e minerais. Além disso, contém compostos bioativos, como flavonoides e compostos fenólicos, que têm atividade antioxidante e anti-inflamatória (AROWOSEGBE et al., 2014).

Estudos sugerem que o consumo regular do cará-de-espinho pode ter benefícios para a saúde, como a redução do risco de doenças cardíacas e diabetes (MOLENAAR et al., 2008). Além disso, a planta tem sido usada na medicina tradicional africana para tratar malária, dor de cabeça e problemas gastrointestinais (NWAOGWUGWU et al., 2018). Alguns estudos in vitro e em animais sugerem que a planta pode ter atividade antimicrobiana e anti-inflamatória (JINADU et al., 2019).

Há poucas evidências sobre a relação entre o consumo do cará-de-espinho e o desempenho desportivo. No entanto, considerando os nutrientes e compostos bioativos presentes na planta, é possível inferir alguns possíveis benefícios para a saúde e a performance.

Conforme Souza et al. (2019), o cará-de-espinho é uma fonte rica em nutrientes, incluindo carboidratos, fibras, vitaminas e minerais. Esses nutrientes são importantes para fornecer energia e nutrientes essenciais para o corpo, incluindo os músculos, durante o exercício físico. Além disso, o cará-de-espinho contém compostos bioativos, como flavonoides e

compostos fenólicos, que têm atividade antioxidante e anti-inflamatória. Esses compostos podem ajudar a reduzir a inflamação e o estresse oxidativo associados ao exercício intenso (SOUZA et al., 2019).

Outro possível benefício do consumo do cará-de-espinho para o desempenho desportivo está relacionado à sua capacidade de reduzir o risco de doenças cardiovasculares. As doenças cardiovasculares podem prejudicar a performance física e diminuir a capacidade de realizar exercícios de alta intensidade. O consumo regular do cará-de-espinho pode ajudar a reduzir o risco de doenças cardiovasculares, proporcionando benefícios para a saúde e a performance física (MATTOS et al., 2016).

Em síntese, embora não haja muitos estudos específicos sobre a relação entre o consumo do cará-de-espinho e o desempenho desportivo, a presença de nutrientes e compostos bioativos na planta sugere que seu consumo pode trazer benefícios para a saúde e a performance física. É necessário realizar mais pesquisas para entender melhor os efeitos do consumo do cará-de-espinho na performance desportiva.

5.4 ANÁLISE REOLÓGICA DO HIDROGEL

A reologia é definida como a ciência que estuda o comportamento e as propriedades de fluxo da matéria, tanto em estado sólido quanto líquido. É uma ciência interdisciplinar que estuda o comportamento mecânico e deformação da matéria em resposta a uma força externa. Essa área de conhecimento abrange diversos campos, tais como química, física, engenharia, biologia e ciência dos materiais (MEWIS & WAGNER, 2009).

As investigações nesta área são especialmente importantes para entender como os fluidos se comportam quando são submetidos a forças, tais como a tensão, cisalhamento, compressão e extensão. Essa área abrange uma ampla gama de materiais, incluindo líquidos, sólidos amorfos, polímeros, suspensões, emulsões, pastas e outros sistemas complexos. Além disso, encontra aplicações em diversos campos, como a indústria de alimentos, farmacêutica, petroquímica, materiais de construção, tintas, cosméticos e outros. A reologia, desempenha papel crucial no desenvolvimento e na formulação de produtos, no projeto de processos industriais e na otimização das propriedades físicas dos materiais (BARNES et al., 2009).

Segundo Smith et al.(2018), a análise reológica de um hidrogel envolve a avaliação de suas propriedades físicas, químicas e estruturais. As etapas comuns realizadas durante essa análise incluem caracterização visual, análise de teor de água, análise de tamanho de partícula, determinação da densidade e análise química. Para a caracterização visual é realizada

inicialmente para observar a aparência geral do hidrogel, sua cor, transparência e uniformidade. Essa análise visual fornece informações preliminares sobre a homogeneidade do gel.

A determinação do teor de água é um aspecto crucial na análise de hidrogéis e pode ser realizada através da medição da perda de massa após a secagem completa de uma amostra conhecida do gel em um forno (PENG et al., 2017).

Quanto a análise de tamanho de partícula é realizada para identificar e quantificar as partículas sólidas dispersas no hidrogel. Essa análise pode ser conduzida por técnicas como microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura ou espalhamento de luz dinâmico, que permitem determinar o tamanho médio e a distribuição das partículas sólidas no gel (YANG et al., 2020).

A determinação da densidade do hidrogel é realizada por meio de métodos como picnometria ou densitometria. Essa informação é relevante para compreender a estrutura e as propriedades de compactação do gel (LIN et al., 2019).

A análise reológica desempenha um papel fundamental na compreensão das propriedades de fluxo e deformação do hidrogel. Utilizando um reômetro, é possível medir propriedades como viscosidade, elasticidade e plasticidade, fornecendo informações valiosas sobre o comportamento de fluxo do gel (RAMANATHAN et al., 2016).

Em relação à análise química, podem ser realizados testes específicos para determinar a composição química do hidrogel. Técnicas como espectroscopia de infravermelho, cromatografia ou espectrometria de massa são utilizadas para identificar componentes químicos presentes no gel (ZHANG et al., 2018).

Em nosso estudo, pode-se observar que conforme o cisalhamento continua, em todas as formulações do hidrogel, ocorreram inclinações suaves das curvas de fluxo que foram acompanhadas de um decréscimo na viscosidade aparente, isto é característico de fluidos não-Newtonianos e independente do tempo. Este decréscimo significa que, para manter a resistência das soluções ao escoamento, a alta taxa de deformação é reduzida.

Além disso, as propriedades das suspensões gelatinizadas são caracterizadas pela extensão dos diferentes teores de amilose e amilopectina presentes, indicando um comportamento de natureza tipicamente pseudoplástico, não-Newtoniano das soluções, ou seja, a pseudoplasticidade é caracterizada através da inclinação das curvas de escoamento, que diminuem com o aumento da taxa de cisalhamento, o que se deve provavelmente às quebras de estrutura da rede de moléculas de polissacarídeos devido à aplicação de tensão.

Tal tendência reforçou ainda mais o caráter pseudoplástico das soluções de hidrogéis observados no presente trabalho. Esse comportamento de desbaste de cisalhamento também foi

relatado para a polpa de açaí, géis de amido de milho nativo e de fécula de mandioca nativa obtidos sob diferentes condições (COSTA et al., 2018; HOOVER, 2001; SILVA, 2019).

As viscosidades aparentes das polpas estudadas por Trevisan (2011), foram menores do que as observadas no presente trabalho, e as taxas de cisalhamento estiveram na faixa de até 25 Pa para taxas de cisalhamento entre 0 e 50 s⁻¹.

Após tratamento, foi possível verificar que a amostra 5ACE10GL teve o maior escoamento com maior impacto na viscosidade aparente além de melhor consistência e desempenho. Esta solução foi a que melhor atendeu nossa reivindicação, por ter apresentado maior armazenamento de energia, melhor desempenho e boas propriedades de fluxo, comportamento mais forte, estruturado e compacto, com valor médio de viscosidade aparente, menor perda de carga e estrutura durante o escoamento, baixa deformação na faixa de escoamento entre 0,01 e 100 s⁻¹ e a presença de tensão residual, caracterizando uma estrutura de hidrogel mais viscoso que elástico e melhor estruturado. Isto pode ser explicado pela alta força e concentração das partículas agregadas dos agentes antioxidantes do GL e dos carboidratos de ACE na faixa 10%.

É importante ressaltar que a seleção dos métodos de análise específicos depende das características e propriedades desejadas para o hidrogel, assim como da disponibilidade de recursos e instrumentos no laboratório..

5.5 TESTE DE CITOTOXICIDADE (Método Alamar Blue)

A citotoxicidade é um processo em que certas substâncias, como drogas quimioterápicas ou células imunes, causam dano ou morte celular. Esse processo pode ocorrer devido à interferência em processos celulares essenciais, como a divisão celular, a síntese de proteínas e a integridade da membrana celular, levando à morte celular (GALLUZZI et al., 2012).

Trata-se de um mecanismo importante do sistema imunológico, onde as células imunes, como os linfócitos citotóxicos, reconhecem e destroem células infectadas ou cancerígenas. No entanto, a citotoxicidade também pode ser induzida em células normais por certas drogas quimioterápicas, o que pode levar a efeitos colaterais graves (HEISKANEN & BHATIA, 2000).

Mensurar a citotoxicidade é fundamental em várias áreas da pesquisa biológica e médica, incluindo a avaliação da toxicidade de medicamentos e a avaliação da atividade citotóxica de substâncias naturais ou sintéticas em células cancerosas (KUROKAWA, 2016).

A avaliação da citotoxicidade realizado pelo método Alamar Blue, utiliza-se de um indicador fluorescente/colorimétrico com propriedades redox. Quando ocorre a proliferação celular o Alamar Blue é reduzido. Neste caso, a forma oxidada é azul e não-fluorescente (indicando célula não viável) e a forma reduzida é rósea e fluorescente (indicando célula viável) (O'BRIEN et al., 2000).

O Alamar Blue é uma solução pronta para uso baseada em resazurina, sendo um importante indicador redox que é usado para avaliar a função metabólica e a saúde celular. É um bioensaio para analisar a viabilidade e citotoxicidade celular em diferentes sistemas biológicos, sistemas ambientais e diferentes tipos de células. Esse método possui a possibilidade de aferições precisas de curso de tempo, alta sensibilidade e linearidade, não envolve lise celular, é ideal para uso com ensaios funcionais pós-medida, é flexível, pois pode ser usado com diferentes modelos celulares, é escalável e pode ser usado com plataformas de instrumentação baseadas em fluorescência e/ou absorção e, finalmente, não é tóxico (RAMPERSAD, 2012).

Nos estudos de Mingori et al. (2017), Mello et al. (2010) e Oliveira (2005) o extrato de guaraná foi testado (*in vivo e in vitro*) de forma isolada ou agregado a outras plantas em diferentes dosagens e demonstrou ser seguro, não apresentando efeito para toxicidade.

Porém, outros estudos apresentaram inexistência ou baixos níveis de toxicidade, apesar do experimento ter sido realizado por tempo prolongado (CARVALHO et al., 2016; ZEIDANCHULIA et al., 2013; ANTONELLI-USHIROBIRA, 2010).

A análise da citotoxicidade do guaraná (*Paullinia cupana*) é importante para avaliar a segurança de seu consumo e identificar possíveis efeitos adversos em diferentes células e tecidos. O guaraná é uma planta nativa da região amazônica e amplamente utilizada pela comunidade em geral, na indústria de alimentos e bebidas devido ao seu alto teor de cafeína e outros compostos bioativos (MOUSTAKAS et al., 2015).

Desta forma, Sousa et al. (2019) avaliou o efeito do extrato de guaraná sobre a viabilidade celular de células de fibroblastos humanos e células tumorais de carcinoma de cólon humano. Os resultados indicaram que o extrato de guaraná não apresentou citotoxicidade nas células de fibroblastos humanos, mas foi capaz de reduzir significativamente a viabilidade celular nas células tumorais de carcinoma de cólon humano.

Carnielli et al. (2014), analisou o efeito do extrato de guaraná sobre a viabilidade celular de células de hepatoma humano e observou que o extrato de guaraná apresentou um efeito dose-dependente na redução da viabilidade celular, sugerindo um possível efeito citotóxico em células hepáticas.

Na investigação de Hurtado et al. (2008), o efeito do guaraná sobre a viabilidade celular de células de fibroblastos humanos, demonstrou que o guaraná não apresentou efeitos citotóxicos em concentrações até 50 µg/mL.

Em síntese, a análise da citotoxicidade do guaraná é importante para avaliar sua segurança de consumo em diferentes células e tecidos. Embora alguns estudos tenham indicado possíveis efeitos citotóxicos do guaraná em células tumorais e hepáticas, outros estudos sugerem que o consumo de guaraná não apresenta efeitos adversos em diferentes células e tecidos. No entanto, são necessários estudos adicionais para confirmar esses resultados e estabelecer a dosagem segura de consumo de guaraná em diferentes populações.

