



Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Recursos Naturais da Amazônia

**OBTENÇÃO DO ÓLEO E DA POLPA SEM GORDURA DO AÇAÍ
(*Euterpe oleracea*) POR EXTRAÇÃO SUPERCRTICA:
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, ESTUDO DA
CITOTOXICIDADE E VIDA DE PRATELEIRA.**

Letícia Maria Martins Siqueira

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, PRODERNA/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Raul Nunes de Carvalho Junior.
Co-Orientador: Prof. Dr. Davi do Socorro Barros Brasil.

Belém- PA
Janeiro/2025

OBTENÇÃO DO ÓLEO E DA POLPA SEM GORDURA DO AÇAÍ (*Euterpe oleracea*) POR EXTRAÇÃO SUPERCRÍTICA: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, ESTUDO DA CITOTOXICIDADE E VIDA DE PRATELEIRA.

Letícia Maria Martins Siqueira

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA (PRODERNA/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS.

Aprovada por:

Prof. Dr. Raul Nunes de Carvalho Junior.
(PRODERNA/ UFPA-Orientador)

Prof. Dr. Davi do Socorro Barros Brasil.
(PPGEQ/ITEC/ UFPA- Co-Orientador)

Prof. Dr. Nélio Teixeira Machado
(PRODERNA/ITEC/ UFPA- Membro Interno)

Prof. Dr. Eduardo Gama Ortiz Menezes.
(FEQ/ IFRO/RO- Membro Externo)

Dra. Flávia Cristina Seabra Pires
(SAMPAIO & MORAES – Membro Externo)

Prof. Dr. Pericles Crisiron Pontes
(FEQ/ITEC/ UFPA/ – Membro Externo)

BELÉM, PA – BRASIL

2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Siqueira, Letícia Maria Martins.

Obtenção do óleo e da polpa sem gordura do açaí (*Euterpe oleracea*) por extração supercrítica: caracterização físico-química, estudo da citotoxicidade e vida de prateleira. / Letícia Maria Martins Siqueira. — 2025.

113 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Raul Nunes de Carvalho Junior
Coorientador: Prof. Dr. Davi do Socorro Barros Brasil Tese
(Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia. Instituto de Tecnologia.
Universidade Federal do Pará, Belém, 2025.

1. CO₂ supercrítico. 2. rendimento global. 3. compostos fenólicos. 4. antocianinas. 5. carotenoides. I. Título.

CDD 660

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese de Doutorado a todas as pessoas que me apoiaram durante esse período de aprendizado. Aos meus pais, minhas irmãs, meus sobrinhos e meus amigos por serem minha força e amparo em todas as fases da minha vida e serem meus exemplos de superação, amor, apoio e compreensão durante todos esses anos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças, me iluminar e me abençoar em todos os momentos da vida.

Sou muito grata à minha família por todo o apoio, força e confiança em todos os momentos da minha vida e em todos esses anos de estudo. Aos meus pais, as minhas irmãs e meus sobrinhos por serem a minha força e minha inspiração em todas as fases da minha vida. Depois de um longo período de aprendizados, superação, dedicação e lutas cheguei aqui nesse momento. E esse doutorado não seria possível sem vocês.

Agradeço aos meus amigos de fora da UFPA, da minha equipe LABTECS, dos meus alunos de iniciação científica e estagiários, que eu posso chamar de família por sempre estarem ao meu lado, me apoiando seja com uma palavra de incentivo ou com alguma ajuda nas escritas dos artigos, nos experimentos e em toda essa fase da minha vida. Nada disso seria possível sem o apoio de vocês.

Gostaria de agradecer também ao professor Dr. Raul Nunes de Carvalho Junior por sua orientação e contribuição em todas as fases desta tese de doutorado, pelas suas sugestões, pelos conselhos de vida, pelos ensinamentos e pela amizade ao longo destes anos. Obrigada por tudo.

Agradeço também ao professor Dr. Davi do Socorro Barros Brasil por toda ajuda e apoio como Co-orientador durante todo esse período. Desde a ajuda com materiais e tudo que precisasse e estava ao seu alcance até as palavras de apoio e por sua amizade de tantos anos.

Agradeço ao Professor Nélio Teixeira Machado, ao Professor Eduardo Gama Ortiz Menezes, a Doutora Flávia Cristina Seabra Pires e ao Professor Pericles Crisiron Pontes por terem aceitado o convite de participação da banca de qualificação da tese de Doutorado.

Agradeço ao PRODERNA pela oportunidade dada para o desenvolvimento do doutorado e obtenção do título de doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia.

Agradeço também a CAPES pela bolsa concedida para o desenvolvimento desse Doutorado.

Resumo do projeto de Tese apresentada ao PRODERNA/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais (Dr. Eng.)

**OBTENÇÃO DO ÓLEO E DA POLPA SEM GORDURA DO AÇAÍ
(*Euterpe oleracea*) POR EXTRAÇÃO SUPERCRÍTICA:
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, ESTUDO DA
CITOTOXICIDADE E VIDA DE PRATELEIRA.**

Letícia Maria Martins Siqueira

Janeiro/2025

Orientador: Prof. Dr. Raul Nunes de Carvalho Junior

Área de Concentração: Engenharia de Processos

O açaí é um produto muito importante para o desenvolvimento do estado do Pará, para a bioeconomia e o mercado tem se mostrado crescente. Atualmente a maioria da produção do estado é apenas da polpa do fruto, logo a importância de novos produtos com valor agregado e a necessidade de investir em novos processos sustentáveis para o desenvolvimento da região. Portanto o objetivo desse trabalho foi obter o óleo e a polpa sem gordura da polpa de açaí por extração supercrítica, determinar os principais compostos bioativos, avaliar a possível citotoxicidade em células MRC-5 e VERO in vitro e avaliar a vida de prateleira dos produtos. A polpa liofilizada de açaí foi submetida à extração com CO₂ supercrítico nas condições 323,15 K a 35 MPa, 333,15 K a 42 MPa e 343,15 K a 49 MPa. O maior rendimento (51,74 %), carotenoides (277,09 µg / g), DPPH (2,55 µmol TE / g), ABTS (2,60 µmol TE / g) e FRAP (15,25 µm de sulfato ferroso / g) do óleo e ABTS (644,23 µmol TE / g) da polpa sem gordura foram encontrados na condição 343,15 K a 49 MPa. Os maiores teores de compostos fenólicos (150,20 mg GAE / g b.s.), DPPH (414,99 µmol TE / g b.s.) e FRAP (746,2 µm de sulfato ferroso / g) da polpa sem gordura foram encontrados na condição 323,15 K a 35 MPa. A polpa sem gordura apresentou altos teores de antocianinas sem variação significativa. Os produtos não apresentaram citotoxicidade. O tempo de meia vida da polpa liofilizada e da sem gordura na presença de luz (Becker) foi menor que a das embalagens, sendo que a embalagem selada obteve maior tempo de meia vida comparada com a selada a vácuo para a polpa liofilizada, já para a polpa sem gordura a embalagem selada a vácuo obteve maior tempo de meia vida comparada com a selada. Os resultados obtidos para a estabilidade do óleo de açaí qualificam-no como óleo de mesa e não como óleo de fritura,

já que em temperaturas mais altas ele sofre degradação mais rápido. Os resultados mostraram que os produtos têm potencial aplicação na indústria.

Palavras-chave: CO₂ supercrítico; rendimento global; compostos fenólicos; antocianinas; carotenoides; antioxidantes.

Abstract of the Thesis presented to PRODERNA / UFPA as part fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Natural Resource Engineering (D. Eng.)

OBTAINING OIL AND PULP WITHOUT AÇAÍ FAT (*Euterpe oleracea*) BY SUPERCRITICAL EXTRACTION: PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION, STUDY OF CYTOTOXICITY AND SHELF LIFE.

Letícia Maria Martins Siqueira

January/2025

Advisor: Prof. Dr. Raul Nunes de Carvalho Junior

Area of Concentration: process engineering

Açaí is a very important product for the development of the state of Pará, for the bioeconomy and the market has been growing. And currently the majority of the state's production is just fruit pulp, hence the importance of new products with added value and the need to invest in new sustainable processes for the region's development. Therefore, the objective of this work was to obtain the oil and pulp without açaí fat by supercritical extraction, determine the main bioactive compounds, evaluate the possible cytotoxicity in MRC-5 and VERO cells in vitro and evaluate the shelf life of the products. The freeze-dried açaí pulp was subjected to extraction with supercritical CO₂, under the conditions 323,15 K at 35 MPa, 333,15 K at 42 MPa and 343,15 K at 49 MPa. The highest yield (51,74 %), carotenoids (277,09 µg/g), DPPH (2,55 µmol TE/g), ABTS (2,60 µmol TE/g) and FRAP (15,25 µm ferrous sulfate/g) from oil and ABTS (644,23 µmol TE/g) from pulp without fat were found at 343,15 K at 49 MPa condition. The highest contents of phenolic compounds (150,20 mg GAE/g d.b.), DPPH (414,99 µmol TE/g d.b.) and FRAP (746,2 µm ferrous sulfate/g) from pulp without fat were found at 323,15 K at 35 MPa condition. The pulp without fat presented high levels of anthocyanins without significant variation. The products did not present cytotoxicity. The half-life of the freeze-dried pulp

and the fat-free pulp in the presence of light (Becker) was shorter than that of the packaging materials. The sealed packaging achieved a longer half-life compared to vacuum-sealed packaging for the freeze-dried pulp. However, for the fat-free pulp, the vacuum-sealed packaging showed a longer half-life compared to the sealed one. The results of the stability of açai oil qualify it as a table oil rather than a frying oil, as it degrades more rapidly at higher temperatures. The results demonstrated that the products have potential applications in the industry.

Keywords: Supercritical CO₂; Global Yield; Phenolic Compounds; Anthocyanins; Carotenoids; Antioxidant.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	xv
LETRAS GREGAS	xvi
1 - INTRODUÇÃO	15
1.1 - MOTIVAÇÃO	15
1.2 - OBJETIVOS	18
1.2.1 - Objetivo Geral	18
1.2.2 - Objetivos Específicos	18
1.3 - CONTRIBUIÇÃO DA TESE.....	19
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 - Açaí (Euterpe oleracea Mart.).....	20
2.1.1 - Aspectos Gerais.....	20
2.1.2 - Composição química	22
2.1.3 - Compostos bioativos	23
2.1.3.1 - Compostos fenólicos	24
2.1.3.2 - Antocianinas.....	25
2.1.3.3 - Carotenoides.....	27
2.1.4- Atividade antioxidante	28
2.2 - Métodos de extração.....	29
2.2.1 - Extração com fluido supercrítico	30
2.2.2 - Fluidos supercríticos	31
2.2.3 - Tipos de fluidos.....	32
2.2.4 - Parâmetros que influenciam no processo de extração supercrítica	33
2.2.5 - Processo de extração supercrítica.....	35
2.2.6 - Rendimento global	36
2.3 - Vida de prateleira.....	37
3 - MATERIAIS E MÉTODOS`	40
3.1 - Coleta e processamento do material vegetal	40
3.1.1 - Liofilização.....	41
3.2 - Caracterização da polpa de açaí liofilizada	41
3.2.1 - Determinação da granulometria	41

3.2.2 - Determinação da densidade real das partículas, densidade aparente do leite e porosidade do leite.....	42
3.2.4 - Determinação da concentração de compostos fenólicos totais	43
3.2.5 - Determinação de teor de antocianinas totais	43
3.2.6 - Atividade antioxidante	43
3.2.6.1 - Método DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil)	43
3.2.6.2 - Método ABTS (ácido 2,2'-azino-bis 3-etilbenzolina-6-sulfónico).....	44
3.2.6.3 - Método da redução do ferro (FRAP).....	44
3.3 - Extração com fluido supercrítico.....	45
3.3.1 - Unidade de extração supercrítica	45
3.3.2 - Procedimento experimental.....	45
3.3.3 - Determinação dos rendimentos globais.....	46
3.3.4 - Determinação do rendimento da extração.....	47
3.4 - Caracterização físico-química do óleo de açaí.....	48
3.4.1 - Densidade e viscosidade.....	48
3.4.2 - Índice de acidez.....	48
3.4.3 - Índice de peróxido.....	48
3.4.4- Índice de iodo	49
3.5 - Determinação do teor de carotenoides totais dos óleos de açaí.....	50
3.6 - Atividade citotóxica do óleo e da polpa sem gordura do açaí	50
3.6.1 - Cultura celular	50
3.6.2 - Avaliação da atividade citotóxica – Ensaio do MTT	50
3.7 - Determinação da concentração de compostos fenólicos totais e teor de antocianinas totais das polpas sem gordura de açaí.....	51
3.8 - Atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP dos óleos e das polpas sem gordura de açaí.....	52
3.9 - Vida de prateleira da polpa liofilizada, polpa sem gordura e do óleo de açaí	52
3.9.1 - Vida de prateleira da polpa liofilizada e sem gordura do açaí	52
3.9.1.1 - Determinação das Antocianinas totais	52
3.9.1.2 - Estudo da estabilidade da polpa liofilizada e sem gordura	52
3.9.2 - Estabilidade do óleo do açaí.....	53
3.10 - Análise estatística dos resultados	54
4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1 - Caracterização da polpa liofilizada de açaí	55