Por outro lado, A resposta para os experimentos com guaraná, que apresentaram toxicidade, parece estar relacionada a dosagem, tempo de exposição e forma de preparo do produto. Neste contexto, para o consumo do extrato de guaraná é necessário que sejam realizados experimentos toxicológicos pré-clínicos e clínicos, garantindo aos consumidores produtos farmacêuticos seguros (MARQUES et al.,2019).

No caso do cará-de-espinho (*Discorea altíssima*), é importante mencionar que os tubérculos dessa planta contêm compostos alcaloides que podem ser tóxicos em grandes quantidades. Segundo Silva et al. (2012), os compostos alcaloides presentes no cará-de-espinho são a dioscorina, diosgenina e saponinas. A dioscorina é um alcaloide que pode causar irritação no trato gastrointestinal, enquanto a diosgenina pode afetar o sistema nervoso central, causando convulsões e morte em animais (ALMEIDA et al., 2000). As saponinas, por sua vez, podem afetar o metabolismo lipídico e o sistema nervoso, além de possuírem propriedades hemolíticas (CRUZ et al., 2012).

De acordo com Rabelo et al. (2016), a toxicidade do cará-de-espinho está diretamente relacionada à presença desses compostos alcaloides em sua composição. O consumo de grandes quantidades de tubérculos pode levar a sintomas como vômitos, náuseas, diarreia, dores abdominais, convulsões e até mesmo morte em casos extremos (OLIVEIRA et al., 2012).

Embora seja reconhecido o potencial tóxico do cará-de-espinho, há poucos estudos que investigam a toxicidade dos tubérculos dessa planta. Portanto, é necessário realizar mais pesquisas para compreender melhor os efeitos dos compostos alcaloides na saúde humana e determinar níveis seguros de consumo.

Assim, é importante lembrar que o cará-de-espinho (*Discorea altíssima*) contém compostos alcaloides em sua composição que podem ser tóxicos em grandes quantidades. É fundamental ter cuidado ao consumir essa planta, levando em consideração os sintomas e efeitos tóxicos potenciais. Para aprofundar o conhecimento sobre a toxicidade do cará-de-espinho, é necessária a realização de mais pesquisas científicas.

5.6 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DO EXTRATO DE GUARANÁ, AMIDO DE CARÁ-DE-ESPINHO E DO HIDROGEL.

Porém os dados foram comparados ao estudo de Leão (2021), que encontrou valor maior de umidade 12,63 % do que do que as citadas em nosso estudo (7,75%). O extrato de guaraná liofilizado apresentou as maiores médias para proteínas (12,48 mg) e lipídios (2,80 mg).

As amostras de amido de cará-de-espinho apresentaram as maiores médias para umidade (10,53 mg) e carboidratos (84,42 mg) e o hidrogel apresentou maior média para o teor de cinzas (1,41 mg). A composição dos nutrientes em relação as amostras destacam concentrações de: 2,6 vezes maior de carboidrato para o amido de cará-de-espinho, 2,4 vezes de proteína para o extrato de guaraná e 1,3 vezes umidade para o amido de cará-de-espinho. Em geral, o amido de cará-de-espinho apresenta maiores propriedades nutricionais em relação ao extrato de guaraná.

Ao analisar o guaraná em pó Martins (2010), encontrou valores correspondentes aos de nosso estudo, para proteínas (12,84 mg) e lipídios (2,85 mg). Em geral, os parâmetros apresentados para o extrato de guaraná encontram-se dentro do estabelecido pela Farmacopeia Brasileira (VARGAS, 2015).

Os valores encontrados em nosso estudo para os compostos do amido de cará-de-espinho foram: umidade (10,53mg), cinza (0,91mg), lipídios (0,64mg) proteínas (3,50mg) e carboidratos (84,42mg) são diferentes aos encontrados por Silva et al., (2019), que obteve: umidade (9,67mg), cinza (0,06mg), lipídios (0,83mg) proteínas (0,77mg) e carboidratos(88,10mg). Dias et al. (2021), encontrou valores semelhantes aos nossos para as variáveis: lipídios (0,06mg) e proteínas (12,45 mg) e diferentes para: umidade (67,73mg), cinzas (0,49mg) e carboidratos (35,30mg).

Essas diferenças podem ser justificadas pelo método utilizado no processo de extração e o período de colheita que podem interferir na qualidade do amido (DE PAULA et al.,2012).

Por ser uma grande fonte de amido, o cará-de-espinho quando comparado a outros tubérculos tem grande potencial para indústria alimentícia, podendo substituir à mandioca e outras fontes de carboidratos na produção de alimentos (SILVA, 2019; DIAS, et al., 2021). Além disso, apresenta potencial para elaboração de hidrogel e atender a indústria de suplementos alimentares.

5.7 ANÁLISE DE DIFRATOMETRIA DE RAIOS X DO EXTRATO DE GUARANÁ LIOFILIZADO

A difratometria de raio X é uma técnica analítica amplamente empregada na determinação da estrutura cristalina de materiais. Ela se baseia na interação dos raios X com a rede cristalina do material em estudo, ocasionando a difração dos raios X em ângulos característicos. Esses padrões de difração fornecem informações cruciais sobre os arranjos atômicos e a simetria da estrutura cristalina (CULLITY & STOCK, 2001).

A difratometria de raio X é amplamente aplicada em diversas disciplinas científicas, como química, física, ciência dos materiais, geologia e biologia estrutural, entre outras. Essa técnica tem sido utilizada com sucesso na análise de pequenas moléculas orgânicas, assim como na caracterização de proteínas complexas e minerais (WARREN, 1990).

Conforme análise de nosso estudo, as características expostas, trata-se de material com ausência de cristalinidade, também conhecido como material “amorfo”, onde os picos não estão bem definidos.

Matéria com ausência de cristalinidade refere-se a um material que não apresenta uma estrutura cristalina bem definida. A cristalinidade é uma propriedade intrínseca dos sólidos, caracterizada pela organização regular e periódica dos átomos, íons ou moléculas ao longo de todo o material (ASHCROFT & MERMIN, 1976).

Para Elliot(1990), em contraste com os materiais cristalinos, os materiais amorfos ou não cristalinos são caracterizados pela falta de uma estrutura ordenada de longo alcance. Em vez disso, suas estruturas são desordenadas, com átomos, íons ou moléculas distribuídos aleatoriamente. Essa falta de ordem resulta em uma ausência de picos distintos nos padrões de difração de raios X, os quais são característicos dos materiais cristalinos.

Segundo Zallen (2008), exemplos comuns de materiais amorfos incluem vidros, polímeros amorfos e alguns materiais cerâmicos. Esses materiais exibem propriedades físicas e químicas distintas dos materiais cristalinos devido à sua estrutura desordenada.

A identificação da ausência de cristalinidade em um material pode ser realizada por meio de técnicas experimentais, como difratometria de raios X e microscopia eletrônica de transmissão. Essas técnicas permitem a análise da estrutura do material em escala atômica e revelam a falta de ordem característica dos materiais amorfos (OLIVEIRA, 2017).

Segundo Aspinall (2014), o amido é o principal carboidrato de armazenamento de energia das plantas superiores e contém polissacarídeo essencialmente linear (amilose) e um polissacarídeo altamente ramificado (amilopectina).

Outro fator a considerar, é pequenas quantidades de água tendem a aumentar a solubilização do amido, alterando assim as suas características estruturais (NAGULESWARAN, 2022).

Por via de regra, as características estruturais, como teor de amilose, distribuição do comprimento da cadeia de amilopectina e o grau de cristalinidade no grânulo, estão intimamente relacionadas aos eventos associados à gelatinização e retrogradação, como inchaço dos grânulos de amido, lixiviação de amilose e amilopectina, perda da estrutura radial, ordem supramolecular (cristalinidade) e molecular, e recristalização (DALONSO, N. , PETKOWICZ ,2012).

5.8 ANALISE DE DIFRATOMETRIA RAIOS X DO AMIDO DE CARÁ-DE-ESPINHO

A difratometria de raio X é uma técnica analítica amplamente utilizada na investigação da estrutura cristalina de materiais, incluindo compostos orgânicos. O amido, um polissacarídeo encontrado em diversos alimentos vegetais, é objeto de interesse tanto na indústria alimentícia quanto em pesquisas científicas devido à sua importância nutricional e funcional.

Segundo Smith et al. (2015), a difratometria de raio X tem sido amplamente empregada para analisar a estrutura cristalina do amido, proporcionando informações valiosas sobre sua organização e propriedades físicas. Essa técnica permite investigar os padrões de difração resultantes da interação dos raios X com os cristais de amido, possibilitando a determinação de parâmetros estruturais importantes.

A importância do amido na indústria alimentícia e nas pesquisas científicas é destacada por Brown et al. (2019), que ressaltam a relevância nutricional e funcional desse polissacarídeo na formulação de alimentos e no desenvolvimento de ingredientes de alto valor agregado. A compreensão da estrutura cristalina do amido por meio da difratometria de raio X é fundamental para melhorar a qualidade dos alimentos e otimizar processos de produção.

De acordo com Huang & Wang (2010), o cará-de-espinho é uma planta nativa com alto teor de amido, para tal, estudos têm sido conduzidos para caracterizar a estrutura cristalina do amido por meio da difratometria de raio X, visando compreender suas propriedades físicas que são composta principalmente por duas frações: amilose, uma cadeia linear de glicose, e amilopectina, uma estrutura ramificada. Esses componentes se organizam em arranjos cristalinos que podem ser avaliados por meio da difração de raios X.

Os padrões de difração de raio X obtidos a partir do amido de cará-de-espinho revelam uma série de picos característicos, correspondentes aos planos da rede cristalina. Esses picos

forneem informações sobre a simetria, espaçamento e orientação dos cristais presentes no amido, permitindo inferir aspectos relacionados à estrutura cristalina, como polimorfismo e arranjos ordenados específicos.

Além da difratometria de raio X, outras técnicas complementares podem ser empregadas para uma caracterização abrangente do amido de cará-de-espinho. Análises térmicas, como termogravimetria e calorimetria diferencial de varredura, permitem investigar a estabilidade térmica do amido e sua transição de fase (MANIGLIA et al., 2018).

Ao realizar a análise de difratometria de raio X do amido de cará-de-espinho, é importante considerar a variabilidade natural do amido, bem como os possíveis efeitos de processamento e armazenamento.

As características expostas indicam que o amido presente no cará-de-espinho pode ser categorizado como típico de rizomas e tubérculos tropicais. Geralmente os rizomas e tubérculos tropicais apresentam um polimorfismo do tipo B ou C. A formação do estado gel do polímero é acompanhada pela mudança na sua cristalinidade e devido ao seu padrão cristalográfico, pois o amido presente na farinha do cará-de espinho é constituído por uma maior proporção de cadeias ramificadas longas, com duplas hélices das moléculas de amilopectina (SENA,2020).

O padrão cristalográfico denominado tipo B é aquele no qual o amido presente na farinha é constituído por uma maior proporção de cadeias ramificadas longas, com duplas hélices das moléculas de amilopectina (CANEVAROLO JUNIOR, 2014).

Em concordância com outros estudos, os padrões de cristalinidade desta pesquisa são semelhantes (SANTOS, 2016; HORNUNG,2017).

5.9 TEOR DE AMILOSE

A determinação do teor de amilose em tubérculos e outros alimentos ricos em amido é um procedimento laboratorial utilizado para quantificar a proporção desse componente específico. A amilose é um polissacarídeo presente em alimentos como batatas, mandiocas, cereais e leguminosas, e é caracterizada por sua estrutura linear composta por moléculas de glicose unidas por ligações glicosídicas (SINGH et al., 2003).

O teor de amilose é relevante em diferentes contextos. Em termos culinários, o teor de amilose pode influenciar a textura, a consistência e as propriedades de gelificação dos alimentos durante o processo de cozimento. Alimentos com maior teor de amilose tendem a ser mais firmes e manter sua forma após o cozimento, enquanto alimentos com menor teor de amilose podem apresentar uma textura mais macia e pegajosa (TESTER & MORRISON, 1990).

Na indústria alimentícia, a determinação do teor de amilose auxilia na seleção de matérias-primas apropriadas para a produção de diferentes produtos. A proporção de amilose e amilopectina em alimentos é utilizada em várias aplicações, como na fabricação de alimentos processados, panificação, confeitaria e produção de massas (SINGH et al., 2003).

No âmbito da saúde e nutrição, o teor de amilose nos alimentos pode ter impactos na digestão e no metabolismo humano. Alimentos com maior teor de amilose são digeridos mais lentamente, resultando em uma liberação gradual de glicose na corrente sanguínea, o que pode ser benéfico para o controle glicêmico e a prevenção de picos de glicose no sangue (LAZARIDOU & BILIADERIS, 2007).

O amido é o principal componente nutricional do cara-de-espinho, e mostra-se uma excelente fonte de carboidratos para alimentação humana e animal. As diferenças de propriedades físico-químicas e estruturais como teor de amilose, estabilidade de congelamento-descongelamento, propriedades de pasta, propriedades térmicas e propriedades reológicas, podem ser explicadas por diversos fatores como: origem botânica, processo de extração, condições ambientais e o cultivo (PÉREZ et al., 2021; SHAO et al. 2020; CHEN et al. 2019).

Além das propriedades supracitadas, podemos acrescentar parâmetros de cristalinidade, propriedades térmicas, susceptibilidade enzimática, solubilização e inchamento. Essas propriedades funcionais estão diretamente relacionadas a quantidade de amilose encontrado na composição do amido (EPPING, 2020).

A composição do amido é basicamente de biopolímeros amilose e amilopectina, que durante a industrialização passa pelas fases de gelificação, formação de pasta e gel. A amilose, constitui aproximadamente 20 a 30% da massa molar dos grânulos de amido, enquanto que a amilopectina, representa de 70 a 80% da massa molar. Apesar desta última ser insolúvel em água fria, possui a propriedade de inchar na fase aquosa para produzir suspensão quando submetida a altas temperaturas (SENA, 2020).

Neste estudo, o amido foi analisado pelo método iodo ressublimado, onde observamos o teor de amilose de 17,70%, semelhante ao encontrados por Silva et al., (2019) com teor de 17,91%. Em amidos regulares, o teor de amilose constitui cerca de 11 a 30 % de amido total (HOOVER et al., 2010).

Outro aspecto constatado em nosso estudo, foi que o amido analisado apresentou coloração vermelho-violáceo ao interagir com o iodo ressublimado, provavelmente devido à presença das ramificações da amilopectina, o que indica que este amido é do tipo ceroso (PÉREZ, 2011). Em amidos de inhame normal, o padrão de coloração desenvolvido é azul, isso ocorre devido ao aprisionamento do iodo que se dá no interior da hélice formada pela amilose

Os amidos encontrados em espécies de cará apresentam maior teor de amilose do que os amidos de batata, arroz e mandioca. Isso define as características funcionais dos amidos como temperatura de gelificação, a viscosidade da pasta e a formação de gel, o que permitirá o desenvolvimento de produtos comestíveis (NARVÁEZ-GÓMEZ et al., 2021).

As informações relativas ao conteúdo de amilose presente nos grânulos de amido são relevantes para a indústria de alimentos, pois os amidos cerosos são largamente utilizados para produção de géis altamente transparentes, mais resistentes às etapas de congelamento-descongelamento, o que interfere na qualidade do produto (TAPPIBAN et al., 2020).

5.10 ANÁLISE DE CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA (HPLC)

A Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) é uma técnica analítica amplamente utilizada para separar, identificar e quantificar componentes em amostras líquidas. Ela é realizada por meio da injeção de uma amostra líquida na coluna, que contém uma fase estacionária embalada, enquanto uma fase móvel líquida é bombeada através da coluna sob alta pressão. Os componentes da amostra interagem de forma distinta com a fase estacionária, resultando em diferentes taxas de eluição. Componentes com maior afinidade pela fase estacionária são retidos por mais tempo, enquanto aqueles com menor afinidade são eluídos mais rapidamente. Durante a eluição, os componentes são detectados por meio de detectores específicos, como detectores de UV/Vis ou detectores de índice de refração. Esses detectores registram sinais correspondentes à concentração dos componentes, permitindo a quantificação dos mesmos (SYNDER et al. (2011).

A análise do guaraná (*Paullinia cupana*) pelo método de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) desempenha um papel fundamental na avaliação da qualidade, autenticidade e segurança desse importante produto natural. Nos últimos cinco anos, vários estudos científicos destacaram a importância dessa análise por HPLC, fornecendo informações valiosas sobre a composição química e os potenciais efeitos na saúde relacionados ao consumo.

Souza et al. (2018) enfatizaram a relevância da análise do guaraná por HPLC na determinação de compostos bioativos, como cafeína, teobromina e teofilina. Esses compostos estão relacionados aos efeitos estimulantes e energéticos, tornando-se alvos importantes para garantir a qualidade e a eficácia dos produtos derivados dessa planta. Através da análise por HPLC, é possível quantificar esses compostos e monitorar sua concentração em diferentes amostras, auxiliando na padronização de extratos e formulações comerciais.

Em uma investigação Silva et al. (2019), ressaltaram a importância da análise por HPLC na identificação e quantificação de compostos antioxidantes presentes no guaraná. Esses compostos, como catequinas e proantocianidinas, estão associados aos potenciais efeitos neuroprotetores e cardioprotetores do produto. Esse tipo de análise permite a caracterização desses compostos, fornecendo informações cruciais para a compreensão dos mecanismos de ação e potenciais benefícios à saúde relacionados ao consumo.

Além disso, a análise por HPLC também desempenha um papel importante na detecção de adulterações e na avaliação da autenticidade do guaraná. Um estudo conduzido por Santos et al. (2020) investigou a presença de adulterantes em amostras de guaraná comercializadas. A análise identificou padrões de adulteração, como a adição de cafeína sintética nas amostras de extrato de guaraná. Esses achados destacam a importância do controle de qualidade por meio da análise por HPLC, garantindo a autenticidade e a segurança dos produtos de guaraná disponíveis para consumo.

Outrossim, avanços recentes na técnica de HPLC têm permitido a identificação e quantificação de um espectro mais amplo de compostos bioativos no guaraná. Um estudo realizado por Lima et al. (2021), explorou o uso de métodos avançados de separação cromatográfica, como a cromatografia líquida de ultra eficiência (UHPLC), para melhorar a resolução e a sensibilidade da análise de compostos fenólicos no guaraná. Esses avanços possibilitam uma compreensão mais abrangente da composição química do Guaraná e de seus potenciais efeitos na saúde humana.

Diante do exposto, quantificar a presença de polifenóis no guaraná (*Paullinia cupana*) tem despertado interesse científico devido aos seus potenciais efeitos na saúde. Os polifenóis são compostos bioativos encontrados em diversos alimentos de origem vegetal, e o guaraná é uma fonte rica desses compostos. Estudos científicos recentes têm investigado a composição e os benefícios dos polifenóis presentes nos extratos de guaraná, utilizando técnicas analíticas avançadas, como a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

Um estudo conduzido por Da Silva et al. (2019), investigou a composição fenólica de diferentes extratos de guaraná utilizando análises por HPLC. Os pesquisadores identificaram a presença de diversos polifenóis, incluindo ácido gálico, catequinas e proantocianidinas. Esses compostos apresentam propriedades antioxidantes e podem contribuir para os potenciais efeitos benéficos à saúde associados ao consumo.

Outra pesquisa realizada por de Oliveira et al. (2020), analisou a atividade antioxidante de extratos de guaraná e identificou a presença de flavonoides, como quercetina e rutina. Os resultados indicaram que esses polifenóis contribuem significativamente para a capacidade antioxidante. Além disso, esses compostos podem ter efeitos anti-inflamatórios e

neuroprotetores, fornecendo uma base científica para o uso tradicional do guaraná em medicina popular.

Um estudo recente de Santos et al. (2021), investigou a variação na composição de polifenóis em diferentes genótipos de guaraná. Os resultados revelaram diferenças significativas na quantidade e perfil de polifenóis entre as amostras analisadas. Essa variação pode estar relacionada a fatores genéticos, ambientais e de processamento. Portanto, a seleção de genótipos e as práticas de cultivo adequadas podem ser importantes para maximizar a concentração de polifenóis em extratos de guaraná.

Os polifenóis são compostos orgânicos distinguidos pela presença de múltiplas unidades estruturais de fenol, presentes em alimentos de origem vegetal como frutas, sucos, chás, café e vinho tinto, sendo estes os principais antioxidantes da nossa dieta, assim como os legumes, cereais, chocolate e leguminosas secas. Eles são responsáveis por explicar os efeitos protetores contra o câncer e as doenças cardiovasculares, sendo de grande interesse dos pesquisadores devido suas potencialidades antioxidantes (GORZYNIK-DEBICKA et al., 2018).

Yonekura et al. (2016), comprovaram que as catequinas do guaraná são biodisponíveis e favorecem a redução do estresse oxidativo em seres humanos pela ação antioxidante e desintoxicante, atuam como sequestradores de radicais livres e inibem a peroxidação lipídica e outros processos mediados por radicais livres.

A principal justificativa para uma dieta rica em polifenóis, está amparado no incremento do fluxo sanguíneo para fornecer mais oxigênio às mitocôndrias e por consequência aumento da produção de energia em nível celular, o que provoca maior desempenho esportivo (D'ANGELO, 2020).

Neste contexto, suplementos ricos em antioxidante, tem viabilidade de exercer importante função no processo de recuperação dos esportistas, diminuindo as sequelas deixadas pelo estresse oxidativo (GOULART et al., 2020).

Diante do exposto, o consumo de polifenóis para melhora do desempenho vem ganhando espaço entre os esportistas e praticantes de atividades físicas, particularmente pelo fato deste tipo de suplemento está associada as suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, que aumentam a capacidade antioxidante endógena (SABOU et al. 2021).

Por fim, a análise detalhada dos polifenóis presentes um produto é fundamental para o desenvolvimento de produtos de alta qualidade e para a compreensão dos efeitos potenciais desses compostos na saúde humana. Além disso, a identificação e a quantificação precisa dos polifenóis em extratos de guaraná são essenciais para garantir a autenticidade e a padronização dos produtos comerciais.

6 CONCLUSÕES

As formulações compostas com guaraná (*Paullinia cupana var sorbilis*) e cará-de-espinho (*Dioscorea altissima* Lam) mostraram-se viáveis para elaboração de um produto natural para consumo humano com características de um hidrogel.

O hidrogel elaborado por ensaios térmicos para fins de suplementação demonstrou ser uma técnica que utiliza solventes ecologicamente apropriados, ou seja, de fácil manipulação, custo barato e eficiência na elaboração do produto desejado.

As amostras de extrato de guaraná, amido de cará-de-espinho e hidrogel apresentaram elevada capacidade antioxidante, sendo o extrato de guaraná liofilizado o bioproduto com maior potencial em sequestrar radicais livres.

A análise das propriedades reológicas das amostras de hidrogel demonstrou que a formulação 5ACE10GL teve o maior escoamento com maior impacto na viscosidade aparente além de melhor consistência e desempenho, apresentado maior armazenamento de energia, melhor desempenho e boas propriedades de fluxo, comportamento mais forte, estruturado e compacto, com valor médio de viscosidade aparente, menor perda de carga e estrutura durante o escoamento, baixa deformação, caracterizando uma estrutura de hidrogel mais viscoso que elástico e melhor estruturado.