4.1.1 - Densidade real, densidade aparente, porosidade do leito e diâmetro de partícula	55
4.1.2 - Análise de composição centesimal.....	55
4.1.3 - Teor de compostos fenólicos, teor de antocianinas totais e atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP.	56
4.2 - Extração com fluido supercrítico.....	57
4.2.1 - Determinação dos rendimentos globais.....	57
4.3 - Caracterização físico-química do óleo de açaí.....	59
4.4 - Determinação do teor de compostos fenólicos da polpa sem gordura do açaí	60
4.5 - Determinação do teor de antocianinas totais da polpa sem gordura do açaí .	61
4.6 - Determinação do teor de carotenoides totais dos óleos de açaí	63
4.7 - Atividade antioxidante dos óleos e polpas sem gordura do açaí	64
4.7.1 - Método DPPH	64
4.7.2 - Método ABTS	65
4.7.3 - Método FRAP	66
4.8 - Atividade citotóxica do óleo e da polpa sem gordura obtidos da extração com CO₂.....	68
4.9 - Vida de prateleira da polpa liofilizada do açaí	70
4.10 - Vida de prateleira da polpa sem gordura do açaí	72
4.11 – Estabilidade do óleo de açaí.....	75
5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
6 - SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	79
7 - LISTA DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA	80
7.1 - Patente publicada como primeira autora.....	80
7.2 - Patentes publicadas como co-autora	80
7.3 – Patentes depositadas como co-autora	81
7.4 - Artigo completo publicado em periodico como primeira autora.....	81
7.5 - Artigo completo publicado em periodico como co-autora.....	82
7.6 - Capítulos de livros publicados	82
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Açaizeiro (<i>Euterpe oleracea</i> Mart.)	21
Figura 2 -	Estrutura química das antocianinas	26
Figura 3 -	Diagrama de fases de um componente puro	32
Figura 4 -	Isoterma de rendimento global para o sistema alecrim + CO ₂	37
Figura 5 -	Fluxograma de experimentos	40
Figura 6 -	Polpa liofilizada de açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	41
Figura 7 -	Fluxograma esquemático da unidade de extração Spe-ed	46
Figura 8 -	Rendimento global do óleo de açaí em base seca a partir da extração supercrítica com CO ₂	58
Figura 9 -	Teor de antocianinas na polpa de açaí liofilizada e nas polpas após extração com CO ₂	62
Figura 10 -	Efeito do óleo de açaí (<i>Euterpe oleracea</i>) na viabilidade celular de células normais MRC5 e VERO, após 72 horas de tratamento	69
Figura 11 -	Efeito da polpa sem gordura do açaí (<i>Euterpe oleracea</i>) na viabilidade celular de células normais MRC5 e VERO, após 72 horas de tratamento	70
Figura 12 -	Cinética de degradação das antocianinas ao longo do estudo da estabilidade da polpa de açaí liofilizada.	71
Figura 13 -	Cinética de degradação das antocianinas ao longo do estudo da estabilidade da polpa de açaí sem gordura.	73
Figura 14 -	Estimativa de tempo de prateleira do óleo de açaí (queda de pressão).	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Propriedades críticas de espécies puras selecionadas	33
Tabela 2 -	Condições operacionais adotadas para a determinação dos rendimentos globais	47
Tabela 3 -	Modelos utilizados na predição da degradação dos teores de antocianinas da polpa de açaí liofilizada e sem gordura	53
Tabela 4 -	Tempos de meia-vida para as diferentes ordens de reação	53
Tabela 5 -	Composição centesimal da polpa de açaí liofilizada e sem gordura	56
Tabela 6 -	Composição de compostos bioativos da polpa de açaí liofilizada	57
Tabela 7 -	Valores de parâmetros físico-químicos de óleo de açaí	59
Tabela 8 -	Condições operacionais da polpa de açaí (<i>Euterpe oleracea</i>) por CO ₂ -SFE e caracterização das polpas sem gordura e dos óleos.	68
Tabela 9 -	Parâmetros cinéticos para a degradação dos teores de antocianinas da polpa liofilizada.	71
Tabela 10 -	Parâmetros cinéticos para a degradação dos teores de antocianinas da polpa sem gordura.	74
Tabela 11 -	Estimativa de tempo de prateleira	75

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABTS	2,20-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
CO ₂	Dióxido de Carbono
DMEM	Dulbecco's Modified Eagle's Medium
DMSO	Dimetil Sulfóxido
DPPH	2,2-Diphenyl-1-picryl-hidrazil
EFSC	Extração com fluidos supercríticos
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
IA	Índice de Acidez
IP	Índice de Peróxido
II	Índice de Iodo
KOH	Hidróxido de Potássio
KI	Iodeto de Potássio
LDL	Lipoproteína de baixa densidade
MRC-5	Células de fibroblasto pulmonar fetal humano normal
MTT	3-(4,5-dimetilazol-2-il)-2,5-defenitetrazolio
NaOH	Hidróxido de Sódio
P. A	Puro
PC	Pressão crítica
TC	Temperatura crítica
TPTZ	2,4,6-TRI(2-PIRIDIL)-S-TRIAZINA
Trolox	6-hidroxi-2,5,7,8- tetrametilchroman-2- ácido carboxílico
UV/VIS	Ultravioleta

UFPA

Universidade Federal do Pará

VERO

Células de rim de macaco verde africano

LETRAS GREGAS

α	Alfa
β	Beta
γ	Gama

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - MOTIVAÇÃO

O açaí (*Euterpe oleracea*) é um fruto típico da região amazônica e é encontrado espontaneamente nos estados do Pará, Amapá, Amazonas e Maranhão. O Brasil é o principal produtor, consumidor e exportador do açaí e tem o Estado do Pará como seu maior produtor, produzindo mais de 1,2 milhão de toneladas do fruto por ano. Esse fruto é comercializado e consumido pela população local nas regiões produtoras do Estado do Pará (OLIVEIRA et al., 2000; HOMMA & FRAZÃO, 2002; MENEZES et al., 2008; TAVARES & HOMMA, 2015).

Têm-se observado nos últimos anos um grande interesse e investimento em pesquisas com o açaí devido a fatores como a sua composição química que apresenta um elevado valor energético pois contém alto teor de lipídios (45,37%), carboidratos (30,1%), proteínas (8,93%) e fibras (10,05%). Seu perfil lipídico é rico em ácidos graxos mono e poli-insaturados, característica que o assemelha ao azeite de oliva e de abacate, qualificando-o como um óleo comestível especial e com qualidade nutricional, tornando-o uma alternativa competitiva de mercado com o azeite de oliva. A composição de ácidos graxos do óleo do açaí é de 73,9% de ácidos graxos insaturados, dentre estes predomina o ácido oléico (56,2%) também conhecido como ômega-9, seguido do ácido linoléico (11,5%) e linolênico (0,8%), os ácidos graxos saturados principais são palmítico (24,1%) e o esteárico (1,6%), totalizando cerca de 27,5% de ácidos graxos saturados (PACHECOPAENCIA, DUNCAN & TALCOTT, 2009; MARQUES et al., 2016; XIONG et al., 2020). A importância do consumo de ácidos graxos insaturados tem aumentado significativamente nos últimos anos, decorrente do número de publicações que mostram uma relação positiva entre o consumo destas gorduras e a saúde. Elas promovem por exemplo, uma redução dos níveis de colesterol total e da lipoproteína de baixa densidade (LDL) na circulação (HU et al., 1997; FERNANDEZ & WEST, 2005; OLLIVIER et al., 2006; MATTHAN et al., 2009; PAGKALOS et al., 2009).

O interesse no açaí também pode ser explicado pelo fato de ser excelente fonte de antioxidantes como as antocianinas, α -tocoferol, compostos fenólicos e carotenoides o que confere a ele diversas propriedades com vários benefícios potenciais a saúde. Altos

teores de antocianinas e outros flavonóides, classe de compostos fenólicos, estão associadas aos benefícios do açaí à saúde contra várias doenças relacionadas ao estresse oxidativo (CAVALCANTE et al., 2018), bem como as propriedades antioxidantes (GARZÓN et al., 2017), anti-inflamatórias (MOURA et al., 2012) e antitumoral (FILHO et al., 2023). Os compostos fenólicos do açaí estão associados à prevenção de diferentes doenças degenerativas e os principais compostos fenólicos encontrados são: antocianinas, 3,4 ácidos diidroxibenzóico, ácido p-diidroxibenzóico, ácido vanílico, ácido cafeico, ácido siríngico, ácido p-cumárico, isoorientina, orientina e ácido ferúlico (Da SILVEIRA & GODOY, 2019; ALIAÑO-GONZÁLEZ et al., 2020).

As antocianinas são um dos principais compostos bioativos do açaí e pertencem ao grupo de compostos fenólicos. Estudos mostram as inúmeras vantagens dessa substância para a saúde humana como por exemplo efeito anti-inflamatório, efeitos de neuroproteção, cardio-protetoras e antiproliferativas (XIE et al., 2012; WONG et al., 2013; COSTA et al., 2018; OLIVEIRA e SCHWARTZ, 2018) e as principais antocianinas encontradas no açaí são cianidina-3-rutinosídeo e cianidina-3-glucosídeo que apresentam alta capacidade antioxidante (ALEXANDRE; CUNHA e HUBINGER, 2004; SHAUSS et al., 2006; NASCIMENTO et al., 2008). Outra classe que se destaca são os carotenoides, cujos trabalhos recentes sugerem que ações benéficas desses compostos estão atribuídas aos mecanismos antioxidantes promotores da saúde. Os principais carotenoides identificados no açaí são: Luteína, zeaxantina, α - caroteno e β -caroteno, sendo que o β -caroteno corresponde a 47,16% do conteúdo total de carotenoides (TORMA et al., 2019; METIBEMU & OGUNGBE, 2022)

No entanto, estudos recentes notaram que estes compostos também incluem mecanismos pró-oxidantes, danificando células e tecidos. A alta ingestão de β -caroteno, por exemplo, é contraindicada para fumantes devido ao aumento do risco de câncer de pulmão e estômago, além de poder causar carotenemia. Além disso, a antocianina em concentrações elevadas pode apresentar citotoxicidade e está associada ao aumento das taxas de mortalidade de células de camarão de salmoura (KUSPRADINI et al., 2016; DRUESNE-PECOLLO et al., 2010; HAMMOND & RENZI, 2013; BLACK et al., 2020). Dessa forma, é essencial verificar a citotoxicidade, ou seja, a capacidade desses compostos em afetar a viabilidade celular, para possibilitar a aplicação nos diferentes ramos industriais. Nesse contexto, as linhagens celulares MRC-5, originária de tecidos pulmonares humanos de um homem de 14 semanas de idade fetal, e VERO, provenientes

do rim de macaco verde africano, são células sensíveis e amplamente exploradas em vários ramos de pesquisa, inclusive para analisar a citotoxicidade e citoproteção em extratos (VIJAYARATHNA & SASIDHARAN, 2012; HONG et al., 2014; HUSSEIN et al., 2020; JAYASINGHE et al., 2022; JOVANOVIĆ et al., 2022).

Para estudos de citotoxicidade é necessário a utilização de produtos com alto grau de pureza e livre de contaminantes químicos que possam influenciar nos efeitos citotóxicos e em virtude também do elevado interesse na obtenção de compostos bioativos benéficos a saúde, tem crescido o desenvolvimento de tecnologias de separação com potencial aplicação no processamento para obtenção de produtos naturais. Entre os diversos métodos de obtenção de produtos naturais, o processo de extração com fluido supercrítico vem se tornando uma tecnologia apropriada e de grande interesse, pois proporciona a obtenção de produtos com qualidade superior quando comparadas aos produtos obtidos por técnicas convencionais (BRUNNER, 2005).

Além disso, o uso de fluidos supercríticos também tem se diferenciado das demais extrações convencionais que usam solventes orgânicos por ser considerada uma tecnologia verde que proporciona a obtenção de extratos diferenciados, livres da contaminação de solventes orgânicos tóxicos, assim, eliminando a necessidade de uma etapa posterior de purificação dos extratos. As vantagens da tecnologia de extração com fluido supercrítico levam esta técnica a ser reconhecida como um procedimento promissor para aplicações em indústrias alimentícias, farmacêuticas e cosméticas devido à alta seletividade do processo, menores tempo de extração em relação as técnicas convencionais, e não utiliza solventes orgânicos tóxicos aos extratos (HERRERO et al., 2006).

O processo de extração supercrítica também é indicado para aumentar a estabilidade do açaí com a obtenção da polpa sem gordura, que reduz o teor de lipídeos. Devido a sua alta perecibilidade, o açaí apresenta uma vida de prateleira muito curta, mesmo sob refrigeração. Além disso, as antocianinas são pigmentos bastante instáveis ao processamento e armazenamento e a indústria alimentícia está constantemente em busca de novas fontes destes pigmentos, que sejam mais estáveis e apresentem um baixo custo (POZO-INSFRAN, BRENES & TALCOTT, 2004). Neste sentido, a produção de açaí em pó representa uma alternativa de melhorar a conservação do produto mantendo os componentes antioxidantes. Os produtos em pó apresentam baixa atividade de água, o que dificulta ou até impede o crescimento de microrganismos e as reações físico-químicas

responsáveis por sua deterioração, aumentando, assim, sua vida útil (PESSOA & TEIXEIRA, 2012), enfatizando a importância do estudo de vida de prateleira dos produtos obtidos.

O açaí é um produto muito importante para o desenvolvimento do estado do Pará, para a bioeconomia e o mercado tem previsão de uma taxa de crescimento de (12% para os próximos anos). E atualmente a maioria da produção do estado é apenas da polpa do fruto, logo a importância de novos produtos com valor agregado e a necessidade de investir em novos processos sustentáveis para o desenvolvimento da região e da verticalização.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo Geral

Obter o óleo e a polpa sem gordura do açaí rico em compostos bioativos utilizando extração com fluido supercrítico: avaliar a caracterização físico-química, citotoxicidade e vida de prateleira.

1.2.2 - Objetivos Específicos

- Caracterização físico-química e preparação da matéria-prima;
- Determinar os rendimentos globais da extração supercrítica com CO₂;
- Determinar os carotenoides totais do óleo do açaí;
- Determinar a atividade antioxidante do óleo de açaí pelos métodos ABTS, DPPH e

FRAP

- Determinar a concentração de compostos fenólicos totais, teor de antocianinas totais e atividade antioxidante pelos métodos ABTS, DPPH e FRAP da polpa antes e após a extração;

- Avaliar a atividade citotóxica dos produtos obtidos;

- Realizar a vida de prateleira da polpa liofilizada e da polpa sem gordura armazenados em diferentes ambientes e do óleo.

1.3 - CONTRIBUIÇÃO DA TESE

A obtenção do óleo e da polpa sem gordura do açaí (*Euterpe oleracea*) por extração com CO₂ supercrítico surge como uma proposta para o avanço da comercialização e da viabilidade de produção de diversos produtos oriundos do açaí, utilizando tecnologias verdes e sustentáveis, sendo 100% naturais. O óleo e o polpa sem gordura poderá ser destinado para o uso gastronômico, cosmético e farmacêutico. A alta concentração de ácidos graxos poliinsaturados presentes no óleo de açaí confere qualidade nutricional e torna este óleo uma alternativa competitiva de mercado com o azeite de oliva que também possui elevadas concentrações de ácidos graxos poliinsaturados como o ácido oleico, também conhecido como ômega-9 e a polpa sem gordura como um produto altamente concentrado em antocianinas e outros metabólitos secundários com alta atividade antioxidante, podendo então ser utilizado tanto na ingestão quanto em uso tópico. O uso da tecnologia supercrítica na verticalização dos biomas da Amazônia, em especial do açaí, possibilitará a geração de novos produtos no mercado com maior valor agregado, preservação do meio ambiente e estimulará as políticas locais a fornecerem incentivos fiscais para indústrias que queiram se instalar na região. Desse modo, este estudo estimulará a bioeconomia local. Com isso a importância desse estudo e das análises de citotoxicidade e vida de prateleira desses produtos para sua comercialização os quais não têm trabalhos relatados na literatura.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)

2.1.1 - Aspectos Gerais

O gênero *Euterpe* pertence à família Arecaceae (Palmae), constituído por aproximadamente 28 espécies de ocorrência nas Antilhas e nas Américas Central e do Sul. No Brasil, é representado por oito espécies, dentre as quais três ocorrem com mais frequência, sendo duas com forte ocorrência na Amazônia, *Euterpe oleracea* Mart. e *Euterpe precatoria* Mart. e a outra denominada *Euterpe edulis* Mart., de ocorrência natural na Mata Atlântica. Essas três espécies apresentam múltiplos usos e forte importância socioeconômica e cultural como plantas alimentícias (HENDERSON & GALEANO, 1996, LORENZI et al., 2004, VALOIS, 2017).