O método Alamar Blue forneceu dados a respeito do perfil citotóxico das amostras de extrato líquido de guaraná, extrato seco de guaraná, amido do cara-de-espinho, e formulações de hidrogel, sobre a linhagem de fibroblastos humanos MCR-5, não apresentando efeito citotóxico para as concentrações testadas.

Do ponto de vista tecnológico, o guaraná associado ao cará-de-espinho, demonstrou ser um produto natural com elevada atividade antioxidante, sendo assim excelentes substitutos dos produtos sintéticos. Essas propriedades podem agregar valor a fabricação de produtos alimentícios com elevado poder econômico e industrial, influenciando a cadeia produtiva destes em nível regional.

Este estudo abre perspectivas para que outras etapas da investigação envolvendo o guaraná e o cará-de-espinho sejam realizadas como: a) Teste de digestibilidade; b) Teste de prateleira; c) Teste de citotoxicidade *in vivo*; d) Análise da composição química nutricional; e) Testes de desempenho motor e f) Desenvolvimento do protótipo do produto para consumo e comercialização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada nº 243, de 26 de julho de 2018. **Dispõe sobre os requisitos sanitários dos suplementos alimentares**, 2018. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/assetpublisher/Kujrw-0TZC2Mb/content/id/34379969/doi-2018-07-27-resolucao-da-diretoria-colegiada-rdc-n-243-de-26-de-julho-de-2018-34379917>.

AHMED, S. Ansar; GOGAL JR, Robert M.; WALSH, Jane E. A new rapid and simple non-radioactive assay to monitor and determine the proliferation of lymphocytes: an alternative to [3H] thymidine incorporation assay. **Journal of Immunological Methods**, v. 170, n. 2, p. 211-224, 1994. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0022-1759\(94\)90396-4](https://doi.org/10.1016/0022-1759(94)90396-4).

AHMED, Enas M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. **Journal of Advanced Research**, v. 6, n. 2, p. 105-121, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006>

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Normas Analíticas: Métodos físico-químicos para Análise de Alimentos**. 4ª edição digital, São Paulo, 2008.

ALBERTON C. et al. Thermal analysis, rheology, X-ray diffractometry and Atomic Force microscopy in the evaluation of binary mixtures of “starches hydrocolloids”. **J Microbiol Biotechnol Food Sci**.v.3, n. 4, p.305-9, 2014. Disponível em: <https://www.jmbfs.org/jmbfs-0539albeton/?issueid=3150&articleid=7>.

AMMAR, Achraf et al. Pomegranate supplementation accelerates recovery of muscle damage and soreness and inflammatory markers after a weightlifting training session. **PloS One**, v. 11, n. 10, ID 0160305, 2016. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0160305>.

AMMAR, Achraf et al. Effects of natural polyphenol-rich pomegranate juice on the acute and delayed response of Homocysteine and steroidal hormones following weightlifting exercises: a double-blind, placebo-controlled trial. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 17, n. 1, p. 1-13, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12970-020-00345-w>.

AMALRAJ, Augustine; DIVYA, Chandradhara; GOPI, Sreeraj. The effects of bioavailable curcumin (Cureit) on delayed onset muscle soreness induced by eccentric continuous exercise: A randomized, placebo-controlled, double-blind clinical study. **Journal of Medicinal Food**, v. 23, n. 5, p. 545-53, 2020. Disponível em: <https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/jmf.2019.4533>.

ANDRADE, Sara Jéssica Teixeira de et al. Produção e identificação de substâncias produzidas por Paecilomyces H59, inibidoras do crescimento de Staphylococcus aureus MRSA. 2018. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7668>.

ANTONELLI-USHIROBIRA, T. M. et al. Acute and subchronic toxicological evaluation of the semipurified extract of seeds of guaraná (Paullinia cupana) in rodents. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 7, p. 1817-1820, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.04.013>.

AOAC INTERNATIONAL. **AOAC International Guidelines for Laboratories Performing Microbiological and Chemical Analyses of Food and Pharmaceuticals: An Aid to Interpretation of ISO/IEC 17025: 2005**. AOAC international, 2006. Disponível em: <https://foodsafetytech.com/tag/iec-17025/>.

ARANTES, Leticia Priscilla et al. Guarana (*Paullinia cupana* Mart.) attenuates methylmercury-induced toxicity in *Caenorhabditis elegans*. **Toxicology Research**, v. 5, n. 6, p. 1629-1638, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/c6tx00161k>.

ARETA, José et al. Metabolic and performance effects of Yerba Mate on well-trained cyclists. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 50, n. 4, p. 817-26, 2017. <http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0000000000001482>.

AROWOSEGBE, S., et al. Proximate composition, mineral content and antinutritional factors of the edible wild yam *Dioscorea altissima* grown in Nigeria. *Food Science & Nutrition*, v. 2, n. 3, p. 255-261, 2014.

ASPINALL, Gerald O. (Ed.). **The Polysaccharides**. Academic press, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrarywiley.ez2.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1002/9780470015902.a0000693.pub3>.

ASTLEY, Camilla; SOUZA, Diego B.; POLITO, Marcos D. Acute Specific Effects of Caffeine-containing Energy Drink on Different Physical Performances in Resistance-trained Men. **International Journal of Exercise Science**, v. 11, n. 4, p. 260, 2018. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5955291/>.

ATROCH, A. L.; CORDEIRO, E. R. Guaranazeiro: uma solução para o desenvolvimento sustentável da Amazônia brasileira. 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1150177/1/As-solucoes-sustentaveis-p353.pdf>.

BASTOS, Deborah H. Markowicz et al. Phenolic antioxidants identified by ESI-MS from yerba mate (*Ilex paraguariensis*) and green tea (*Camelia sinensis*) extracts. **Molecules**, v. 12, n. 3, p. 423-432, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/12030423>

BEAUCHAMP, Charles; FRIDOVICH, Irwin. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v. 44, n. 1, p. 276-287, 1971. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(71\)90370-8](https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8).

BELL, Phillip G. et al. Montmorency cherries reduce the oxidative stress and inflammatory responses to repeated days high-intensity stochastic cycling. **Nutrients**, v. 6, n. 2, p. 829-43, 2014. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6643/6/2/829>.

BELL, Phillip G. et al. Recovery facilitation with Montmorency cherries following high-intensity, metabolically challenging exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, v. 40, n. 4, p. 414-23, 2015. Disponível em: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.11-39/apnm-2014-0244>.

BELL, Phillip G. et al. The effects of montmorency tart cherry concentrate supplementation on recovery following prolonged, intermittent exercise. **Nutrients**, v. 8, n. 7, p. 441, 2016. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6643/8/7/441>.

BERLINCK, Roberto GS et al. Chemical and pharmacological characterization of halitoxin from *Amphimedon viridis* (Porifera) from the southeastern Brazilian coast. *Comparative*

Biochemistry and Physiology Part C: **Pharmacology, Toxicology and Endocrinology**, v. 115, n. 2, p. 155-63, 1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0742841396001077>.

BITTENCOURT, L. S. et al. The protective effects of guaraná extract (*Paullinia cupana*) on fibroblast NIH-3T3 cells exposed to sodium nitroprusside. **Food and Chemical Toxicology** : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association, v. 53, p. 119–25, doi:10.1016/j.fct.2012.11.041, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691512008484>.

BITTENCOURT, S. et al. Guarana (*Paullinia cupana* Mart.) Prevents β - Amyloid Aggregation, Generation of Advanced Glycation-end Products (AGEs), and Acrolein- Induced Cytotoxicity on Human Neuronal-Like Cells. **Phytotherapy Research**. doi: 10.1002/ptr.5173, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ptr.5173>.

BOWTELL, Joanna; KELLY, Vincent. Fruit-derived polyphenol supplementation for athlete recovery and performance. **Sports Medicine**, v. 49, n. 1, p. 3-23, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40279-018-0998-x>.

BLOEDON, Taylor K. et al. Impact of anthocyanin-rich whole fruit consumption on exercise-induced oxidative stress and inflammation: a systematic review and meta-analysis. **Nutrition Reviews**, v. 77, n. 9, p. 630-45, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuz018>.

BLOOMER, Richard J.; GOLDFARB, Allan H. Anaerobic exercise and oxidative stress: a review. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v. 29, n. 3, p. 245-63, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/h04-017>.

BRANCO, A. C. S. C. et al. Biochemical and hematological parameters of Wistar rats and Swiss mice from Biotério Professor Thomas George. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**, v.15, n.2, p. 209-14, 2011. Disponível em: <http://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/rbcs>.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução n.18, de 28 de abril de 2010**. Dispões sobre alimentos destinados a atletas. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/.../RDC+dos+Atletas+-+Dicol.pdf>>.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Guia Brasileiro de Produção, Manutenção ou Utilização de Animais em Atividades de Ensino ou Pesquisa Científica**: fascículo 12. 1. ed. Brasília, DF, 2015. 53p. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/14259#:~:text=https%3A//www.arca.fiocruz.br/handle/icict/14259>.

BRAAKHUIS, Andrea J.; HOPKINS, Will G.; LOWE, Tim E. Effects of dietary antioxidants on training and performance in female runners. **European Journal of Sport Science**, v. 14, n. 2, p. 160-8, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.785597>.

BURITS, M.; BUCAR, F. Antioxidant activity of *Nigella sativa* essential oil. **Phytotherapy Research**, v. 14, n. 5, p. 323-8, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/10991573-\(200008\)14:5<323::AID-PTR621>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/10991573-(200008)14:5<323::AID-PTR621>3.0.CO;2-Q).

BUCHWALD-WERNER, Sybille et al. Effects of lemon verbena extract (Recoverben®) supplementation on muscle strength and recovery after exhaustive exercise: a randomized, placebo-controlled trial. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 15, n. 1, p. 1-10, 2018. Disponível em: <https://jissn.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12970-018-0208-0>.

CAMPOS, Andressa Ferreira. **Efeitos do guaraná (Paullinia cupana) na saúde cardiovascular: uma revisão sistêmica**. 2018. Dissertação (Mestrado Nutrição em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6138/tde-27082018-120729/pt-br.php>.

CAMPOS-PÉREZ, J.; CÁMARA-MARTOS, F. Influence of Substances Present in Energy and Sports Drinks in Improving Athletic Performance. In: **Sports and Energy Drinks**. Woodhead Publishing, 2019. p. 297-337. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815851-7.00010-3>.

CARVALHO, Lidiane Vasconcelos do Nascimento et al. Evaluation of antibacterial, antineoplastic, and immunomodulatory activity of Paullinia cupana seeds crude extract and ethyl-acetate fraction. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2016, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2016/1203274>.

CASES, Julien et al. Supplementation with a Polyphenol-Rich extract, perfload®, improves physical performance during High-Intensity exercise: A randomized, double blind, crossover trial. **Nutrients**, v. 9, n. 4, p. 421, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu9040421>.

CAVALCANTI, VINICIUS et al. Bioproducts based on guarana (Paullinia cupana) for practitioners of physical activity, **European Academic Research**. v. 8, n. 3, p. 1746-59, jun. 2020a. Disponível em: <https://euacademic.org/UploadArticle/4425.pdf>.

CAVALCANTI, VINICIUS et al. Antioxidant capacity of guaraná (Paullinia cupana) microcapsules. **European Academic Research**. v. 8, n. 7, p. 4337-55, out. 2020b. Disponível em: <https://euacademic.org/UploadArticle/4594.pdf>.

CHEN, Haiming et al. Composition and Physicochemical Properties of Three Chinese Yam (Dioscorea opposita Thunb.) Starches: A Comparison Study. **Molecules**, v. 24, n. 16, p. 2973, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules24162973>

COOK, Matthew David et al. New Zealand blackcurrant extract improves cycling performance and fat oxidation in cyclists. **European Journal of Applied Physiology**, v. 115, n. 11, p. 2357-65, 2015. Disponível em: <https://rdcu.be/cKWHW>.

COSTA, Henrique CB, et al. Study of rheological properties of açai berry pulp: an analysis of its time-dependent behavior and the effect of temperature. **Journal of Biological Physics**, v. 44, n.4, p.557-577, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10867-018-9506-7> .

COSTA, Maria Beatriz Silva et al. Quimiodiversidade de fungos endofíticos associado a estresse oxidativo em larvas de Aedes aegypti. 2020. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/-handle/tede/7724> .

CRADDOCK, J. C. et al. Plant-based eating patterns and endurance performance: A focus on inflammation, oxidative stress and immune responses. **Nutrition Bulletin**, v. 45, n. 2, p. 123-32, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nbu.12427>.

CRUM, Emma May et al. The effect of acute pomegranate extract supplementation on oxygen uptake in highly-trained cyclists during high-intensity exercise in a high altitude environment. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 14, n. 1, p. 1-9, 2017. Disponível em: <https://rdcu.be/cKWJt>.

CRUM, Emma M.; BARNES, Matthew J.; STANNARD, Stephen R. Multiday pomegranate extract supplementation decreases oxygen uptake during submaximal cycling exercise, but cosupplementation with N-acetylcysteine negates the effect. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**, v. 28, n. 6, p. 586-92, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1123/ij-snem.2017-0407>.

D'ANGELO, Stefania. Polyphenols: Potential beneficial effects of these phytochemicals in athletes. **Current Sports Medicine Reports**, v. 19, n. 7, p. 260-5, 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.1249/jsr.0000000000000729>.

D'ANGELO, Stefania; ROSA, Roberta. The impact of supplementation with Pomegranate fruit (*Punica Granatum L.*) on sport performance. **Sport Sci**, v. 13, p. 29-37, 2020b. Disponível em: <https://rdcu.be/-cKWNq>.

DALONSO, Nicole; PETKOWICZ, Carmen Lúcia de Oliveira. Guarana powder polysaccharides: Characterisation and evaluation of the antioxidant activity of a pectic fraction. **Food Chemistry**, v. 134, n. 4, p. 1804-12, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.food-chem.2012.03.088>.

DALONSO, Nicole; DE OLIVEIRA PETKOWICZ, Carmen Lúcia. Guarana powder polysaccharides: Characterization and rheological properties of starch. **Starch-Stärke**, v. 66, n. 9-10, p. 914-922, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.201300289>.

DA SILVA, R. C., et al. (2019). Phenolic composition and antioxidant activity of guarana extracts (*Paullinia cupana*) obtained by different methods of extraction. *Food Chemistry*, 277, 643-650. Disponível em: [doi: 10.1016/j.foodchem.2018.10.070](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.070)

DECROIX, Lieselot et al. Acute cocoa Flavanols intake has minimal effects on exercise-induced oxidative stress and nitric oxide production in healthy cyclists: a randomized controlled trial. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1186/s12970-017-0186-7>.

DEEN, G. Roshan; CHUA, Vivien. Synthesis and properties of new “stimuli” responsive nanocomposite hydrogels containing silver nanoparticles. **Gels**, v. 1, n. 1, p. 117-134, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/gels1010117>

DE JESUS, Jociel Honorato et al. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO AMIDO DO CARÁ (*Dioscorea cayennensis*) NATIVO E MODIFICADO POR ACETILAÇÃO. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 4, n. 4, p. 0429-0436, 2018.

DELEY, Gaëlle et al. An acute dose of specific grape and apple polyphenols improves endurance performance: a randomized, crossover, double-blind versus placebo-controlled study. **Nutrients**, v. 9, n. 8, p. 917, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu9080917>.

DERAKHSHAN, Zahra et al. Antioxidant activity and total phenolic content of ethanolic extract of pomegranate peels, juice and seeds. **Food and Chemical Toxicology**, v. 114, p. 108-11, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.02.023>.

DE OLIVEIRA, G. B., et al. (2020). Comparative study of the antioxidant potential of freeze-dried extracts of guarana seeds (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) obtained by different extraction methods. *Industrial Crops and Products*, 145, 112113. Disponível em: [doi: 10.1016/j.indcrop.2019.112113](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.112113)

DIAS, Flávia de Carvalho Paiva; SILVA, Eleano Rodrigues da. Physical-chemical analysis of prickly pear (*dioscorea chondrocarpa* griseb.) Produced in Manaus. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 3859-69, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-261>.

DINIZ, EliEzEr M.; BERMANN, Celio. Economia verde e sustentabilidade. **Estudos avançados**, v. 26, p. 323-330, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100024>

DRAGUNSKI, D.C. e PAWLICKA, A. Preparation and characterization of starch grafted with toluene poly (propylene oxide) diisocyanate. **Materials Research**, v. 4, n. 2, p. 77-81, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mr/a/zFPFcbjF7m7gTnn8fjMLpZk/?format=pdf&-lang=en>.

EMBRAPA. **Cultivo do guaranazeiro no Amazonas**. 2008. Disponível em <http://sistemasde-producao.cnptia.embrapa.br/#guaraná>, 2008.

EREL, Ozcan. A novel automated direct measurement method for total antioxidant capacity using a new generation, more stable ABTS radical cation. **Clinical Biochemistry**, v. 37, n. 4, p. 277-85, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2003.11.015>.

FERNÁNDEZ-LÁZARO, Diego et al. Modulation of exercise-induced muscle damage, inflammation, and oxidative markers by curcumin supplementation in a physically active population: a systematic review. **Nutrients**, v. 12, n. 2, fev., 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu12020501>.

FERNANDES, M. S. S. **Efeitos do treinamento físico na doença hepática gordurosa não alcoólica em camundongos: aspectos relacionados à biogênese mitocondrial, estresse oxidativo hepático e muscular**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências em Gastroenterologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.5.2019.tde-03102019-121211>.

FERREIRA, J. C. B. et al. Maximal lactate steady state in running mice: effect of exercise training. **Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology**, v. 34, n. 8, p. 760-5, 2007. Disponível em: [10.1111/j.1440-1681.2007.04635.x](https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.2007.04635.x).

FIGUEROA, A. L. G. Guaraná, a máquina do tempo dos Sateré-Mawé. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Ciências Humanas**, v. 11, n. 1, p. 55-85, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981.81222016000100005>.

FREIRE, Cristina Pessoa Veloso et al. Atividade citotóxica de naftoquinonas semisintéticas em espécies de *Cândida* isoladas da cavidade oral. 2010. Disponível em: <http://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3659>.

FUSTER-MUÑOZ, Encarnación et al. Effects of pomegranate juice in circulating parameters, cytokines, and oxidative stress markers in endurance-based athletes: A randomized controlled trial. **Nutrition**, v. 32, n. 5, p. 539-45, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2015.11.002>.

GAMA, Lais Alves da et al. **Plantas de cobertura no manejo sustentável das infestantes e na produtividade do guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke)**. 2019.

Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7127>.

GAAMOURI, Nawel et al. Effects of polyphenol (carob) supplementation on body composition and aerobic capacity in taekwondo athletes. **Physiology & Behavior**, v. 205, p. 22-8, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.03.003>.

GALLUZZI, Lorenzo; KEPP, Oliver; KROEMER, Guido. Mitochondria: master regulators of danger signalling. **Nature reviews Molecular cell biology**, v. 13, n. 12, p. 780-788, 2012. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nrm3479>

GELABERT-REBATO, Miriam et al. Enhancement of exercise performance by 48 hours, and 15-day supplementation with mangiferin and luteolin in men. **Nutrients**, v. 11, n. 2, p. 344, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu11020344>.

GOMEZ-CABRERA, Mari Carmen; et al. Redox-related biomarkers in physical exercise. **Redox Biology**, v. 42, ID 101956, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2021.101956>.

GORZYNIK-DEBICKA, Monika et al. Potential health benefits of olive oil and plant polyphenols. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 3, p. 686, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms19030686> .

GOULART, Maria Júlia VC et al. Effects of grape juice consumption on muscle fatigue and oxidative stress in judo athletes: a randomized clinical trial. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. 4, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/00013765202020191551>.

GRAHAM, Terry E. Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. **Sports medicine**, v. 31, p. 785-807, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.2165/00007256-200131110-00002>.

GULREZ, Syed KH; AL-ASSAF, Saphwan; PHILLIPS, Glyn O. Hydrogels: methods of preparation, characterisation and applications. **Progress in Molecular and Environmental Bioengineering-from Analysis and Modeling to Technology Applications**, v. 117150, 2011. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/17237>.

HASKELL, Crystal F. et al. A double-blind, placebo-controlled, multi-dose evaluation of the acute behavioural effects of guaraná in humans. **Journal of Psychopharmacology**, v. 21, n. 1, p. 65-70, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0269881106063815>.

HARMS-RINGDAHL, Mats; JENSSEN, Dag; HAGHDOOST, Siamak. Tomato juice intake suppressed serum concentration of 8-oxodG after extensive physical activity. **Nutrition Journal**, v. 11, n. 1, p. 1-5, 2012. Disponível em: <https://rdcu.be/cKYeO>.

HALLIWELL, Barry. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. **Plant physiology**, v. 141, n. 2, p. 312-322, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.106.077073>

HOFFMAN, Allan S. Hydrogels for biomedical applications. **Advanced drug delivery reviews**, v. 64, p. 18-23, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.09.010>

HOOVER, Ratnajothi. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, n. 3, p. 253-267, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00260-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00260-5).

HOOVER, R. et al. Composição, estrutura molecular, propriedades e modificação de amidos de leguminosas: Uma revisão. **Food Research International**, v. 43, n. 2, pág. 399-413, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.001>.

HORNUNG, P. S. et al. Enhancement of the functional properties of Dioscoreaceas native starches: Mixture as a green modification process. **Thermochimica Acta**, v. 649, p. 31-40, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2017.01.006>.

HORNUNG, P. S. et al. Green development of biodegradable films based on native yam (discrepancies) starch mixtures. **Starch-Stärke**, v.70, n.5-6, p.1700234, p.1-12, Mai., 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.201700234>.

HOOVER, Ratnajothi; VASANTHAN, Thavaratnam. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume, and tuber starches. **Carbohydrate Research**, v. 252, p. 33-53, 1994. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0008-6215\(94\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0008-6215(94)90004-3).

HUTCHISON, Alexander T. et al. Black currant nectar reduces muscle damage and inflammation following a bout of high-intensity eccentric contractions. **Journal of Dietary Supplements**, v. 13, n. 1, p. 1-15, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3109/19390211.2014.952864>.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas: Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 4. ed. digital, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://docero.com.br/doc/snnxcvn>.

IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/59/pnad19724-trimestrev1.pdf>.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (in Portuguese)**. In: Coagro (Ed.), Rio de Janeiro, 2016.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Pesquisa Mensal de Previsão e Acompanhamento das Safras agrícolas no Ano Civil**. Rio de Janeiro, 2018.

JACOB, Joby; GOPI, Sreeraj; DIVYA, Chandradhara. A randomized single dose parallel study on enhancement of nitric oxide in serum and saliva with the use of natural sports supplement in healthy adults. **Journal of Dietary Supplements**, v. 15, n. 2, p. 161-72, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19390211.2017.1331944>.

JINADU, O., et al. Antimicrobial and anti-inflammatory activities of Dioscorea altissima tuber extracts on microbial pathogens. **Food Science & Nutrition**, v. 7, n. 6, p. 2003-2009, 2019.

JOHANSSON, Lars H.; BORG, LA Håkan. A spectrophotometric method for determination of catalase activity in small tissue samples. **Analytical Biochemistry**, v. 174, n. 1, p. 331-6, 1988. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(88\)90554-4](https://doi.org/10.1016/0003-2697(88)90554-4).

JUSZKIEWICZ, A. et al. The effect of L-theanine supplementation on the immune system of athletes exposed to strenuous physical exercise. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 16, n. 1, p. 7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0274-y>.

KALAYCIOĞLU, Zeynep; ERIM, F. Bedia. Total phenolic content, antioxidant activities and bioactive ingredients of juices from pomegranate cultivars worldwide. **Food Chemistry**, v. 221, p. 496-507, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.084>.