A *Euterpe oleracea* Mart., conhecida como açaizeiro **Figura 1**, tem o Estado do Pará como seu maior produtor, mas apresenta frequência elevada nos Estados do Maranhão, Amapá, Acre, Rondônia e também pode ser encontrada em países próximos da região amazônica como Guiana, Guiana Francesa, Suriname e Venezuela. (OLIVEIRA et al., 2000; MENEZES; TORRES; SRUR, 2008). As palmeiras atingem mais de 25 metros de comprimento, com troncos de 9 a 16 centímetros de diâmetro. Os frutos que são caroços de forma arredondada (diâmetro de cerca de 12 mm) e as flores ocorrem durante todo o ano, mas a maior abundância dos frutos na estação de seca ocorre entre julho e dezembro, chamado de açaí do verão pois possui uma melhor qualidade em relação a polpa, coloração e maturação uniforme, do que o açaí do inverno, o que influencia na valorização do produto (NOGUEIRA et al., 1998; SHANLEY, 2005).



Figura 1. Açazeiro (*Euterpe oleracea*)

Fonte: O autor

As variedades mais comercializadas são o açaí roxo e açaí branco, que se diferenciam principalmente pela coloração dos frutos quando maduros, disposição das ráquias, diâmetro dos estipes, número de estipes por touceira, pelo tamanho e peso dos cachos e dos frutos, pela ramificação do cacho ou pela coloração e consistência da bebida (OLIVEIRA et al., 2002).

O fruto, na forma de polpa congelada, já vem sendo exportado para países como Estados Unidos, Japão, China e alguns países Europeus, sendo consumido nestes, preferencialmente como bebida energética. Sendo de grande relevância socioeconômica para a região Amazônica, devido ao seu enorme potencial de aproveitamento integral do fruto. A principal e mais rentável forma de utilização é a produção e comercialização da polpa de açaí, normalmente obtida por extração mecânica ou manual, e muito utilizada na alimentação popular e na produção industrial ou artesanal de sucos, sorvetes, picolés e na fabricação de geleias, licores, etc (CONAB, 2019; BOEIRA et al., 2020).

Além disso o açaí é considerado um super alimento, pois sozinho contém propriedades de uma dieta saudável, com sua combinação lipídica benéfica à saúde (50% em base seca), teores relevantes de proteínas, fibras alimentares e compostos antioxidantes, além de apresentar baixo teor de açúcares e ter rico conteúdo de antocianinas, pertencentes à família dos flavonóides que conferem ao fruto uma cor avermelhada. As antocianinas são conhecidas por suas propriedades farmacológicas e medicinais, tais como: antimicrobiana, antiinflamatória, anticarcinogênica, prevenindo a oxidação de proteínas de baixa densidade (LDL), doenças neurológicas e enfermidades cardiovasculares. O processamento do açaí gera a semente como subproduto, e estudos recentes indicam que a mesma possui teores consideráveis de óleo, podendo ser usado como fonte de energia alternativa e produção de medicamentos (ROGEZ, 2000; KUSKOSKI et al., 2002; ALASALVAR et al., 2005; PEREIRA, 2008).

2.1.2 - Composição química

A composição química do açaí apresenta um elevado valor energético por conter alto teor de lipídios, e um perfil lipídico rico em ácidos graxos mono e poli-insaturados, característica que o assemelha ao azeite de oliva e de abacate, qualificando-o como um óleo comestível especial e com qualidade nutricional, tornando-o uma alternativa competitiva de mercado com o azeite de oliva. A composição de ácidos graxos do óleo do açaí é de 73,9% de ácidos graxos insaturados, dentre estes predomina o ácido oléico (56,2%), seguido do ácido linoléico (11,5%) e linolênico (0,8%), os ácidos graxos saturados principais são palmítico (24,1%) e o esteárico (1,6%), totalizando cerca de 27,5% de ácidos graxos saturados (PACHECOPALENCIA, DUNCAN & TALCOTT, 2009; MARQUES et al., 2016; XIONG et al., 2020). A importância do consumo de ácidos graxos insaturados tem aumentado significativamente nos últimos anos, decorrente do número de publicações que mostram uma relação positiva entre o consumo destas gorduras e a saúde. Elas promovem por exemplo, uma redução dos níveis de colesterol total e da lipoproteína de baixa densidade (LDL) na circulação (HU et al., 1997; FERNANDEZ & WEST, 2005; MATTHAN et al., 2009; PAGKALOS et al., 2009).

O açaí contém quantidades importantes de fitosteróis e fibras alimentares. Dentre os fitosteróis presentes na sua composição química, destacam-se o β -sitosterol, o campesterol e o estigmasterol utilizados pela indústria cosmética para prevenir o envelhecimento precoce, por promover o metabolismo celular e reduzir a inflamação e as fibras dietéticas vêm sendo reconhecidas como importantes componentes de dietas

alimentares dos seres humanos, tanto as regulares como as dietas terapêuticas e exercem diferentes respostas fisiológicas que vão além de auxiliar na função gastrointestinal, entre elas estão a diminuição dos níveis do colesterol plasmático e contribuição no controle glicêmico (FIGUEROLA et al., 2005; NAWIRSKA et al., 2005; SCHAUSS et al., 2006; MORAIS & GUTJAHR, 2012).

O açaí também é fonte de proteínas e de minerais como, potássio, magnésio, cálcio, fósforo e sódio, além de possuir uma grande quantidade de vitaminas (principalmente a E). O α -tocoferol (vitamina E) é encontrado em abundância no açaí com 45mg/100g de matéria seca (PAULA, 2007). A vitamina E é um dos antioxidantes mais importantes da classe dos não enzimáticos e atua de várias formas na prevenção de doenças, pois impede a peroxidação lipídica. A mesma impede que células cancerígenas continuem se desenvolvendo, neutralizando-as na fase G1 do ciclo celular onde há maior desenvolvimento celular, levando a apoptose (ROHENKOHL et al., 2011). Neste contexto, é correto afirmar que a composição química do açaí o indica com alto potencial como alimento funcional.

2.1.3 - Compostos bioativos

Os compostos bioativos são fitoquímicos presentes em alimentos que são capazes de modular processos metabólicos, contribuindo nos benefícios à saúde humana. Em geral, esses compostos são encontrados principalmente em alimentos vegetais, como frutas, legumes e verduras (CARBONELL-CAPELLA et al., 2014). Estudos epidemiológicos têm mostrado que grupos populacionais que consomem grandes quantidades de frutas e vegetais possuem menor risco de desenvolver alguns tipos de câncer, além de outros efeitos benéficos associados a esses compostos como ação antioxidante, amenizando os danos cumulativos que podem desencadear doenças como cardiovasculares entre outras (POLI et al., 2008; SZMITKO & VERMA, 2005; SANTOS et al., 2008; BASTOS et al., 2009; SHAHIDI & AMBIGAIPALAN, 2015; SHINWARI & RAO, 2018).

Os frutos das espécies *Euterpe oleracea* é caracterizado pela presença de substâncias bioativas. Cerca de 90 substâncias foram descritas, das quais cerca de 31% são compostos de flavonóides, em seguida os compostos fenólicos (23%), lignóides (11%) e as antocianinas (9%). Outras classes incluem ácidos graxos, quinonas, terpenos,

norisoprenóides e outros compostos, como esteróis e carotenoides (BICHARA & ROGEZ, 2011; YAMAGUCHI et al., 2015).

2.1.3.1 - Compostos fenólicos

Para este estudo é interessante destacar os grupos dos compostos fenólicos, que são metabólitos secundários dos frutos, sintetizados a partir de carboidratos, e em geral, produzidos como mecanismos de defesa contra patógenos e doenças, a exemplo da proteção a exposição excessiva de radiação ultravioleta, além de atrair polinizadores. São caracterizados por possuírem um anel aromático com um ou mais grupamentos hidroxila, e classificam-se como flavonoides, ácidos fenólicos, taninos, cumarinas e estilbenos diferenciando-se de acordo com o número de anéis aromáticos e os elementos estruturais que ligam a esses anéis (COSTA et al., 2013; OGAH et al., 2014).

Esses compostos são fitoquímicos biologicamente ativos que se encontram nos frutos em quantidades variadas e proporcionam inúmeros efeitos benéficos ao organismo humano e já tendo sido associadas em estudos *in vitro* e *in vivo* à atividade antioxidante, inibição da oxidação de lipossomas e inflamação de células do cérebro, potencial antiproliferativo, efeitos anti-inflamatórios, antimutagênicos, imunomoduladores e também à prevenção de diferentes doenças degenerativas (WESTON et al., 2010; FRAGOSO et al., 2013; TADAPANENI et al., 2014; PANDEY et al., 2016; POULOSE et al., 2014; CARVALHO et al., 2017; ALIAÑO-GONZÁLEZ et al., 2020).

Sobre esses compostos obtidos na polpa do açaí DA SILVEIRA E GODOY (2019), identificaram como compostos fenólicos principais: antocianinas, 3,4 ácidos diidroxibenzóico, ácido p-diidroxibenzóico, ácido vinílico, ácido cafeico, ácido siríngico, ácido p-cumárico, isoorientina, orientina e ácido ferúlico. Em outro perfil fenólico desta fruta foram descritos ácidos fenólicos: tais como ácido ferúlico, gálico, protocatecuíco, elágico, vanílico, p-cumárico, siríngico, ácido clorogênico, ácido 3,4-di-hidroxibenzóico, ácido 4-hidroxibenzóico, ácido vanílico, ácido cafeico, ácido siríngico, ácido p-cumárico, antocianinas como cianidina-3-glucosídeo, cianidina-3-rutinosídeo, isoorientina e o estilbeno resveratrol (ROJANO et al., 2011; CARVALHO et al., 2017).

Um dos compostos que pertencem ao grupo dos fenólicos são os flavonoides como por exemplo as antocianidinas. No açaí, a classe das antocianinas é a de maior interesse devido a sua maior prevalência (POZOINSFRAN, BRENES & TALCOTT, 2004).

2.1.3.2 - Antocianinas

As antocianinas são pigmentos pertencentes ao grupo dos flavonóides, que é o grupo mais importante de compostos hidrossolúveis, e responsáveis pela coloração vermelha, azul, violeta e rosa de frutas, hortaliças e flores. Sua biossíntese e acúmulo dependem de alguns fatores como luz, temperatura, condição nutricional, hormônios, danos mecânicos e ataque de patógenos (MAZZA & BROUILLARD, 1990). Apresentam uma importante alternativa para a substituição gradativa de corantes sintéticos, constituem uma fração não energética da dieta do ser humano e estão relacionados como potentes antioxidantes e importantes atividades biológicas (GISTUI et al., 2001; (KAHKONEN & HEINONEN, 2003; RAHMAN et al., 2006). Apesar de seu valor como corantes naturais de alimentos, as antocianinas são pouco estáveis. Vários fatores do processamento, dos tratamentos para a conservação e do armazenamento de alimentos podem levar à degradação das antocianinas. Os principais fatores que influenciam a estabilidade das antocianinas são: a própria estrutura química, o pH, a temperatura, a luz, a presença de oxigênio, a degradação enzimática e as interações entre os componentes dos alimentos, tais como ácido ascórbico, íons metálicos, açúcares e copigmentos (PACHECOPALENCIA & TALCOTTI, 2010).

A estrutura principal da molécula de antocianina consiste em um 2-fenilbenzopirílio (flavílio) esqueleto heterocíclico C-15 contendo -OH ou grupos -OCH₃ e fatores genéticos definem as substituições nos carbonos 3 e 5 do anel B as quais definem as agliconas ou antocianidinas, como mostra a **Figura 2**. As antocianinas se apresentam no vegetal predominantemente na forma de mono ou di-glicosídeos, e muito pouco na forma de agliconas, com as glicosilações ocorrendo mais frequentemente nos carbonos 3 e 5 podendo, porém, também ocorrer, ainda que raramente, como triglicosídeos nas posições 7, 3, 4 e/ou 5. Podem conter também um ou mais resíduos de açúcar ou açúcar acilado e os mais encontrados são mono e dissacarídeos como glicose, ramnose, galactose, xilose e arabinose. As antocianinas podem ainda sofrer acilações nas moléculas do açúcar, em muitos casos por ácidos tais como p-cumárico, cafeico, ferrúlico ou sinápico, e com menor frequência pelos ácidos p-hidroxibenzóico, malônico ou acético (SHAHIDI & NACZK, 1995, FRANCIS, 1982, FRANCIS, 1993; OANCEA, 2021).

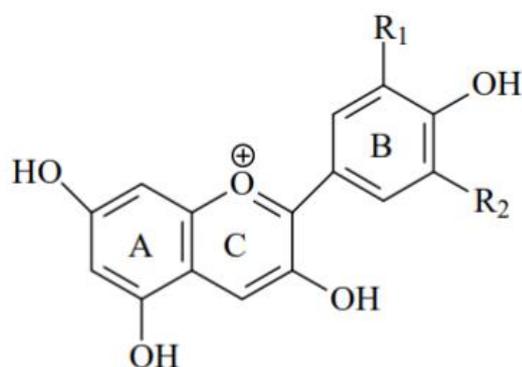


Figura 2. Estrutura química das antocianinas (Cruz, 2008).

De acordo com o número e a posição dos grupos hidroxilas e o grau de metilação destes grupos, pode-se encontrar diferentes tipos de antocianinas na natureza. Aproximadamente 22 agliconas são conhecidas, das quais 18 ocorrem naturalmente e apenas seis (pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina e malvidina) são importantes em alimentos. As principais antocianinas encontradas no açaí foram cianidina-3-rutinosídeo e cianidina-3-glicosídeo (FRANCIS, 1993; GALVANO et al., 2004; PAULA, 2007).