KANG, Seung Wan et al. Oligomerized lychee fruit extract (OLFE) and a mixture of vitamin C and vitamin E for endurance capacity in a double blind randomized controlled trial. **Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition**, v. 50, n. 2, p. 106-13, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3164/jcbtn.11-46>.

KEANE, Karen M. et al. Effects of montmorency tart cherry (L. Prunus Cerasus) consumption on nitric oxide biomarkers and exercise performance. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 28, n. 7, p. 1746-56, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/sms.-13088>.

KENNEDY, David O. et al. Improved cognitive performance in human volunteers following administration of guarana (Paullinia cupana) extract: comparison and interaction with Panax ginseng. **Pharmacology Biochemistry and Behavior**, v. 79, n. 3, p. 401-11, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2004.07.014>.

KENNEDY, D. O. et al. Improved cognitive performance and mental fatigue following a multi-vitamin and mineral supplement with added guarana (Paullinia cupana). **Appetite**, v. 50, n. 2-3, p. 506-513, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.10.007>

KINUPP, V.F.; LORENZI, H. **Plantas Alimentícias não Convencionais (PANC) no Brasil: Guia de Identificação, Aspectos Nutricionais e Receitas Ilustradas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/12870>.

KNAB, Amy M. et al. Effects of a flavonoid-rich juice on inflammation, oxidative stress, and immunity in elite swimmers: a metabolomics-based approach. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**, v. 23, n. 2, p. 150-60, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1123/i-jsnem.23.2.150>.

KNAB, Amy M. et al. Effects of a freeze-dried juice blend powder on exercise-induced inflammation, oxidative stress, and immune function in cyclists. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 39, n. 3, p. 381-5, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.11-39/apnm-2013-0338>.

KOIVISTO, Anu Elisa et al. Effects of antioxidant-rich foods on oxidative stress induced by altitude and inflammation in elite endurance athletes: a randomized clinical trial. **PLoS One**, v. 14, n. 6, ID 0217895, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217895>.

KUMAR, Sanjeet et al. Dioscorea spp.(a wild edible tuber): a study on its ethnopharmacological potential and traditional use by the local people of Similipal Biosphere Reserve, India. **Frontiers in Pharmacology**, v. 8, p. 52, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphar.-2017.00052>.

KUSKOSKI, Eugenia Marta et al. Chemical and pharmacological properties of the guarana fruit (*Paullinia cupana*). **Vitae**, 12 (2), 45-52, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012140042005000200006&script=sciabstract&tlng=en>.

LAI, Furo et al. Antioxidant activities of water-soluble polysaccharide extracted from mung bean (*Vigna radiata* L.) hull with ultrasonic assisted treatment. **Carbohydrate Polymers**, v. 81, n. 2, p. 323-329, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.02.011>

LAOUAFA, Sofien et al. Estradiol protects against cardiorespiratory dysfunctions and oxidative stress in intermittent hypoxia. **Sleep**, v. 40, n. 8, p. zsx104, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/sleep/zsx104>.

LARSON, Ronald G. **The structure and rheology of complex fluids**. New York: Oxford university press, 1999. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=The+structure+and+rheology+of+complex+fluids.+&btnG=

LAZARIDOU, Athina; BILIADERIS, C. G. Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. **Journal of cereal science**, v. 46, n. 2, p. 101-118, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.05.003>

LEÃO, Daurimar Pinheiro et al. Cara Bioproducts (*Dioscorea* spp): a review study on the composition and applications. **European Academic Research**. v. 8, n. 5, p.2537-60, 2020. Disponível em: <https://euacademic.org/UploadArticle/4475.pdf>.

LEÃO, Daurimar Pinheiro. DESENVOLVIMENTO DE HIDROGEL DE CARÁ-ROXO (*Dioscorea trifida* L.) INCORPORADO COM AÇAÍ (*Euterpe precatoria* Mart) - UMA ROTA REGIONAL PARA MELHORIA DO EXERCÍCIO FÍSICO., 2021, 141 f. , Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal - BIONORTE) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, 2021. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/9029>.

LEE, Kuen Yong; MOONEY, David J. Hydrogels for tissue engineering. **Chemical reviews**, v. 101, n. 7, p. 1869-1880, 2001. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021>

LEVERS, Kyle et al. Effects of powdered Montmorency tart cherry supplementation on an acute bout of intense lower body strength exercise in resistance trained males. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 12, n. 1, p. 1-23, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12970-015-0102-y>.

LEVERS, Kyle et al. Effects of powdered Montmorency tart cherry supplementation on acute endurance exercise performance in aerobically trained individuals. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 13, n. 1, p. 1-23, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s-12970-016-0133-z>.

LIMA, Natália da Silva et al. Modulatory effects of guarana (*Paullinia cupana*) on adipogenesis. **Nutrients**, v. 9, n. 6, p. 635, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu9060635>.

LIMA, Natália da Silva et al. The effect of Guarana (*Paullinia cupana*) on metabolic and inflammatory parameters in adult male mice programmed by maternal obesity. **European Journal of Nutrition**, v. 58, n. 2, p. 765-774, 2019. Disponível em: <https://rdcu.be/cKWPj>. Acesso em: 10 abr. 2022.

LIMA, T. R., da Silva, E. P., Lima, M. S., de Oliveira, C. R., & Pimentel, M. F. (2021). Rapid determination of phenolic compounds in guarana (*Paullinia cupana*) by ultra-high-performance liquid chromatography with photodiode array detection. *Food Analytical Methods*, 14(4), 669-680. Disponível em: doi: [10.1007/s12161-020-01981-z](https://doi.org/10.1007/s12161-020-01981-z)

LIMA, Wanderson Pereira; REIS JÚNIOR, José dos; BANDEIRA, João Pedro Barbosa. Treinamento esportivo: um estudo introdutório sobre suas bases científicas. **Itinerarius Reflex-**

LIU, Xiane et al. Effects of soluble dietary fiber on the crystallinity, pasting, rheological, and morphological properties of corn resistant starch. **LWT**, v. 111, p. 632-9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.059>.

MACEDO, R. C. S. et al. Effects of chronic resveratrol supplementation in military firefighters undergo a physical fitness test—A placebo-controlled, double blind study. **Chemico-Biological Interactions**, v. 227, p. 89-95, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2014.12.033>.

MACHADO, Kamilla Nunes et al. A rapid simultaneous determination of methylxanthines and proanthocyanidins in Brazilian guaraná (*Paullinia cupana* Kunth.). **Food Chemistry**, v. 239, p. 180-8, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.089>.

MAHMOUDI, M. et al. Antidepressant and antioxidant activities of *Artemisia absinthium* L. at flowering stage. **African Journal of Biotechnology** v.8, n.24, p. 7170-7175, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.089>.

MARTINS, Nicolli Cariello et al. Effects of grape juice consumption on oxidative stress and inflammation in male volleyball players: A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. **Complementary Therapies in Medicine**, ID 102570, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1-016/j.ctim.2020.102570>.

MARTÍNEZ-NOGUERA, Francisco Javier et al. Acute effects of hesperidin in oxidant/antioxidant state markers and performance in amateur cyclists. **Nutrients**, v. 11, n. 8, p. 1898, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu11081898>.

MARTINS, Carolina de Aguiar. **Evaluation of in vitro and in vivo antioxidant activity of powdered guarana (*Paullinia cupana*)**. 2010. Tese (Doutorado em Nutrição em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6138/tde-31012011-093906/en.php>.

MARTIN-RINCON, Marcos et al. Supplementation with a mango leaf extract (Zynamite®) in combination with quercetin attenuates muscle damage and pain and accelerates recovery after strenuous damaging exercise. **Nutrients**, v. 12, n. 3, p. 614, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu-12030614>.

MARQUES, Leila Larissa Medeiros et al. Guaraná (*Paullinia cupana*) seeds: Selective supercritical extraction of phenolic compounds. **Food Chemistry**, v. 212, p. 703-11, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.028>.

MARQUES, Leila Larissa Medeiros et al. *Paullinia cupana*: a multipurpose plant—a review. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 29, n. 1, p. 77-110, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.-1016/j.bjp.2018.08.007>.

MATTOS, L. A. et al. Cará-de-espinho (*Cyperus esculentus* L.): um estudo sobre o uso, cultivo, processamento e compostos bioativos. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 19, 2016.

MATSUMOTO, Keitaro et al. Branched-chain amino acid supplementation increases the lactate threshold during an incremental exercise test in trained individuals. **Journal of nutritional science and vitaminology**, v. 55, n. 1, p. 52-58, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.3177/jnsv.55.52>

MASSARO, Marika et al. Effect of Cocoa products and its polyphenolic constituents on exercise performance and exercise-induced muscle damage and inflammation: A review of clinical trials. **Nutrients**, v. 11, n. 7, p. 1471, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu-11071471>.

MCANULTY, Lisa S. et al. Effect of blueberry ingestion on natural killer cell counts, oxidative stress, and inflammation prior to and after 2.5 h of running. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 36, n. 6, p. 976-84, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/h11-120>. Acesso em: 10 abr. 2022.

MEZGER, Thomas. **The rheology handbook: for users of rotational and oscillatory rheometers**. European Coatings, 2006. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr>

MELO NETO, Biano Alves de et al. Chemical composition and functional properties of starch extracted from the pejobaye fruit (*Bactris gaspaea* Kunt.). **Acta Scientiarum. Technology**, v. 37, n. 1, p. 105-10, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v37i1.20740>.

MERIGUETE, Indramara Lôbo de Araújo Vieira. **Transferência de biotecnologia: estudo de caso de cultivares de guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) no Estado do Amazonas**. 2020. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/8104>.

MEWIS, Jan; WAGNER, Norman J. **Colloidal suspension rheology**. Cambridge university press, 2012. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Et6kZGtdiFsC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Colloidal+suspension+rheology&ots>.

MINEKUS, M. et al. A standardised static in vitro digestion method suitable for food-an international consensus. **Food and Function**, v. 5, n. 6, p.1113–24, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C3FO60702J>.

MINGORI, Moara Rodrigues et al. Effect of *Paullinia cupana* Mart. commercial extract during the aging of middle age Wistar rats: differential effects on the hippocampus and striatum. **Neurochemical Research**, v. 42, n. 8, p. 2257-2273, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11064-017-2238-4>.

MINGORI, Moara Rodrigues. **Efeito da suplementação crônica do extrato de *Paullinia cupana* Mart. em ratos Wistar senescentes**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas: Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/180999>.

MOLENAAR, F. M., et al. Diversity and genetic erosion of traditional vegetables in Tanzania from the farmer's perspective. *Genetic Resources and Crop Evolution*, v. 55, n. 5, p. 685-697, 2008.

MOLYNEUX, Philip et al. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarín J. sci. technol*, v. 26, n. 2, p. 211-9, 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=503cd237-e4f0761-a4b000020&assetKey=AS%3A273786924929035%401442287297816>.

MONTEIRO, Julie Marie Martins et al. Avaliação da atividade antimicrobiana e citotóxica da biflorina frente a micro-organismos orais e a uma linhagem de célula cancerígena da cavidade bucal. 2015. Disponível em: <http://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5015>.

MOURA, E. M. **Alimentos funcionais como estratégia de inovação na indústria de alimentos processados: o caso da Nestlé**. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) - Faculdade de Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista, São Paulo 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/153920>

MURPHY, Connor A.; COOK, Matthew D.; WILLEMS, Mark E. T. Effect of New Zealand blackcurrant extract on repeated cycling time trial performance. *Sports*, v. 5, n. 2, p. 25, 2017. <https://doi.org/10.3390/sports5020025>.

NAGULESWARAN, Sabaratnam et al. Molecular characterisation of waxy corn and barley starches in different solvent systems as revealed by MALLS. *Food Chemistry*, v. 152, p. 297-299, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.108>.

NAKAYAMA, G. R.; CATON, M. C.; NOVA, M. P.; PARANDOOSH, Z. Assessment of the Alamar Blue assay for cellular growth and viability in vitro. *Journal of Immunological Methods*. v. 204, p. 205-8, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0022-1759\(97\)00043-4](https://doi.org/10.1016/s0022-1759(97)00043-4).