As antocianinas foram utilizadas pela primeira vez na indústria de alimentos como corantes naturais. Nos últimos anos, as pesquisas começaram a se concentrar em possíveis aplicações na saúde humana como suplementos nutricionais, funcionais, formulações de alimentos, medicamentos e cosméticos (GRIGORAS et al., 2012). As mesmas são antioxidantes e anti-radical livre, retardam o envelhecimento, prolongam a vida das células, aumentam as defesas do sistema imunológico, propiciam uma melhor circulação sanguínea, protegem o organismo contra o acúmulo de lipídeos nas artérias, possuem também a capacidade de adiar as perdas de visão e diminuem os efeitos da doença de Alzheimer (ROGEZ, 2000). Além disso apresentam outras propriedades benéficas à saúde como anticarcinogênica, cardiológicas, antiinflamatórias e atuam contra diabetes tipo 2 e obesidade (KATSUBE et al., 2003; KRUGER et al., 2014; HUANG et al., 2014; GUO & LING, 2015).

2.1.3.3 - Carotenoides

Outro composto bioativo de interesse são os carotenoides que são pigmentos naturais, nutricionalmente benéficos e são sintetizados principalmente por plantas, bactérias e fungos. Os humanos e os animais não podem sintetizar carotenoides e devem obtê-los a partir de fontes alimentares (BERMAN et al., 2014). Os carotenoides são compostos bioativos lipossolúveis presentes em alimentos com coloração que variam do amarelo ao vermelho e sua estrutura química é composta de isoprenóides e tetraterpenos de quarenta carbonos formados basicamente por oito unidades de isoprenos. Devido a essas características estruturais, os carotenoides são moléculas altamente reativas e absorvem radiação eletromagnética na região do visível (360-780 nm) (MERCADANTE, 2007).

Mais de 600 compostos já foram identificados, sendo α -caroteno, β -caroteno, licopeno, zeaxantina, luteína e criptoxantina os pigmentos dessa classe mais encontrados em vegetais (VOUTILAINEN et al., 2006; RAO; RAO, 2007). Torma et al. (2019) identificaram: Luteína, zeaxantina, α - caroteno e β -caroteno como principais carotenoides no açaí, sendo que o β -caroteno correspondeu a 47,16% do conteúdo total de carotenoides. No estudo sobre a bioatividade da polpa de açaí os carotenoides foram analisados e quantificados por cromatografia, sendo que na polpa de açaí da espécie *E. oleracea* somente o carotenoide β -caroteno foi detectado e sua concentração em base seca foi de 10,8 $\mu\text{g/g}$ de polpa (KANG et al., 2012).

Trabalhos recentes sugerem que ações benéficas dos carotenoides estão atribuídas aos mecanismos antioxidantes promotores da saúde e esses compostos tem demonstrado forte associação e, em alguns casos, eficácia na proteção orgânica contra a carcinogênese (GOMES, 2007; METIBEMU, 2022). O β -caroteno é o mais estudado entre os carotenoides pois é o que possui a maior atividade provitamina A e é usado como antioxidante para reduzir danos celulares ou de tecidos, sendo relatado como antioxidante com ação protetora contra doenças cardiovasculares (GALE et al., 2001; OSGANIAN et al., 2003; KRINSKY & JOHNSON, 2005; AMBRÓSIO et al., 2006; TRÊS et al., 2007; CHOUDHARI & ANANTHANARAYAN; SINGHAL, 2008; RODRIGUEZ-AMAYA, 2011).

O β -caroteno vem sendo indicado com ampla gama de aplicações cosméticas, já que estudos sugerem que o uso tópico de β -caroteno em camundongos e porquinhos-da-

índia revelou propriedades protetoras contra a radiação UVA. Na indústria farmacológica, o β -caroteno também já vem sendo utilizado em suplementos vitamínicos e minerais orais para pré-natal / pós-parto, que influenciam na redução da fotossensibilidade em pacientes com protoporfiria eritropoiética e outras doenças de fotossensibilidade (ARCT & MIELOCH, 2016).

2.1.4- Atividade antioxidante

Antioxidantes são consideradas moléculas eficientes para retardar ou inibir a oxidação lipídica. A ação antioxidante é capaz de estabelecer a capacidade de um composto bioativo em conservar a estrutura e a função celular, onde os radicais livres presentes no meio são impedidos de realizar a peroxidação lipídica, prevenindo processos oxidativos (BRAVO, 1998). Os radicais livres quando atuam em sistemas biológicos influenciam as lipoproteínas, lipídeos e carboidratos, acarretando o desenvolvimento de estresse oxidativo, provocando danos celulares e podendo desenvolver doenças degenerativas. Quando atuam em alimentos, os radicais livres influenciam na ação dos lipídeos e proteínas através de reações de auto-oxidação, diminuindo a qualidade nutricional e a segurança alimentar (BOROSKI et al., 2015).

Os antioxidantes podem atuar como defensores seja uma ação de defesa não enzimática ou defesa enzimática. A defesa não enzimática está diretamente relacionada com a presença de antioxidantes presentes em frutas e vegetais, sendo eles o α -tocoferol (vitamina E), β -caroteno, ácido úrico, ácido ascórbico e outros compostos fenólicos. Muitos autores têm demonstrado a correlação entre a concentração destes compostos e a capacidade antioxidante e o açaí, por sua composição nutricional e fitoquímica, apresenta importância dietética e possível efeito na terapia antioxidante. Estudos vêm sendo publicados avaliando o potencial do açaí sobre a saúde, mostrando que este fruto pode atuar a nível de sinalização celular, contribuindo na prevenção e atenuação de muitas doenças crônicas (MANACH et al., 2004; ALVES et al., 2007; ZULETA et al., 2007; ZIECH et al., 2010).

Ensaio *in vitro* mostram que o açaí apresenta ação antioxidante. Del Pozo-Insfran, Brenes e Talcott (2004) estudaram a capacidade antioxidante total da polpa de açaí e o valor obtido foi de 48,6 $\mu\text{mol eq Trolox/mL}$, o que foi superior aos valores encontrados para outros frutos ricos em antocianinas como morango (18,3-22,9), framboesa (19,2-22,6), amoras pretas (13,7-25,10) e suco de uva (18,2-26,7). Outros

estudos in vitro avaliaram a capacidade antioxidante da polpa de açaí por diferentes metodologias (ROJANO et al., 2011; GIRONÉS-VILAPLANA et al., 2014). Kuskoski, Asuero & Troncoso (2005), aplicaram diferentes métodos espectrofotométricos para determinar a atividade antioxidante de polpas de frutas de maior consumo no mercado brasileiro (amora, uva, açaí, goiaba, morango, acerola, abacaxi, manga, graviola, cupuaçu e maracujá), comercializadas congeladas. O açaí (*Euterpe. oleracea*), tanto pelo método DPPH quanto pelo método ABTS, apresentou capacidade antioxidante.

Com base nestas informações, nota-se a grande potencialidade nutricional e comercial do açaí, o que o torna uma das cinco frutas com maior potencial antioxidante, apresentando diversas propriedades anti-inflamatória e farmacológica associadas ao combate de doenças desencadeadas por espécies reativas de oxigênio como neurodegenerativas, câncer e cardiovasculares refletindo na importância do estímulo ao seu consumo e valorização (KANG et al., 2010; POZO-INSFRAN et al., 2006; PACHECO-PALENCIA et al., 2008; Cruz, 2008).

Em virtude do elevado interesse na obtenção desses compostos químicos benéficos, a comunidade científica vem desenvolvendo tecnologias de extração por fracionamento e isolamento de compostos de alto valor agregado a partir de matrizes alimentares garantindo um máximo rendimento dos concentrados bioativos, adequando as demandas do processamento industrial e garantindo um produto final alimentício (ALVAREZ et al., 2019).

2.2 - Métodos de extração

Os processos de extração são classificados como operações unitárias que visam à separação de determinados compostos, a partir de processos químicos, físicos ou mecânicos (RIBEIRO ET AL., 2012). É o primeiro passo para a obtenção de produtos naturais bioativos a partir de matérias-primas vegetais que podem ser extraídos por várias tecnologias de extração e solventes, dependendo de sua distribuição na matriz vegetal e propriedades químicas (BONFIGLI et al., 2017).

O método de extração deve visar o aproveitamento máximo do conteúdo lipídico da oleaginosa, buscando as melhores condições de processamento, promovendo desta forma um maior rendimento, redução de custos e aumento de produtividade. Os processos

de extração de óleos e gorduras mais utilizados são a prensagem direta (ou extração mecânica), extração com solvente e extração com solvente associada à prensagem, além da extração por fluido supercrítico (MILHOMEN-PAIXÃO et al., 2017; SANTOS, 2014).

A extração mecânica consiste na separação de líquidos de sólidos pela aplicação de forças de compressão, e geralmente são usadas nas indústrias de alimentos e bebidas. Normalmente são necessários pré-tratamentos de despulpamento, redução de tamanho e aquecimento antes da separação do líquido para aumentar o rendimento. Por não utilizar solvente ou algum tipo de gás neste método, obtém-se um produto com suas propriedades naturais preservadas, além disso, não utiliza energia elétrica e não gera aquecimento nem no óleo e nem na torta, sendo necessário apenas uma prensa e um cilindro extrator. No entanto, normalmente é realizada em combinação com a extração por solvente, pela sua menor eficiência na retirada de óleo, a menos que seja aplicada alta pressão, o que reduziria o conteúdo de óleo residual na torta a até 5%, dispensando o subsequente uso do solvente (BRENNAN et al., 1990; MORETTO & FETT, 1998).

Já a extração por solvente é uma operação de transferência de massa amplamente utilizada na indústria de alimentos para retirar o óleo de matérias-primas vegetais. Após terem seu tamanho reduzido, estas matérias-primas são colocadas em contato com o solvente, de maneira que ocorra a transferência do óleo da fase sólida para a fase líquida. Este método apresenta algumas desvantagens com relação a separação do solvente do lipídeo, como as altas temperaturas de processo, a grande quantidade de solvente necessário para conseguir altos rendimentos, a necessidade da etapa de remover o solvente remanescente no produto, a toxidez do solvente e esses fatores podem afetar a qualidade organoléptica do alimento (PERRY & CHILTON, 1986; LAMEIRA; COELHO & MOTHÉ, 1997, SAHENA et al., 2009).

2.2.1 - Extração com fluido supercrítico

Fatores ambientais e as exigências das indústrias, como por exemplo farmacêutica e de alimentos para produtos ultrapuros, aumentaram a necessidade de se desenvolverem novas técnicas de processamento. Surgiu então, na década de 1970 a alternativa da utilização de fluidos supercríticos como solventes para extração de produtos específicos de matérias primas vegetais e minerais (VARGAS, 2005). A extração com fluido supercrítico é uma operação unitária onde ocorre solubilização de determinados

compostos de uma matriz sólida ou líquida em um solvente em condições supercríticas (BRUNNER, 1994).

A extração supercrítica pode ser considerada um dos novos métodos de extração potencialmente útil na obtenção de compostos de alto valor agregado, por fornecer extratos livres de solventes e sem o risco de degradação térmica (AGHEL et al., 2004). Tem-se destacado devido as seguintes características: a utilização de uma tecnologia limpa, que não deixa resíduos, a aplicação de solventes não tóxicos, a não alteração das propriedades das matérias-primas, não é necessário aplicar um tratamento posterior à extração para eliminação de solvente, já que esse é eliminado por meio da despressurização do sistema e a extração de produtos tem maior seletividade e pureza (MAUL, 1999; VARGAS, 2005; ALMEIDA, 2006; MICHIELIN et al, 2009).

2.2.2 - Fluidos supercríticos

Os fluidos supercríticos são substâncias a pressões e temperaturas acima de seus valores críticos, P_c e T_c , podendo ser removidos facilmente do soluto através da expansão à pressão ambiente (BRUNNER, 2005). A pressão crítica é definida como a pressão máxima na qual um líquido pode ser convertido em gás pelo aumento da temperatura. Analogamente, a temperatura crítica é considerada a temperatura máxima na qual um gás pode ser convertido em líquido pelo aumento da pressão. A região crítica tem sua origem no ponto crítico e, acima de T_c e P_c , a substância é considerada fluido supercrítico, quando variações de pressão e de temperatura não modificam fortemente as propriedades do fluido (RIZVI et al., 1986). A **Figura 3** apresenta o diagrama de fases de um componente puro.

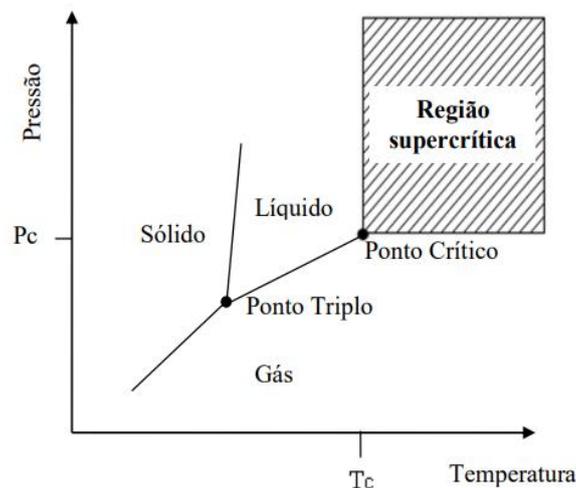


Figura 3. Diagrama de fases de um componente puro. Adaptado de Brunner (2005).

As propriedades físicas de um fluido supercrítico são intermediárias entre um gás e um líquido típicos, apresentam viscosidade baixa como a de um gás, alta densidade como os líquidos e difusão intermediária entre gases e líquidos, variando com a sua densidade (SÁNCHEZ-CAMARGO et al., 2014). Estas propriedades tornam os fluidos supercríticos interessantes para processos de extração já que a alta densidade proporciona a eles um poder de solvatação semelhante ao apresentado pelos líquidos, enquanto a alta difusividade e a baixa viscosidade permitem alto poder de penetração em diferentes matrizes, o que favorece a transferência de massa no processo de extração (RIZVI et al., 1986).

2.2.3 - Tipos de fluidos

Diversos compostos já foram estudados como solventes em processos de extração supercrítica de produtos naturais, devido a dependência da solubilidade de certos solutos utilizando parâmetros como a pressão, temperatura e densidade melhorando a seletividade do composto de interesse na extração. Porém a maioria desses solventes é de difícil manipulação e/ou difícil de ser obtida com alta pureza (MAUL et al., 1996; ROZZI & SINGH, 2002). A **Tabela 1** apresenta as propriedades críticas de alguns compostos já analisados como solventes supercríticos.

Tabela 1. Propriedades críticas de espécies puras selecionadas (Velasco et al., 2007).

Fluido	T_c (K)	P_c (MPa)	ρ_c (Kg/m³)
Acetona	508,2	47,0	278,0
Água	647,4	22,1	322,6
CO ₂	304,2	7,4	467,6
Etanol	513,6	6,1	276,0
Metanol	512,6	8,1	272,0
Etileno	282,5	5,0	195,8

T_c- temperatura crítica; P_c- pressão crítica; ρ_c-densidade do ponto crítico

Entre os solventes empregados no processo de extração com fluidos supercríticos (EFSC), o dióxido de carbono (CO₂) é o mais comumente utilizado. Muitas características lhe conferem grandes vantagens como solvente no processo de extração, entre elas: a sua baixa temperatura crítica, permitindo que extrações sejam realizadas a uma temperatura que não prejudique as propriedades organolépticas e químicas do extrato; sua pressão crítica de fácil obtenção para o CO₂ em um processo de produção industrial; o CO₂ é inerte, não oferece riscos de reações secundárias, como oxidações, reduções, hidrólises e degradações químicas; é seguro, não explosivo, não poluente e não tóxico; possui polaridade máxima a do hexano, solvente apolar usualmente utilizado nas extrações tradicionais (REVERCHON et al., 2006; MAUL, 1999).

A polaridade do CO₂ como fluido extrator limita a extração a obtenção de compostos orgânicos apolares e de baixo peso molecular, compostos lipofílicos, como hidrocarbonetos, éteres, ésteres, cetonas e aldeídos, estes são facilmente extraídos com CO₂. Portanto, compostos altamente polares e de maior peso molecular, como açúcares, taninos, proteínas, fosfatídios, glicosídeos e sais orgânicos, são dificilmente solúveis neste solvente (BRUNNER, 2005; MAUL, 1999). Uma forma de melhorar o desempenho do CO₂ frente a estas substâncias seria adicionar solventes orgânicos polares que possam atuar como co-solvente no processo de extração e que sejam classificados de forma a conservar a vantagem ambiental do processo, como a água, o etanol e o isopropanol (LEAL et al., 2003).

2.2.4 - Parâmetros que influenciam no processo de extração supercrítica

A seletividade do processo de extração supercrítica, ou seja, a extração dos compostos de interesse presentes no material vegetal, com um rendimento adequado, sem a extração de compostos indesejáveis, depende de diversos fatores. Além do tipo de solvente utilizado no processo e da presença de co-solventes, pode-se destacar:

- a) **Densidade:** É uma propriedade responsável pela capacidade solvente dos fluidos supercríticos, sendo alterada por mudanças na pressão e temperatura do sistema, especialmente na região próxima ao ponto crítico (ROSA et al., 2009). Uma das principais vantagens do uso de extração com fluido supercrítico é a possibilidade de ajustar a solubilidade, que é altamente dependente da pressão, temperatura e da densidade do fluido. Ao se percorrer uma isoterma com o aumento de pressão, a densidade do solvente aumenta enquanto a pressão de vapor diminui. Por outro lado, se a temperatura aumenta isobaricamente ocorre diminuição da densidade do solvente e aumento da pressão de vapor do soluto (MCHUNG & KRUKONIS, 1986; IBÁÑEZ et al., 2016).
- b) **Temperatura e Pressão:** A escolha da temperatura deve ser fixada entre 35 a 60°C quando se deseja extrair compostos termosensíveis para evitar possíveis degradações. Outro parâmetro relevante é a pressão que pode ser utilizada para ajustar a seletividade do processo (REVERCHON & MARCO, 2006). A variação de temperatura e pressão tem efeito na densidade do CO₂ e conseqüentemente na capacidade de solubilização do soluto. Um aumento na pressão, a temperatura constante, causa um aumento na densidade do fluido supercrítico, elevando assim o seu poder solvente. Já um aumento da temperatura, à pressão constante, ocasiona uma diminuição na densidade do fluido supercrítico e, portanto, no seu poder de solvatação. Esse efeito, no entanto, não é linear (ROSA et al., 2009; PEREIRA & MEIRELES, 2010).
- c) **Vazão do solvente:** Geralmente, um aumento na vazão do solvente supercrítico causa um aumento na capacidade de extração. Entretanto, em alguns casos foi observado que, para valores maiores de vazão do solvente, o tempo de contato entre o soluto e o solvente, necessário para que houvesse a saturação do solvente com o soluto, acabou sendo insuficiente (PEREIRA & MEIRELES, 2010).
- d) **Tamanho de partícula do material vegetal:** O tamanho da partícula é um parâmetro que influencia nos processos de EFSC. Em geral, a taxa de extração aumenta com a diminuição do tamanho de partícula da matriz sólida, uma vez que ocorre um

aumento da área disponível de transferência de massa (CASSEL et al., 2008; PEREIRA & MEIRELES, 2010). No entanto, as partículas muito pequenas podem afetar no aumento da transferência de massa interna entre o fluido e o soluto dentro do leito de extração ocasionando uma diminuição na taxa de extração (IBÁÑEZ et al., 2016; JAHONGIR et al., 2019).

- e) Umidade do material sólido: Na maioria dos casos, a água presente na matriz vegetal compete com o soluto para interagir com o solvente, diminuindo assim o rendimento do processo. Por esta razão, a secagem do material vegetal é recomendada. Em alguns casos, a presença de água é necessária para permitir a interação do solvente com o soluto, quando a intenção é extrair compostos de maior polaridade (POORMORTAZAVI & HAJIMIRSADEGHI, 2007; PEREIRA & MEIRELES, 2010).

2.2.5 - Processo de extração supercrítica

Um processo típico de extração supercrítica consiste basicamente de duas etapas: extração dos componentes solúveis da matriz sólida para o solvente supercrítico e separação do extrato do solvente. Na etapa de extração, é utilizado um extrator de leito fixo, onde o leito é formado pelo próprio material vegetal. Durante o processo extrativo, o solvente é alimentado no extrator inicialmente puro e distribuído uniformemente no interior do leito fixo de partículas sólidas, solubilizando os componentes presentes no material vegetal. Conforme o solvente escoar através do material vegetal, ocorre a transferência de massa do soluto da fase sólida para a fase líquida, e em qualquer ponto dentro do extrator a concentração de óleo na fase sólida e fluída varia continuamente até que o equilíbrio seja alcançado. A mistura soluto/solvente deixa o extrator e passa pelo separador (BRUNNER, 1994). Na etapa de separação a solubilidade é reduzida para assegurar a precipitação do extrato, desse modo, a queda da pressão torna o soluto insolúvel com possibilidade de separação do soluto no solvente supercrítico (HUNG & UNGER, 1994; FRANÇA, 1999).

A otimização de processos de extração deve buscar a determinação do maior rendimento com a maior taxa de extração, com mínimo consumo de energia e mínimo solvente residual, produzindo um extrato de alta qualidade química e sensorial (BADALYAN et al., 1998). Para atender estes fatores, o estudo de processos de extração com fluidos supercríticos (SFE) deve envolver a interação complexa entre a

termodinâmica (solubilidade) e a cinética de extração (transferência de massa) (ROSA & MEIRELES, 2009).

2.2.6 - Rendimento global

O rendimento global (X_0) é definido como a quantidade de material solúvel que pode ser extraída de uma determinada quantidade de matéria-prima em uma dada pressão e temperatura de extração (MEIRELES, 2003). O rendimento global do processo pode ser calculado pela relação entre massa total do extrato ($m_{extrato}$) e massa inicial da amostra em base seca ($m_{amostra}$), como expressa a **Equação 1**:

$$X_0 = \frac{m_{extrato}}{m_{amostra}} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

O valor de X_0 não depende apenas das características da matéria-prima, mas também da forma com que os compostos nela presentes interagem com o solvente. Isto significa que as propriedades do solvente também influem no valor de X_0 . Entre estas propriedades está a densidade do solvente, que afeta diretamente o seu poder de solvatação e é função da sua temperatura e pressão e a pressão de vapor e/ou sublimação do soluto (MANNINEN et al, 1997; BRUNNER, 2005).

O comportamento do rendimento global em função da temperatura e pressão do processo é semelhante ao da solubilidade dos extratos em fluido supercrítico e vários comportamentos podem ser verificados em estudos do desempenho do rendimento global com a temperatura e pressão, em alguns casos, devido à complexidade da composição química dos extratos, pode ser observado o fenômeno da inversão (QUISPE-CONDORI, 2005). O estudo realizado por Carvalho Jr., 2004 para o sistema alecrim + CO₂ mostra que na pressão de 177 bar as isotermas convergem e os dois efeitos (pressão de vapor e densidade de solvente) possuem a mesma importância sobre a solubilidade e o fenômeno de inversão foi verificado quando houve o aumento da temperatura em uma mesma pressão, para pressões menores que 177 bar, pressões relativamente baixas, o efeito da densidade do solvente prevalece sobre o efeito da pressão do vapor, pois ocorre a diminuição da solubilidade do soluto. E em pressões relativamente altas, pressões maiores que 177 bar, ocorreu o aumento da solubilidade do soluto, prevalecendo o efeito da pressão de vapor, como mostra a **Figura 4**.

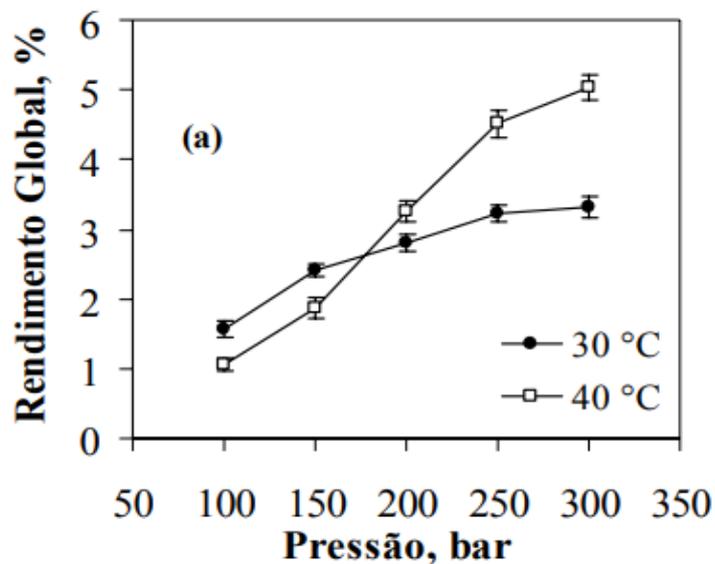


Figura 4. Isoterma de rendimento global para o sistema alecrim + CO₂ (CARVALHO JR., 2004).

2.3 - Vida de prateleira

A vida de prateleira de um alimento pode ser definida como o tempo em que o produto leva para se deteriorar até atingir um nível inaceitável de qualidade, e o conceito de inaceitável varia bastante entre indivíduos. A determinação da vida de prateleira deve levar em consideração aspectos de segurança alimentar, nutricionais e de aceitação pelo consumidor.

Todos os alimentos sofrem graus variados de deterioração durante a estocagem. Assim, a taxa de perda de qualidade é determinada pelos seguintes fatores: composição e características do produto, condições de processamento, características e efetividade do sistema de embalagem e condições ambientais às quais o produto é exposto durante a estocagem (DE AZEREDO, 2012).

As alterações responsáveis por perda de qualidade são de vários tipos, incluindo reações químicas, alterações microbiológicas e físicas. Durante a estocagem de alimentos, as alterações químicas indesejáveis em alguns produtos englobam: degradação de sabor, cor e textura; deterioração de propriedades funcionais de compostos; perda de

valor nutricional e desenvolvimento de compostos tóxicos (TAOUKIS & LABUZA, 1996). As alterações microbiológicas são consideradas as mais importantes e as que recebem maior atenção quando se trata de métodos de conservação de alimentos pois essas alterações comprometem a segurança do consumidor, como é o caso da produção de toxinas por ação microbiana. As alterações físicas de alimentos constituem a classe menos importante de mudanças que ocorrem durante a estocagem, no que se refere à segurança alimentar. Contudo, estão intimamente relacionadas a alterações sensoriais, especialmente alterações de textura, que frequentemente comprometem a aceitação de alimentos (DE AZEREDO, 2012).

A estabilidade de um alimento é discutida com base em dois tipos principais de fatores: os intrínsecos (ligados diretamente às características do alimento) e os extrínsecos (ligados ao ambiente que o envolve). Entre os fatores intrínsecos, podem ser citados: atividade de água, pH, composição química e carga microbiológica inicial e entre os fatores extrínsecos, destacam-se: temperatura, umidade relativa do ar, exposição a radiações luminosas e disponibilidade de oxigênio, entre outros (DE AZEREDO, 2012).

A seleção do sistema de embalagem e dos métodos de conservação a serem adotados para um dado alimento dependem das suscetibilidades específicas desse alimento. É importante que a escolha dos métodos de conservação seja a mais racional possível, garantindo a estabilidade do alimento durante sua vida de prateleira, procurando minimizar as alterações em suas propriedades sensoriais e nutricionais, danos esses que podem decorrer tanto do processamento quanto das condições de estocagem. Daí o surgimento de novas técnicas de conservação, cuja finalidade é preservar ao máximo as propriedades originais do alimento, tendência essa impulsionada pelas crescentes exigências do consumidor por produtos mais frescos e saudáveis (DE AZEREDO, 2012).