NARVÁEZ-GÓMEZ, Germán et al. Development and characterization of dual-modified yam (*Dioscorea rotundata*) starch-based films. *Heliyon*, v. 7, n. 4, p. e06644, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06644>.

NIEMAN, David C. et al. Metabolomics-based analysis of banana and pear ingestion on exercise performance and recovery. *Journal of Proteome Research*, v. 14, n. 12, p. 5367-5377, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1096/fasebj.30.1supplement.682.2>.

NEBL, Josefine et al. Ability to exercise vegan, ovo-lacto-vegetarian and omnivorous recreational runners. *Journal of the International Sports Nutrition Society*, v. 16, n. 1, pág. 23, 2019. Disponível em: <http://dx-doi.ez2.periodicos.capes.gov.br/10.1186/s12970-019-0289-4>.

NIEMAN, David C.; MITMESSER, Susan Hazels. Potential impact of nutrition on immune system recovery from heavy exertion: a metabolomics perspective. *Nutrients*, v. 9, n. 5, p. 513, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu9050513>.

NINA, Natasha Veruska dos Santos. Genetic divergence, adaptability and stability and selection gains for agroindustry characters of guarana genotypes. 2019. Doctoral Thesis. Federal University of Amazonas. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7079>.

NINA, Natasha Veruska dos Santos et al. Phytochemistry divergence among guarana genotypes as a function of agro-industrial characters. **Crop Science**, v. 61, n. 1, p. 443-55, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/csc2.20331>.

NUNES, Luciano Bastos; SANTOS, W. de J.; CRUZ, Renato Souza. Rendimento de extração e caracterização química e funcional de féculas de mandioca da região do semi-árido baiano. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 20, n. 1, p. 129-34, 2009. Disponível em: <http://200.145.71.150/seer/index.php/alimentos/article/viewArticle/955>.

O'BRIEN, John et al. Investigation of the Alamar Blue (resazurin) fluorescent dye for the assessment of mammalian cell cytotoxicity. **European journal of biochemistry**, v. 267, n. 17, p. 5421-5426, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1432-1327.2000.01606.x>

OH, Jae-Keun et al. Effect of supplementation with Ecklonia cava polyphenol on endurance performance of college students. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**, v. 20, n. 1, p. 72-9, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1123/ijsnem.20.1.72>.

OLIVEIRA, MARIA; DO CARMO SILVA, D. E. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO AMIDO DO CARÁ (*Dioscorea cayennensis*) NATIVO E MODIFICADO POR ACETILAÇÃO. 2017.

OLIVEIRA, Celso H. et al. Clinical toxicology study of an herbal medicinal extract of *Paullinia cupana*, *Trichilia catigua*, *Ptychopetalum olacoides* and *Zingiber officinale* (Catuama®) in healthy volunteers. **Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives**, v. 19, n. 1, p. 54-57, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ptr.1484>.

PAGLIA, D. E.; VALENTINE, W. N. Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase. **The Journal of Laboratory and Clinical Medicine**, v. 70, n. 1, p. 158-69, 1967. Disponível em: <https://doi.org/10.5555/uri-pii:002221-4367900765>.

PAULA, Cláudia Denise de et al. Physicochemical and morphologic characteristics of the rizóforos of yam (*Dioscorea alata*). **Biotecnología en el Sector Agropecuario y agroindustrial**, v. 10, n. 2, p. 61-70, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S1692-35612012000200008>.

PARK, E. J. et al. Physicochemical properties and in vitro digestibility of hydrogels containing rice bran fiber and sodium caseinate. *Journal of Food Science*, v. 79, n. 7, p. E1332-E1338, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.121>

PATEIRO, Mirian et al. Guarana seed extracts as a useful strategy to extend the shelf life of pork patties: UHPLC-ESI/QTOF phenolic profile and impact on microbial inactivation, lipid and protein oxidation and antioxidant capacity. **Food Research International**, v. 114, p. 55-63, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.047>.

PEIXOTO, Herbenya et al. Anti-aging and antioxidant potential of *Paullinia cupana* var. *sorbilis*: Findings in *Caenorhabditis elegans* indicate a new utilization for roasted seeds of guarana. **Medicines**, v. 4, n. 3, p. 61, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/medicines-4030061> Acesso em: 10 abr. 2022.

PEPPAS, Nikolaos A.; MERRILL, Edward W. Crosslinked poly (vinyl alcohol) hydrogels as swollen elastic networks. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 21, n. 7, p. 1763-1770, 1977. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/app.1977.070210704>

PÉREZ, E. et al. Isolated starches from yams (*Dioscorea* sp) grown at the Venezuelan Amazons: Structure and functional properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 1, p. 650-8, Out., 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.06.051>.

PÉREZ, Jorge et al. Effect of yam (*Dioscorea* spp.) starch on the physicochemical, rheological, and sensory properties of yogurt. **Heliyon**, v. 7, n. 1, p. e05987, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05987>.

PEREIRA, Jose Odair et al. Overview on biodiversity, chemistry, and biotechnological potential of microorganisms from the Brazilian Amazon. In: **Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics**. Springer, Cham, 2017. p. 71-103. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-55804-25>.

PEREIRA-CARO, Gema et al. Bioavailability of orange juice (poly) phenols: The impact of short-term cessation of training by male endurance athletes. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 106, n. 3, p. 791-800, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3945/ajcn.116.14-9898>.

PERKINS, Ian Craig et al. New Zealand blackcurrant extract improves high-intensity intermittent running. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**, v. 25, n. 5, p. 487-93, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2015-0020>.

PETTERSSON, Stefan et al. Effects of supplementing with an 18% carbohydrate-hydrogel drink versus a placebo during whole-body exercise in- 5 C with elite cross-country ski athletes: a crossover study. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 16, n. 1, p. 46, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0317-4>.

PIALOUX, V. et al. Effects of exercise and training in hypoxia on the antioxidant / pro-oxidant balance. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 60, n. 12, p. 1345, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602462>.

PINAFFI, Ana Clara da Costa. **Polifenóis não-extraíveis provenientes do guaraná (*Paullinia cupana*): caracterização por MALDI-TOF/TOF e avaliação do potencial e cinética de inibição da alfa-glicosidase**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.6.2019.tde-10012019-171854>.

PINHO, Lorena Silva et al. Guaraná (*Paullinia cupana*) by-product as a source of bioactive compounds and as a natural antioxidant for food applications. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 10, ID 15854, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j-fpp.15854>.

POLLEY, Kristine R. et al. Tart cherry consumption with or without prior exercise increases antioxidant capacity and decreases triglyceride levels following a high-fat meal. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 44, n. 11, p. 1209-18, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0535>.

POMPORTES, L. et al. Effet d'un complexe créatine–guarana sur la puissance musculaire et la performance cognitive chez des sportifs de haut niveau de performance. **Science & Sports**, v. 30, n. 4, p. 188-95, 2015. Disponible em: <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2015.04.002>.

POMPORTES, Laura et al. Cognitive performance enhancement induced by caffeine, carbohydrate and guarana mouth rinsing during submaximal exercise. **Nutrients**, v. 9, n. 6, p. 589, 2017. Disponible em: <https://doi.org/10.3390/nu9060589>.

POMPORTES, Laura et al. Effects of Carbohydrate, Caffeine and Guarana on Cognitive Performance. **International Journal of Sports Physiology and Performance**. v. 14, n. 5, p.576-82, 2018. Disponible em: <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2017-0865>.

POMPORTES, Laura et al. Effects of Carbohydrate, Caffeine, and Guarana on Cognitive Performance, Perceived Exertion, and Shooting Performance in High-Level Athletes. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 14, n. 5, p. 576-82, 2019. Disponible em: <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0865>.

POTTER, Julia A. et al. Effects of New Zealand blackcurrant extract on sport climbing performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 120, n. 1, p. 67-5, 2020. Disponible em: <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04226-2>.

POWERS, Scott K.; JACKSON, Malcolm J. Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. **Physiological Reviews**, v. 88, n. 4, p. 1243-76, 2008. Disponible em: <https://doi.org/10.1152/physrev.00031.2007>.

PRICE, Elliott J. et al. Metabolite profiling of Dioscorea (yam) species reveals underutilised biodiversity and renewable sources for high-value compounds. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2016. Disponible em: <https://doi.org/10.1038/srep29136>.

PRICE, Elliott J. et al. Metabolite profiling of yam (*Dioscorea* spp.) accessions for use in crop improvement programmes. **Metabolomics**, v. 13, n. 11, p. 144, 2017. Disponible em: <https://doi.org/10.1007/s-11306-017-1279-7>.

RAMPERSAD, Sephra N. Multiple applications of Alamar Blue as an indicator of metabolic function and cellular health in cell viability bioassays. **Sensors**, v. 12, n. 9, p. 12347-12360, 2012. Disponible em: <https://doi.org/10.3390/s120912347>.

RE, Roberta et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9-10, p. 1231-7, 1999. Disponible em: [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3).

ROJANO ORTEGA, Daniel et al. Tart cherry and pomegranate supplementations enhance recovery from exercise-induced muscle damage: a systematic review. **Biology of Sport**, v. 38, n. 1, 2021. Disponible em: <https://dx.doi.org/10.5114%2Fbiolsport.2020.97069>.

SADOWSKA-KREPA, Ewa et al. Effects of six-week Ginkgo biloba supplementation on aerobic performance, blood pro/antioxidant balance, and serum brain-derived neurotrophic factor in physically active men. **Nutrients**, v. 9, n. 8, p. 803, 2017. Disponible em: <https://www.mdpi.com/2072-6643/9/8/803>.

SABOU, Vlad R. et al. Review of Analytical Methods and Reporting of the Polyphenol Content of Tart Cherry Supplements in Human Supplementation Studies Investigating Health and

Exercise Performance Effects: Recommendations for Good Practice. **Frontiers in Nutrition**, v. 8, p. 124, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.652094>.

SCHIMPL, Flávia Camila et al. Guarana: revisiting a highly caffeinated plant from the Amazon. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 150, n. 1, p. 14-31, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.08.023>.

SANTANA, Ádina L.; MACEDO, Gabriela A. Effects of hydroalcoholic and enzyme-assisted extraction processes on the recovery of catechins and methylxanthines from crude and waste seeds of guarana (*Paullinia cupana*). **Food Chemistry**, v. 281, p. 222-230, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.091>.

SANTANA, Ádina L. et al. Pressurized liquid-and supercritical fluid extraction of crude and waste seeds of guarana (*Paullinia cupana*): Obtaining of bioactive compounds and mathematical modeling. **Food and Bioproducts Processing**, v. 117, p. 194-202, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.07.007>.

SANTOS, Quesia de Oliveira Deleón. **Extração e propriedades físico-químicas de amido de frutos nativos da Região Amazônica**. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) - Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2016. Disponível em: <http://www.ri.unir.br/jspui/handle/123456789/1419>.

SANTOS, Samiria de Jesus Lopes. **Caracterização das Propriedades do Amido de Cará-Roxo (*Dioscorea Trifida*) Obtido por Diferentes Métodos de Extração**. 2016. Universidade Federal do Pará, Pará, [s. l.], 2016. Disponível em: <https://ppgcta.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/-2016/SAMIRIA%20DE%20JESUS.pdf>.

SANTOS, S. A., Almeida, M. M., Coelho, L. C., & Maia, J. G. Adulteration of guarana extracts: a comprehensive review. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2020. 179, 112954. Disponível em: [doi: 10.1016/j.jpba.2019.112954](https://doi.org/10.1016/j.jpba.2019.112954)

SEMEN, Khrystyna O. et al. Effects of Monomeric and Oligomeric Flavanols on Kidney Function, Inflammation and Oxidative Stress in Runners: A Randomized Double-Blind Pilot Study. **Nutrients**, v. 12, n. 6, p. 1634, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6643/12/6/1634>.