Devido a sua alta perecibilidade, o açaí apresenta uma vida de prateleira muito curta, mesmo sob refrigeração. Além disso, as antocianinas que são um dos principais compostos do açaí são pigmentos bastante instáveis ao processamento e armazenamento. Desta forma, a indústria alimentícia está constantemente em busca de novas fontes destes pigmentos, que sejam mais estáveis e apresentem um baixo custo (POZO-INSFRAN, BRENES & TALCOTT, 2004). Neste sentido, a produção de açaí em pó representa uma alternativa no sentido de melhorar a conservação do produto mantendo os componentes antioxidantes. Os produtos em pó apresentam baixa atividade de água, o que dificulta ou até impede o crescimento de microrganismos e as reações físico-químicas responsáveis

por sua deterioração, aumentando, assim, sua vida útil (PESSOA & TEIXEIRA, 2012).
Enfatizando a importância do estudo de vida de prateleira dos produtos obtidos.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos iniciaram na coleta do fruto seguido do pré-tratamento da matéria-prima e posterior extração do óleo e obtenção da polpa sem gordura do açaí. Em seguida foram feitas análises químicas para identificar a melhor condição experimental. Na melhor condição de extração foram feitas análises de citotoxicidade e vida de prateleira dos produtos, conforme ilustrado na **Figura 5**:

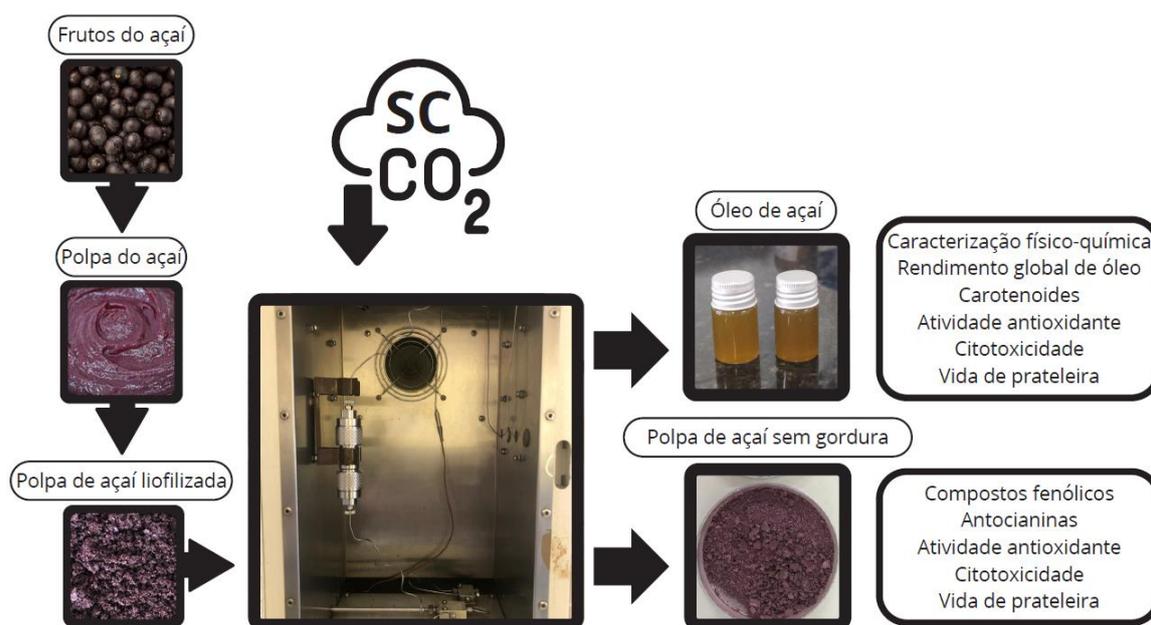


Figura 5. Fluxograma de experimentos

Fonte: Próprio autor

3.1 - Coleta e processamento do material vegetal

Os frutos do açaí (*Euterpe oleracea*) foram coletados no município de Igarapé-Miri / PA / Brasil sendo suas coordenadas geográficas de (1° 58' 37" S e 48° 57' 34" W) (Sisgen: ABFE510), no dia quatorze de setembro de 2020. A matéria-prima foi lavada com água potável para a retirada das impurezas e imersa em tanques com água a 323,15 K para o amolecimento do mesocarpo e endocarpo durante 900 segundos. Após esse tratamento, os frutos foram despulpados com auxílio da despulpadora mecânica. A polpa foi embalada em sacos plásticos revestidos com folha de alumínio e adicionadas em caixas térmicas sob refrigeração (274,15 K) e posteriormente transportadas para o

Laboratório de Tecnologia Supercrítica (LABTECS), localizado no prédio do espaço inovação PCT Guamá, na Universidade Federal do Pará, em Belém. Em seguida, as polpas foram adicionadas em bandejas de aço inox e foram congeladas a (274,15 K).

3.1.1 - Liofilização

A etapa de liofilização foi realizada no Laboratório de Tecnologia Supercrítica (LABTECS) do espaço inovação PCT Guamá, na Universidade Federal do Pará. Inicialmente, a polpa de açaí foi adicionada nas bandejas do liofilizador e levadas ao freezer vertical para congelamento na temperatura de 248,15 K durante 86 400 segundos. Após o congelamento, as bandejas foram adicionadas no liofilizador (modelo: LS3000, TERRONI, Brasil) em condições de liofilização a uma pressão de 1.3×10^{-5} MPa e temperatura do condensador de 219,15 K durante 86 400 segundos. Após o término, a polpa liofilizada **Figura 6** foi embalada em sacos plásticos a vácuo revestidos com folha de alumínio e armazenadas sob congelamento ($255,15 \pm 274,15$) K até a extração.



Figura 6. Polpa liofilizada de açaí (*Euterpe oleracea*)

Fonte: O autor

3.2 - Caracterização da polpa de açaí liofilizada

3.2.1 - Determinação da granulometria

A distribuição das partículas da polpa de açaí liofilizada foi determinada com o auxílio de uma série de peneiras Tyler (W.S. Tyler, USA) de 12 a 28 meshes, acopladas a um agitador magnético (Bertel, modelo AGMAGB, Brasil). O procedimento foi feito em bateladas de 0,02 kg, durante o período de 1200 segundos para cada batelada. Após cada teste de determinação da granulometria, as amostras selecionadas foram acondicionadas em embalagens de polietileno, embaladas a vácuo e armazenadas até serem utilizadas nos experimentos de extração. O diâmetro médio das partículas foi calculado usando a metodologia descrita pela Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas e Biológicos (ASABE), Standards S424.1, 1998, de acordo com a **Equação 2**:

$$d_{ap} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (w_i \log d_i)}{\sum_{i=1}^n w} \right] \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$$d_i = (d_i \cdot d_{i+1})^{0,5}$$

d_i = abertura nominal da i-ésima peneira (mm);

d_{i+1} = abertura nominal da peneira maior que a i-ésima peneira (mm);

W_i = massa do material retido na i-ésima peneira.

3.2.2 - Determinação da densidade real das partículas, densidade aparente do leito e porosidade do leito

A densidade real das partículas (ρ_r) foi determinada pela Central Analítica do Instituto de Química da UNICAMP, através da metodologia de picnometria com gás hélio, adotada devido a sua precisão em determinar o volume do sólido, com as devidas especificações do equipamento Picnômetro *Accupyll 1340- Micromeritics*. A densidade aparente do leito (ρ_a) foi determinada pela razão entre a massa da matéria-prima alimentada e o volume ocupado no leito de extração segundo a **Equação 3**:

$$\rho_a = \frac{m}{V} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

ρ_a = densidade aparente do leito (Kg/m³);

m = massa da matéria-prima alimentada (Kg);

V = volume interno do extrator ocupado pela matéria-prima (m³).

A porosidade do leito (ε) foi calculada pela correlação entre densidade real das partículas (ρ_r) e densidade aparente do leito (ρ_a), conforme a **Equação 4**:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

ε = Porosidade do leito;

ρ_a = Densidade aparente do leito;

ρ_r = Densidade real das partículas.

3.2.3- Análise da composição centesimal

A composição centesimal da polpa de açaí liofilizada foi realizada de acordo com a Association of Official Analytical Chemists AOAC (1995). Foram determinados os teores de umidade pelo método gravimétrico em estufa de circulação de ar a 378,15 K por 86 400s. Os teores de cinzas foram determinados por meio de incineração em forno

mufla a 823,15 K por 18 000s. Os teores de proteínas totais foram obtidos através do método de Kjeldahl. A determinação de lipídeos totais foi realizada utilizando extração por Soxhlet com solvente éter de petróleo P.A. A determinação de carboidratos foi calculada pelo método Instituto Adolfo Lutz (1985). As determinações foram feitas em triplicata e os resultados foram expressos em grama por 100g de amostra em base seca (g/100g b.s.).

3.2.4 - Determinação da concentração de compostos fenólicos totais

A quantificação de compostos fenólicos totais foi definida para a polpa liofilizada, conforme o método de Folin-Ciocalteu (1999). A curva padrão do ácido gálico foi feita a partir de 0,50 kg / m³ (m / v) solução estoque, onde foram utilizados quatorze pontos de concentração (0,83 a 17,25 mg / L), de acordo com a equação $y = 0,04 x - 0,01$ com $R^2 = 0,99$. A concentração da amostra foi equivalente a 52,63 kg / m³, levada a centrífuga refrigerada por 1200 segundos a 133,3 rps, operando a 277,15 K. Para as reações, a concentração das amostras foi equivalente a 0,4 (v / v). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro UV/VIS (modelo UV-M90, Bel Engineering, Itália) a 750 nm. As determinações foram realizadas em triplicata e os resultados expressos em miligramas de ácido gálico equivalente por grama de amostra em base seca (mg GAE / g b.s.).

3.2.5 - Determinação de teor de antocianinas totais

A determinação do teor de antocianinas totais foi realizada para a polpa liofilizada, a concentração da amostra foi equivalente a 52,63 kg / m³, levada a centrífuga refrigerada por 1200 segundos a 133,3 rps, operando a 277,15 K. Em seguida prosseguiu-se para determinação do composto de acordo com o método espectrofotométrico diferencial de pH descrito por Giusti & Wrolstad (2001). As leituras de absorvância foram realizadas em espectrofotômetro UV/VIS (modelo UV-M90, Bel Engineering, Itália) nos comprimentos de onda de 510 e 700 nm. As determinações foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos em miligramas de cianidina 3-glicosídeo por 100 gramas de amostra em base seca (cianidina 3-glicosídeo / 100 g b.s.).

3.2.6 - Atividade antioxidante

3.2.6.1 - Método DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil)

A polpa liofilizada foi submetida à determinação da atividade antioxidante pelo método espectrofotométrico DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil-hidrato), de acordo com

Brand-Williams et al., (1995) com modificações, a concentração da amostra foi equivalente a $52,63 \text{ kg} / \text{m}^3$, levada a centrífuga refrigerada por 1200 segundos a 133,3 rps, operando a 277,15 K. O procedimento foi realizado em espectrofotômetro UV/VIS (modelo UV-M90, Bel Engineering, Itália), a 515 nm, com leituras monitoradas a cada 300 s até que a reação atingisse um platô em 1800 s. A curva Trolox padrão foi realizada a partir de uma solução estoque $5 \times 10^6 \text{ } \mu\text{mol} / \text{m}^3$, onde foram utilizadas seis concentrações (0 a 800 μM), de acordo com a equação de uma reta $y = 0,02 x + 0,02$ com $R^2 = 0,99$. As reações foram realizadas usando $5,00 \times 10^{-8} \text{ m}^3$ de amostra e $1,95 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ de solução de DPPH a 0,06 mol / m^3 (mol / v) (v / v). A atividade antioxidante do método DPPH foi realizada em triplicata e expressa em micromol de equivalente Trolox por grama de amostra em base seca ($\mu\text{mol TE} / \text{g b.s.}$).

3.2.6.2 - Método ABTS (ácido 2,2-azino-bis 3-etilbenzolina-6-sulfônico)

O método ABTS (ácido 2,2-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)) foi realizado de acordo com o procedimento proposto por Miller et al., (1993) para a polpa liofilizada, preparando as soluções de 7 mM de ABTS e de 140 mM de persulfato de potássio, e conseqüentemente a sua reação por 57 600 s, na ausência de luz. Assim, diluiu-se $1 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ dessa solução em álcool etílico até se encontrar uma leitura de absorvância de $0,7 \pm 0,05 \text{ nm}$, utilizando espectrofotômetro a 734 nm, com uma diluição de 1:120 (v/v). A curva Trolox padrão foi realizada em cinco concentrações (0 - 2000 μM), de acordo com a equação de uma reta $y = 3 \times 10^{-4} x + 0,01$ com $R^2 = 0,99$. O experimento foi realizado em triplicata e os resultados expressos em milimol de equivalente Trolox por grama de amostra em base seca (mmol Trolox eq. / g b.s.).

3.2.6.3 - Método da redução do ferro (FRAP)

Para avaliar a capacidade antioxidante pelo método FRAP utilizou-se a metodologia descrita por Rufino et al., (2006). Inicialmente, foi preparada a solução do reagente FRAP a partir da combinação de 25 ml de tampão de acetato de sódio 0,30 M (pH 3,6), 2,5 ml de solução de TPTZ 10 nM e 2,5 ml de solução aquosa de cloreto férrico 20 nM. Posteriormente, foram preparadas três diluições em diferentes concentrações dos extratos. Uma alíquota de 90 μL de cada diluição foi adicionada de 270 μL de água destilada e 2,70 mL de reagente FRAP, homogeneizada e incubada por 30 min a 37 °C em banho Maria (Fanem M100). Após o período de incubação realizou-se a leitura a 595

nm em espectrofotômetro de absorção UV-visível, utilizando o reagente FRAP como branco. Os resultados foram expressos em μM de sulfato ferroso/g de amostra, calculados a partir da curva padrão de sulfato ferroso.

3.3 - Extração com fluido supercrítico

3.3.1 - Unidade de extração supercrítica

A extração com dióxido de carbono supercrítico foi feita visando a extração do óleo de açaí e obtenção da polpa sem gordura. Portanto, os ensaios de extração foram realizados no Laboratório de Extração da Universidade Federal do Pará (LABEX-UFPA) que dispõe de uma infraestrutura adequada que é constituída por uma unidade Spe-ed SFE (Applied Separations, Inc., Allentown, PA USA, modelo 7071) equipada com recirculador (POLYSCIENCE, F08400796), um compressor (SCHULZ, modelo CSA 7,8), um medidor de vazão na saída do sistema (Alicat Scientific, M5SLPM), um cilindro de CO_2 (Pureza 99,9%, White Martins, Brasil) e um vaso de extração de aço inoxidável adequado para operar a altas pressões.

3.3.2 - Procedimento experimental

O procedimento experimental na unidade de extração supercrítica, representada pelo fluxograma (**Figura 7**) foi padrão para todos os ensaios.

- I) Inicialmente ligou-se o banho termostático (R) e esperou-se até atingir a temperatura desejada (-10°C).
- II) Ligou-se o compressor (CP).
- III) Na unidade Spe-ed SFE verificou-se as válvulas de entrada (V3) e saída de CO_2 (V4) e de ventilação se estavam fechadas e a válvula micrométrica parcialmente fechada (V5).
- IV) Conectou-se a coluna de extração (CE) devidamente preparada com a polpa liofilizada de açaí, utilizando-se algodão para evitar a migração de partículas da amostra para os capilares do equipamento e para preencher o volume restante da coluna. Em seguida, observou-se que não havia vazamento de CO_2 no sistema, verificando possíveis vazamentos nos pontos de conexão entre coluna e dutos do equipamento por meio da liberação da entrada de CO_2 no sistema.
- V) Ligou-se a unidade Spe-ed SFE, iniciou-se a compressão do sistema pela rotação manual da válvula de pressão do ar até atingir o valor da pressão de operação

desejada para o sistema. E após o alcance das temperaturas da válvula micrométrica e do forno programadas, iniciou-se o processo de extração com a abertura da válvula de entrada de CO₂ (V3) no sistema.

- VI) Aguardou-se 900 s, tempo de processo de extração estático, período em que o CO₂ solubiliza a substância e é estabilizado no leito. Logo após o período estático, abriu-se a válvula de saída do CO₂ (V4) bem devagar para coleta do extrato no frasco, controlando a vazão no painel e fazendo o ajuste na válvula micrométrica.
- VII) Coletou-se o material extraído, o óleo e a polpa sem gordura em recipientes adequados e mantidos a uma temperatura de cerca de 0 a -5°C.

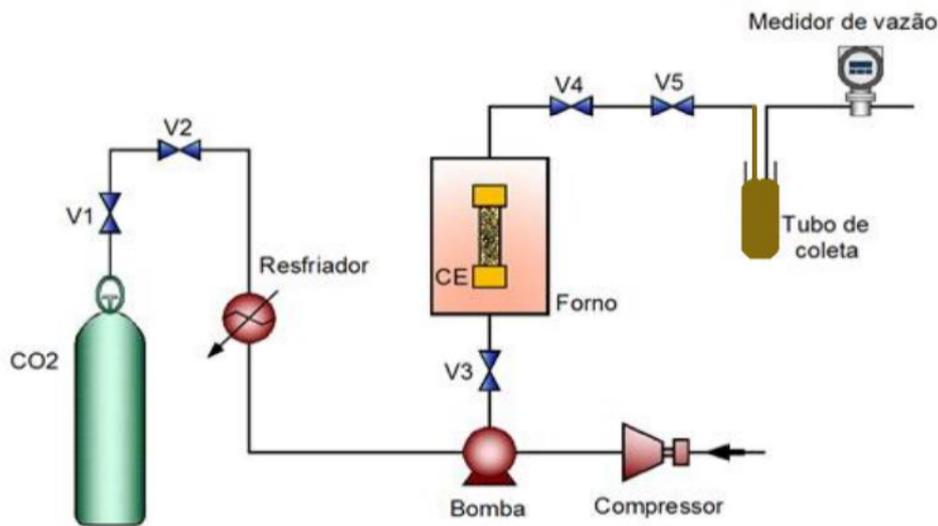


Figura 7. Fluxograma esquemático da unidade de extração Spe-ed

Fonte: Batista (2005)

3.3.3 - Determinação dos rendimentos globais

Os experimentos para a determinação dos rendimentos globais foram realizados na célula de extração com 0,0154 m de diâmetro interno e 0,057 m de altura. Os ensaios experimentais de extração foram feitos nas seguintes condições de temperatura e pressão: 323,15K/35MPa, 333,15K/42MPa, 343,15K/49Mpa. Nestas condições operacionais Batista et al. (2005) obtiveram os melhores rendimentos globais de extração, dos quais a densidade de dióxido de carbono (CO₂) é igual e próxima a 900 kg/m³. Iniciou-se o ensaio experimental de extração com a preparação do leito de extração onde foi colocado uma

quantidade inicial de 1.5×10^{-4} kg de polpa liofilizada e a vazão de solvente supercrítico utilizada foi de 4×10^{-5} m³/s. Em seguida, objetiva e sistematicamente, o dióxido de carbono foi inserido ao sistema para entrar em contato com a matriz vegetal e se solubilizar no óleo de açaí, durante o período estático, que correspondeu aos 900 segundos iniciais em relação ao tempo total de extração. Por fim, após o período estático, o óleo de açaí concentrado em compostos bioativos pode ser coletado após a depressurização do dióxido de carbono supercrítico até a pressão e temperatura ambiente. Esta etapa de coleta do óleo durou 1800 segundos, o qual correspondeu ao tempo final de extração, que é o período dinâmico da extração. Todos os ensaios experimentais foram feitos em duplicata. Os parâmetros utilizados na determinação dos rendimentos globais estão apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2: Condições operacionais adotadas para a determinação dos rendimentos globais

Parâmetros	Valores
F (Kg)	1.5×10^{-4}
T (K)	323,15, 333,15, 343,15
ρ_{CO_2} (Kg/m ³)	900
P (Mpa)	35, 42 e 49
Q_{CO_2} (m ³ /s.)	4×10^{-5}
T_E (s)	900
T_D (s)	1800

Fonte: Autor(a).

3.3.4 - Determinação do rendimento da extração

Os rendimentos globais de extração foram calculados em função da massa de extrato pela massa de alimentação da matéria-prima em base seca (b.s.), conforme a

Equação 5:

$$X_{obs(\%)} = \frac{m_0}{m_a \times \left(1 - \frac{U_a}{100}\right) \times 100} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

m_0 = massa de extrato (g);

m_a = massa de amostra em (g);

U_a = umidade da amostra (%).

3.4 - Caracterização físico-química do óleo de açaí

3.4.1 - Densidade e viscosidade

A densidade e a viscosidade foram determinadas com auxílio de um Viscosímetro automático (modelo SVM 2001, Anton Paar), a 25°C. As amostras de óleo de açaí (5 ml) foram injetadas diretamente no equipamento com o auxílio de uma seringa descartável, sem bico rosqueado. Após a estabilização da temperatura, o equipamento forneceu os resultados direto da densidade e viscosidade. Os experimentos foram realizados em triplicata.

3.4.2 - Índice de acidez

O índice de acidez (IA) foi determinado de acordo com a metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (2008) e AOCS (2017), a quantidade de amostra e reagentes foram reduzidos proporcionalmente e os experimentos foram realizados em triplicata. Cerca de 0,100 g de óleo de açaí e 12,5 mL de solução éter-álcool (2:1) foram adicionados em Erlenmeyer (125 mL). Acrescentou-se 2 gotas de fenolftaleína ao sistema (amostra + solução éter-álcool) e titulou-se com solução padronizada (0,004 mol/L) de hidróxido de sódio (NaOH) até o surgimento da coloração rósea (persistindo por, no mínimo, 30 segundos, para que seja considerado o fim da titulação).

Os valores de índice de acidez foram calculados segundo a **Equação 6**, em miligramas de KOH por grama de óleo extraído (mg KOH/g):

$$IA \left(\frac{\text{mg KOH}}{\text{g óleo}} \right) = \frac{V \text{ (mL)} * C \text{ (mol/L)} * 56,1}{m_{oleo} \text{ (g)}} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde o V representa o volume da solução padrão de NaOH gasto na titulação; C a concentração da solução NaOH; 56,1 o fator de conversão molar para KOH; m_{oleo} a massa da amostra.

3.4.3 - Índice de peróxido

O índice de peróxido (IP) foi determinado usando a metodologia proposta pela American Oil Chemists' Society (AOCS 2004). A quantidade de amostra e reagentes foram reduzidos proporcionalmente e os experimentos foram realizados em triplicata. Cerca de 2,5 g de óleo de açaí foram adicionados em Erlenmeyer (125 mL) e adicionou-se 15 mL de solução de ácido acético-clorofórmio (3:2) sob agitação até a completa

dissolução da amostra. Adicionou-se 0,5 mL de solução saturada de iodeto de potássio (KI), deixando a amostra em repouso e protegida em relação a exposição a luz por 1 minuto. Acrescentou-se 15 mL de água destilada e 1 mL de solução indicadora de amido 1% m/v e titulou-se a mistura com solução de tiosulfato de sódio 0,1 mol/L, até o desaparecimento da coloração azul. Para o branco o mesmo procedimento foi feito só que sem a amostra e titulou-se até o desaparecimento da coloração amarela no fundo do frasco.

O índice de peróxido (miliequivalentes peróxido/kg óleo) foi calculado usando a **Equação 7**:

$$IP \left(\frac{\text{meq}}{\text{kg}} \right) = \frac{(A - B) * C \text{ (mol/L)} * F * 1000}{m_{oleo} \text{ (g)}} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde: [A - volume (mL) gasto na titulação da amostra; B - volume (mL) gasto na titulação do branco; C - concentração (mol/L); F - fator de correção, todos referentes à solução de tiosulfato de sódio 0,1 mol/L; m_{oleo} - massa da amostra do óleo de açaí].

3.4.4- Índice de iodo

O índice de iodo (II) foi determinado usando o método proposto por (SHIMAMOTO, ARICETTI, TUBINO, 2016). Os experimentos foram realizados em triplicata. Cerca de 0,1 g de óleo de açaí foram adicionados em Erlenmeyer (500 mL). O óleo foi dissolvido em 15ml de etanol a 99% sob alta agitação magnética por 5 min. Parou-se a agitação e foi adicionado 20 ml de solução etanólica de iodo a 0,1 M, em seguida agitou-se novamente durante 5 min sob alta agitação magnética. Diminuiu-se a agitação e foi adicionado 200ml de água destilada fria (5°C). Cobriu-se o frasco e manteve-se por agitação suave para evitar a perda de I₂, por 5 minutos. Titulou-se o conjunto com tiosulfato de sódio 0,1 M até a cor amarela pálida. Então, foi adicionado 3 ml de solução indicadora de amido e titulou-se até completo desaparecimento da cor azul, resultando em uma solução leitosa. O branco foi preparado contendo todos os componentes exceto a amostra.

O índice de iodo (g de iodo/100g de amostra) é determinado de acordo com a **Equação 8**:

$$\text{Índice de iodo} = \frac{(B - A) * 0,1 * 12,96}{m} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde: [A - volume de solução de tiosulfato de sódio gasto na titulação da amostra (ml); B - volume de solução de tiosulfato de sódio gasto na titulação do branco; m - massa da amostra do óleo de açaí].

3.5 - Determinação do teor de carotenoides totais dos óleos de açaí

Os teores de carotenoides foram determinados para os óleos de açaí, de acordo com a metodologia de Rodriguez-Amaya e Kimura (2004). O éter de petróleo P.A. foi o solvente utilizado para ressuspensão do óleo. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro UV/VIS (modelo UV-M90, Bel Engineering, Itália) a 450 nm. Para o cálculo foi utilizado o coeficiente de absorvidade do β -caroteno em éter de petróleo (2592). As determinações foram feitas em triplicata e os resultados foram expressos em micrograma de β -caroteno por grama de amostra em base seca ($\mu\text{g/g b.s.}$).

3.6 - Atividade citotóxica do óleo e da polpa sem gordura do açaí

3.6.1 - Cultura celular

A polpa sem gordura e o óleo para a condição de extração 323,15 K e 35 MPa foram separadas para a avaliação citotóxica com as duas linhagens celulares. As linhagens celulares utilizadas no estudo foram células de fibroblasto pulmonar fetal humano normal (MRC5) e células de rim de macaco verde africano (VERO). As células foram cultivadas em culturas aderentes de monocamada em Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM, Gibco®), suplementado com soro bovino fetal a 10% e penicilina (100 U/mL) e estreptomomicina (100 mg/mL) (Gibco®), sendo mantidas em estufa a 37°C com atmosfera de 5% de CO₂.

3.6.2 - Avaliação da atividade citotóxica – Ensaio do MTT

Citotoxicidade refere-se ao nível que uma substância pode causar danos a uma célula e os ensaios de citotoxicidade medem a capacidade desses compostos em afetar a viabilidade da célula, alterando sua integridade estrutural e/ou metabólica. Tais ensaios são utilizados extensivamente na pesquisa básica e na busca por novas substâncias com algum efeito biológico, principalmente para o rastreamento de compostos tóxicos. Na área da farmacologia e cosmética, a citotoxicidade é um fator muito requerido, pois

dependendo da dinâmica de atividade demonstrada pelo composto, seu destino e efeitos são avaliados diferencialmente.

Dentre os ensaios mais utilizados está o ensaio do MTT, que consiste em um método colorimétrico que se baseia na redução do sal brometo de 3-(4,5-dimetilazol-2-il)-2,5-defenitetrazolio, que é hidrossolúvel e de cor amarela em cristais de formazan, um produto cromogênico e insolúvel de coloração púrpura, por células metabolicamente ativas 2.

Inicialmente foi realizado um experimento de curva dose-resposta, com o objetivo de avaliar o efeito das moléculas testadas, óleo e polpa sem gordura do açaí (*Euterpe oleracea*), sobre a viabilidade das células normais, conforme o aumento nas concentrações. Para tanto, as células foram semeadas em placas de 96 cavidades a uma densidade de 3×10^3 células/poço por 24 horas para adesão na placa. Posteriormente, as células foram tratadas com as moléculas em teste nas concentrações de 1,56 - 100 $\mu\text{g/mL}$, para o óleo e de 3,125 - 200 $\mu\text{g/mL}$, para a polpa sem gordura, e foram incubadas a 37°C por 72 horas.

As substâncias testadas foram dissolvidas em dimetil sulfóxido (DMSO) para obtenção da concentração estoque e os experimentos foram realizados em triplicata. O controle negativo foi a amostra não tratada. Após o período de tratamento foram adicionados 100 μL da solução de MTT (solução estoque 5 mg/mL , diluída 1:10 em meio DMEM) a cada poço da placa e incubados a 37°C por 3 horas. A análise foi realizada em espectrofotômetro de placa (SpectraMax i3) a um comprimento de onda de 570 nm.

3.7 - Determinação da concentração de compostos fenólicos totais e teor de antocianinas totais das polpas sem gordura de açaí

A determinação da concentração de compostos fenólicos totais e teor de antocianinas totais das polpas sem gordura de açaí foram determinados segundo metodologia descritas no item 3.2.4 e 3.2.5 respectivamente.

3.8 - Atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP dos óleos e das polpas sem gordura de açaí

A determinação da atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP dos óleos e das polpas sem gordura de açaí foram determinados segundo metodologias descritas nos itens 3.2.6.1, 3.2.6.2 e 3.2.6.3 respectivamente.

3.9 - Vida de prateleira da polpa liofilizada, polpa sem gordura e do óleo de açaí

3.9.1 - Vida de prateleira da polpa liofilizada e sem gordura do açaí

3.9.1.1 - Determinação das Antocianinas totais

A determinação das antocianinas totais foi realizada para a polpa liofilizada e sem gordura segundo metodologia descritas no item 3.2.5.

3.9.1.2 - Estudo da estabilidade da polpa liofilizada e sem gordura

Para o estudo da estabilidade das antocianinas, as amostras de açaí da polpa liofilizada e sem gordura, foram acondicionadas sem embalagem (em um Becker) e com embalagens sachê de alumínio, selada e selada com vácuo armazenados sem refrigeração. Estes ambientes de armazenagem tiveram como objetivo verificar a degradação dos teores de antocianinas totais para analisar a vida de prateleira desses produtos, durante 1 mês, com análises realizadas em intervalos de 1 semana.