SENA, Cristyana Pontes et al. Comportamento reológico de géis de mucilagem do Cará-roxo (*Dioscorea trifida*). 2020. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/8171/8/-Disserta%c3%a7%c3%a3oCristyanaSenaPPGCEM.pdf>.

SOUZA, T. L. et al. Cará de espinho (*Cyperus esculentus* L.): composição nutricional e possíveis benefícios à saúde. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v. 78, n. 1, p. 1-10, 2019.

SHANTY, Angamaly Antony; MOHANAN, Puzhavorparambil Velayudhan. Bases de Schiff heterocíclicas como antioxidantes não tóxicos: efeito solvente, relação estrutura-atividade e mecanismo de ação. **Spectrochimica Acta Parte A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 192, p. 181-7, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.11.019>.

SHAO, Yelin et al. Physicochemical and structural properties of low-amylose Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) starches. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 427-433, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.054>.

SILVA, C. P. et al. Guarana polyphenols after in vitro digestion: evaluation of bioaccessibility and inhibition of the activity of carbohydrate hydrolyzing enzymes. **Food Chemistry**, v. 267, p. 405-9, 2018. Disponível em: <https://doi-org.ez2.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.foodchem.2017.08.-078>.

SILVA, Larissa Svetlana Cavalcante et al. Starch extraction and characterization of Dioscorea species grown in the Amazon. **Bulletin of the Museu Paraense Emílio Goeldi-Natural Sciences**, v. 14, n. 3, p. 439-52, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v1-4i3.230>.

SILVA, Eleano Rodrigues et al. Isoporização em cará-de-espinho (*Dioscorea altissima* Lam.). **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, maio, 2016. Disponível em: <http://revistas.abaagroecologia.org.br/index.php/-cad/article/view/17960>.

SILVA, Marlucci P. et al. Production and characterization of solid lipid microparticles loaded with guaraná (*Paullinia cupana*) seed extract. **Food Research International**, v. 123, p. 144-152, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.055>

SILVA, H. R. et al. Obtaining and characterization of anthocyanins from *Euterpe oleracea* (açai) dry extract for nutraceutical and food preparations. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 29, n. 5, p. 677-685, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bjp.-2019.03.004>.

SILVA, Antonio Mario Galvão E. Amazonian Fruits in Exercise and Sport: narrative review study, **European Academic Research**, v. 8, n. 6, set., 2020. Disponível em: <https://euacademic.org/UploadArticle/4498.pdf>.

SILVA, Eleano Rodrigues et al. 14026-Preliminary evaluation of the cultivation of *Dioscorea altissima* Lam. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, 2013. Disponível em: <https://revistas.-aba-agroecologia.-org.br/cad/artic le/view/14026>. Acesso em: 10 abr. 2022.

SILVA, Blenda Naara Santos da. **Diversidade e atividade biológica de fungos endofíticos do guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbillis*)**. 2019. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7173>.

SILVA, V. C., Lopes, N. B., & Figueiredo, E. C. HPLC-DAD method for quantification of catechins and proanthocyanidins in *Paullinia cupana* samples. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2019. 167, 1-7. Disponível em: [doi: 10.1016/j.jpba.2019.01.033](https://doi.org/10.1016/j.jpba.2019.01.033)

SINGH, Narpinder et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food chemistry**, v. 81, n. 2, p. 219-231, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8)

SORRENTI, Vincenzo et al. Deciphering the Role of Polyphenols in Sports Performance: From Nutritional Genomics to the Gut Microbiota toward Phytonutritional Epigenomics. **Nutrients**, v. 12, n. 5, p. 1265, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6643/12/5/1265>.

SOUZA, Maria Assunção da Costa et al. Açai juice (*Euterpe oleracea* Mart.): microbiological evaluation thermal treatment and shelf life. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 4, p. 497-502, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/RmM9TQvWwJ7rZLPV7QqjDfm/?format=pdf&lang=pt>.

SOUZA, V. M., Silva, F. F., Teixeira, L. R., Oliveira, E. R., Soares, L. A., & Ribeiro, P. R. Determination of methylxanthines and catechins in guaraná (*Paullinia cupana*) by HPLC. *Food Chemistry*. 2018. 241, 308-314. Disponível em: [doi: 10.1016/j.foodchem.2017.08.057](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.057)

STEVANOVIĆ, Vuk et al. Aronia juice consumption prior to half-marathon race can acutely affect platelet activation in recreational runners. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 45, n. 4, p. 393-400, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/apnm-2019-0267>.

SUMNERS, David P. et al. Montmorency cherry juice reduces muscle damage caused by intensive strength exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31820e5adc>.

TAPPIBAN, Piengtawan et al. Gelatinization, pasting and retrogradation properties and molecular fine structure of starches from seven cassava cultivars. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 150, p. 831-838, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.1016-j.ijbiomac.2020.02.119](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.119).

TAMIRU, Muluneh; MAASS, Brigitte L.; PAWELZIK, Elke. Characterizing diversity in composition and pasting properties of tuber flour in yam germplasm (*Dioscorea* spp.) from Southern Ethiopia. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 10, p. 1675-1685, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3263>.

TAN, Huaping; MARRA, Kacey G. Injectable, biodegradable hydrogels for tissue engineering applications. **Materials**, v. 3, n. 3, p. 1746-1767, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma3031746>

TEIXEIRA, Lorisa Simas et al. Efficiency of Amazonian tubers flours in modulating gut microbiota of male rats. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 38, p. 1-6, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.08.015>.

TESTE, mutação reversa bacteriana. **Diretriz da OCDE para Testes de Produtos Químicos**. Mortalidade, v. 1, n. 10, 1997. Disponível em: <https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:l3NoqK54KwJ:scholar.google.com/&hl=pt-BR&asdt=0.5>.

TESTER, Richard F.; MORRISON, William R. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. **Cereal chem**, v. 67, n. 6, p. 551-557, 1990. Disponível em: https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1990/Documents/-67_551.pdf

TREVISAN, B. P. **Avaliação da tensão superficial, parâmetros reológicos e atenuação acústica de suspensões de açaí**. 2011. 114f. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/-disponiveis/18/18147/tde-11092012-080037/en.php>.

TOSCANO, Lydiane Tavares et al. Potential ergogenic activity of grape juice in runners. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 40, n. 9, p. 899-906, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0152>.

TOSCANO, Lydiane de Lima Tavares et al. A single dose of purple grape juice improves physical performance and antioxidant activity in runners: a randomized, crossover, double-

blind, placebo study. **European Journal of Nutrition**, p. 1-11, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00394-019-02139-6>.

TREXLER, Eric T. et al. Effects of pomegranate extract on blood flow and running time to exhaustion. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 39, n. 9, p. 1038-42, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0137>.

TRICAUD, Solène; PINTON, Florence; PEREIRA, Henrique dos Santos. Saberes e práticas locais dos produtores de guaraná (*Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis*) do médio Amazonas: duas organizações locais frente à inovação. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 11, n. 1, p. 33-53, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1-981.81222016000-100004>.

VARGAS, Flávia Carolina. **Caracterização de extratos aquosos de Pitanga (*Eugenia uniflora* L), Guaraná (*Paullinia cupana* Kunth) e Alecrim (*Rosmarinus officinalis*) e sua aplicação para promover a estabilidade da carne bovina refrigerada**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/-disponiveis/74/74131/tde-03022016-102107/en.php>.

VUČIĆ, Vesna et al. Composition and potential health benefits of pomegranate: a review. **Current Pharmaceutical Project**, v. 25, n. 16, pág. 1817-27, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2174/1381612825666190708183941>.

WIGHTMAN, Emma L. et al. Acute Effects of a Polyphenol-Rich Leaf Extract of *Mangifera indica* L.(Zynamite) on Cognitive Function in Healthy Adults: A Double-Blind, Placebo-Controlled Crossover Study. **Nutrients**, v. 12, n. 8, p. 2194, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/-2072-6643/12/8/2194>.

WILLEMS, Mark ET et al. Beneficial effects of New Zealand blackcurrant extract on maximal sprint speed during the Loughborough intermittent shuttle test. **Sports**, v. 4, n. 3, p. 42, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/sports4030042>.

WU, Shunli et al. Hydrogels for bone organoid construction: from a materiobiological perspective. **Journal of Materials Science & Technology**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2022.07.008>

YAMAGUCHI, Klenicy Kazumy de Lima. **Caracterização de substâncias fenólicas de resíduos de frutos amazônicos e avaliação para uso biotecnológico**. 2015. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, 2015. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/4807>.

YAMAGUTI-SASAKI, Elza et al. Antioxidant Capacity and In Vitro Prevention of Dental Plaque Formation by Extracts and Condensed Tannins of *Paullinia cupana*. **Molecules**, v. 12, n. 8, p. 1950-1963, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/12081950>.

YFANTI, Christina et al. Sports nutrition, redox homeostasis and toxicity in sports performance. **Current Opinion in Toxicology**, v. 13, p. 45-67, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2019.01.003>.

YONEKURA, L. et al. Bioavailability of catechins from guaraná (*Paullinia cupana*) and its effect on antioxidant enzymes and other oxidative stress markers in healthy human subjects.

Food & Function, v.13, n.7, p. 2970-8, Jul. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C6FO00513F>.

ZALLEN, Richard. **The physics of amorphous solids**. John Wiley & Sons, 2008. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=fHoJn0P_XwYC&oi=fnd&pg=P-P2&dq=The+Physics+of+Amorphous+Solids&ots

ZEIDÁN-CHULIÁ, Fares et al. Major components of energy drinks (caffeine, taurine, and guarana) exert cytotoxic effects on human neuronal SH-SY5Y cells by decreasing reactive oxygen species production. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2013/791795>.

ZHU, Fan. Isolation, composition, structure, properties, modifications, and uses of yam starch. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, n. 4, p. 357-386, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12134>.

ANEXO 1

Cadastro de acesso ao patrimônio genético ou conhecimento tradicional associado, No. ABOF260, no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SIGEN)



Ministério do Meio Ambiente
CONSELHO DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO

SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO E DO CONHECIMENTO TRADICIONAL ASSOCIADO

Cartidão
Cadastro nº ABOF260

Declaramos, nos termos do art. 41 do Decreto nº 8.772/2016, que o cadastro de acesso ao patrimônio genético ou conhecimento tradicional associado, abaixo identificado e resumido, no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado foi submetido ao procedimento administrativo de verificação e não foi objeto de requerimentos admitidos de verificação de indícios de irregularidades ou, caso tenha sido, o requerimento de verificação não foi acatado pelo CGen.

Número do cadastro: ABOF260
 Usuário: IVAN DE JESUS FERREIRA
 CPF/CNPJ: 342.558.302-59
 Objeto do Acesso: Patrimônio Genético
 Finalidade do Acesso: Pesquisa

Espécie

Paulinia cupana

Dioscorea altissima

Título da Atividade: EFEITO DE HIDROGEL COMPOSTO DE GUARANÁ (Paulinia cupana var. sorbilis) E CARÁ-DE-ESPINHO (Dioscorea altissima Lam.) SOBRE O DESEMPENHO E RECUPERAÇÃO DO EXERCÍCIO FÍSICO DE ENDURANCE

Equipe

IVAN DE JESUS FERREIRA	Universidade Federal do Amazonas
DAURIMAR PINHEIRO LEÃO	Universidade Federal do Amazonas
ANTÔNIO MÁRIO GALVÃO E SILVA	Universidade Federal do Amazonas
MARNE CARVALHO DE VASCONCELLOS	Universidade Federal do Amazonas
LUCIDIO ROCHA SANTOS	UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

Data do Cadastro: 02/03/2022 20:16:20

Situação do Cadastro: Concluído

Conselho de Gestão do Patrimônio Genético
 Situação cadastral conforme consulta ao SisGen em 22:13 de 03/01/2023.



SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO
 DO PATRIMÔNIO GENÉTICO
 E DO CONHECIMENTO TRADICIONAL
 ASSOCIADO - **SIGEN**