3.9.1.2.1 – Estabilidade das antocianinas

São apresentados na **Tabela 3** os modelos para a ordem da reação que foram utilizados na predição dos dados de degradação dos teores de antocianinas totais para a polpa de açaí liofilizada e sem gordura durante o estudo da estabilidade e a estimativa dos tempos de meia-vida para as diferentes ordens de reação da cinética de degradação dos produtos de açaí foram realizados de acordo com as equações descritas na **Tabela 4**.

Tabela 3: Modelos utilizados na predição da degradação dos teores de antocianinas da polpa de açaí liofilizada e sem gordura.

Modelos	Equações
Ordem zero	$C = C_0 - k t$ (9)
Primeira ordem	$C = C_0 \exp^{-kt}$ (10)
Segunda ordem	$C = \frac{1}{kt + \frac{1}{C_0}}$ (11)

Fonte: Fu e Babuza, 1997.

Tabela 4: Tempos de meia-vida para as diferentes ordens de reação

Ordem aparente de reação	Tempo de meia vida ($t_{1/2}$)
Ordem zero	$t_{1/2} = \frac{C_0}{2 k}$ (12)
Primeira ordem	$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$ (13)
Segunda ordem	$t_{1/2} = \frac{1}{k C_0}$ (14)

Fonte: Taoukis et al.,1997.

3.9.2 - Estabilidade do óleo do açaí

A estabilidade do óleo de açaí foi avaliada utilizando o dispositivo de teste de estabilidade de oxigênio RapidOxy 100 da Anton Paar (Anton Paar ProveTec GmbH, Ostfildern, Alemanha), inserindo amostras de óleo de açaí na quantidade de 5ml na célula de teste, com uma pressão de 700 Kpa e com temperatura inicial de 20 °C. Três temperaturas alvo diferentes foram consideradas 80, 100, e 120 °C, respectivamente.

3.10 - Análise estatística dos resultados

Para os resultados de caracterização foram calculados média e desvio padrão, submetidos à análise estatística, com o auxílio do Statistica versão 7.0, empregando o Teste de Tukey com nível de significância de 95 % ($p < 0,05$). Os resultados de citotoxicidade foram obtidos em triplicada e submetidos a análise de variância (Oneway ANOVA) seguida por Teste de Bonferroni, com nível de significância de 95 % ($p < 0,05$) no Programa GraphPad Prism, versão 8.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - Caracterização da polpa liofilizada de açaí

4.1.1 - Densidade real, densidade aparente, porosidade do leito e diâmetro de partícula

A densidade média real das amostras de açaí foi de $1270 \pm 0,02$ (kg/m³). A densidade aparente das amostras foi de 143 kg/m³. A porosidade do leito de extração teve valor de 0,9 e o diâmetro médio das partículas (dap) teve valor $8,77 \times 10^{-4}$ m (0,877mm). O resultado obtido para dap é aceitável para o processamento de produtos naturais de acordo com a literatura. De acordo com Zobot et al. (2012) o valor aceitável está entre 0,25 mm e 1,80 mm e o diâmetro da partícula (dp) adequado ao processo pode variar conforme as características da matriz vegetal e o diâmetro do vaso de extração.

4.1.2 - Análise de composição centesimal

O resultado obtido pela análise da composição centesimal da polpa de açaí liofilizada destacou elevadas concentrações de lipídeos, proteínas, cinzas, umidade e carboidratos em quantidades de $51,17 \pm 0,00$ g/100 g, $9,34 \pm 0,88$ g/100 g, $3,75 \pm 0,12$ g/100 g, $3,16 \pm 0,14$ g/100 g e $21,21 \pm 1,00$ g/100 g, respectivamente, como mostra **Tabela 5**. O elevado teor lipídico identificado reflete um enorme benefício para quem consome o fruto in natura, se considerar que este teor apresenta elevadas concentrações de ácido oleico (C18:0) que é benéfico para a saúde humana e pode ser usado, ainda que parcialmente, na prevenção de doenças cardiovasculares, conforme descrito por Cunha et al. (2019). Adicionalmente, o teor de proteínas confere qualidade para a polpa liofilizada ser inserida como insumo na formulação de barra de cereais de alto teor proteico de interesse para a indústria de alimentos (FREITAS & MORETTI, 2006). A composição centesimal da polpa liofilizada foi comparada com a composição da polpa sem gordura obtida ao final da extração, conforme mostrado na **Tabela 5**. Em uma análise inicial é possível verificar que a fração centesimal de umidade, lipídios, cinzas, proteínas e carboidratos sofreram alterações visíveis após a extração. A umidade teve seu valor aumentado, o que pode ter sido influenciado, durante as manipulações do experimento e pelo clima úmido. O teor de lipídios encontrado na polpa sem gordura reflete a eficácia do processo de extração se considerarmos o objetivo de separação do

óleo de açaí da matriz vegetal, além de ter concentrado proteínas e carboidratos devido à extração de lipídeos. Logo o uso da polpa sem gordura pode ser aplicado no desenvolvimento de novas tecnologias como produtos alimentícios e como suplementação, pois estudos tem demonstrado que a suplementação pós-exercício de carboidrato associado à proteína para praticantes de atividade física prolongada, tem o papel de aumentar a síntese proteica e a síntese de glicogênio muscular, importantes para o processo de recuperação de indivíduos submetidos a exercícios intensos (LVY et al., 2008).

Tabela 5 - Composição centesimal da polpa de açaí liofilizada e sem gordura

Composição	g/100g de polpa liofilizada	g/100g de polpa sem gordura
Umidade	3,16 ± 0,14	9,21±0,11
Cinzas	3,75 ± 0,12	7,62±0,12
Lipídios	51,17 ± 0,17	0,76±0,2
Proteínas	9,34 ± 0,88	18,15±1,00
Carboidratos	21,21 ± 1,00	50,26 ± 0,60

*(Resultados expressos em média ± desvio padrão em base seca). Fonte: Autor(a).

4.1.3 - Teor de compostos fenólicos, teor de antocianinas totais e atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP.

Biocompostos de alta atividade antioxidante como antocianinas totais e polifenóis totais, nas concentrações de $693,85 \pm 2,03$ mg/100 g e $77,51 \pm 0,54$ mg GAE/100g, também foram identificados na polpa de açaí liofilizada conferindo qualidade para a polpa de açaí ser uma fonte natural de compostos de elevada atividade antioxidante. A capacidade antioxidante da polpa de açaí liofilizada teve valor $289,08 \pm 6,83$ μ mol TE/g, $385,92 \pm 8,90$ μ mol TE/g e $500,35 \pm 8,66$ μ m de sulfato ferroso/g pelo método DPPH, ABTS e FRAP, respectivamente. Todos os valores foram obtidos em base seca, como mostrado na **Tabela 6**.

Tabela 6 - Composição de composto bioativos da polpa de açaí liofilizada.

Amostra	Antocianina (mg/100g b.s.)	Compostos fenólicos (mgGAE/10 0g b.s.)	DPPH (μmolTE/g b.s.)	ABTS (μmolTE/g b.s.)	FRAP (μm de sulfato ferroso/g b.s.)
Liofilizada	693,85 \pm 2,03	77,51 \pm 0,54	289,08 \pm 6,83	385,92 \pm 8,90	500,35 \pm 8,66

Fonte: Autor(a).

4.2 - Extração com fluido supercrítico

4.2.1 - Determinação de isotermas de rendimento global

Os rendimentos globais de extração de óleo em função das condições operacionais de temperatura e pressão estão representados na **Tabela 8** e **Figura 8**, onde observa-se maior e menor rendimento de extração na condição de 343,15 K/49 MPa e 323,15 K/35 Mpa. Não houve diferença significativa, do ponto de vista estatístico, entre o maior (51,74 \pm 0,06%) e o menor (50,14 \pm 0,01%) rendimento. A densidade do CO₂ nas condições experimentais utilizadas tem o valor constante de aproximadamente 900 kg/m³ obtido do NIST Chemistry Webbook (NIST Standard Reference Database). A densidade é uma propriedade responsável pela capacidade solvente dos fluidos supercríticos, aumentando a densidade do solvente aumenta seu poder de solvatação. Porém em densidade constante pouca influência da temperatura e da pressão no rendimento global eram esperados. Resultados similares foram obtidos por Silva et al. (2019) e Batista et al. (2016) que obtiveram o rendimento de extração de óleo de açaí de 57,06 \pm 0,03% e 40,81 %, nas mesmas condições de pressão e temperatura consideradas neste presente trabalho. Porém, é válido ressaltar que, apesar de Silva et al. (2019) e Batista et al. (2016) terem utilizado açaí da espécie *Euterpe oleraceae*, a diferença nos rendimentos de extração pode ter sido influenciada por fatores externos associados com o local de coleta, condição de plantio, grau de maturação e período de colheita do fruto (BENLLOCH-GONZÁLEZ et al., 2019).

Em uma análise comparativa com outros autores que aplicaram a tecnologia com dióxido de carbono supercrítico para obter óleo vegetal de frutos típicos de palmeira da Amazônia como *Endopleura uchi* (PINTO et al., 2020), *Oenocarpus distichus* Mart. (CUNHA et al., 2019), *Byrsonima crassifolia* (PIRES et al., 2019) e *Astrocaryum vulgare*

(MENEZES et al., 2022), com rendimentos de $24,48 \pm 0,20\%$, $45,90 \pm 0,15\%$, $9,12 \pm 0,08\%$ e $31,49 \pm 0,04\%$, pode-se constatar a eficiência do dióxido de carbono supercrítico na solubilização e extração do óleo de açaí que teve rendimento de $50,14 \pm 0,01\%$. Este resultado evidencia a eficiência da tecnologia supercrítica com dióxido de carbono como solvente de extração do óleo de açaí, se for considerada a remoção quase integral dos lipídeos inicialmente identificados na composição centesimal. Após a extração do óleo de açaí com dióxido de carbono supercrítico, obteve-se a polpa sem gordura.

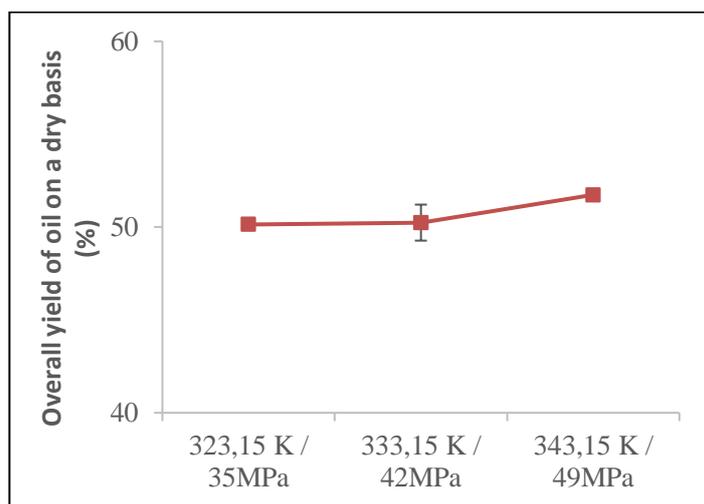


Figura 8. Rendimento global do óleo de açaí em base seca a partir da extração supercrítica com CO₂. Fonte: Autor(a).

Não foram feitos os perfis de ácidos graxos dos óleos de açaí obtidos neste trabalho por CO₂-SE nas condições 323,15 K/35MPa, 333,15 K/42MPa e 343,15 K/49MPa. De acordo com a literatura não há diferença significativa no conteúdo de ácidos graxos para as condições operacionais estudadas. O efeito na composição de ácidos graxos do óleo do açaí foi mais acentuado pela localização geográfica do que pelas condições operacionais do CO₂-SE (SILVA et al., 2019).

4.3 - Caracterização físico-química do óleo de açaí

Tabela 7 - Valores de parâmetros físico-químicos de óleo de açaí

Parâmetros físico-químicos	Valores
Densidade a 25°C (g.cm ³)	0,9102±0,00
Viscosidade (mPa.S)	78,80±0,094
Índice de Acidez (mg KOH.g-1)	0,32±0,037
Índice de Iodo (g I ₂ /100g)	102,14±1,62
Índice de Peróxidos (meq O ₂ /kg-1)	7,02±0,256

Fonte: Autor(a).

A densidade é determinada pela relação entre a massa de uma substância e seu volume, expressa em gramas por centímetros cúbicos. O valor de densidade do óleo de açaí obtido foi (0,9102 g/cm³) como mostra a **Tabela 7**. Valores iguais ao presente estudo foram encontrados para o óleo de açaí por Guimarães et al. (2020) e valores maiores por Pereira (2015). De acordo com Ribeiro & Seravalli (2004), a medida de densidade do óleo está relacionada ao grau de ligações duplas ou triplas, ou seja, quanto menor for o peso molecular do óleo, maior é o grau de insaturações.

A viscosidade é um parâmetro que está correlacionado com o tamanho da cadeia carbônica da molécula e também pelo grau de saturação da mesma. O valor de viscosidade do óleo de açaí obtido foi 78,80 mPa.S como mostra a **Tabela 7**. A viscosidade do óleo obtidos no presente estudo é superior aos encontrados para o óleo de açaí por Alves et al. (2015) e Guimarães et al. (2020). A alta viscosidade dos óleos, se deve às atrações intermoleculares das grandes cadeias dos ácidos graxos, que constituem os triglicerídeos. Em geral, a viscosidade dos óleos decresce ligeiramente com o aumento do seu grau de insaturação, pois a hidrogenação provoca um pequeno aumento da viscosidade (ALVARADO, 2001).

Um parâmetro de grande importância em óleos é o índice de acidez, o qual indica as condições de conservação do óleo, uma vez que as reações de rancidez hidrolítica que promovem a hidrólise dos triglicerídeos liberam ácidos graxos livres, aumentando o índice de acidez dos óleos (MORETTO; FETT, 1998; OBASI et al., 2012). O índice de acidez do óleo de açaí foi 0,32 mg KOH g-1 como mostra a **Tabela 7**, o qual é considerado

um valor baixo e está de acordo com a resolução nº 270 (ANVISA, 2021), os óleos prensados a frio e não refinados para serem consumidos, devem obter acidez máxima 4,0 mg KOH /g-1. O índice de acidez do óleo obtidos no presente estudo é inferior aos encontrados para o óleo de açaí por Castro et al. (2021) e Alves et al. (2015).

O índice de peróxido é descrito como parâmetro referencial para determinar a qualidade da conservação de óleo e é bastante utilizado para medir o estado de oxidação de óleos e gorduras, de acordo com Malacrida (2003). O índice de peróxido do óleo de açaí foi 7,02 meq O₂/kg como mostra a **Tabela 7**, e está de acordo com a resolução nº 270 (ANVISA, 2021), os óleos prensados a frio e não refinados para serem consumidos, devem obter índice de peróxido máximo de 15 meq O₂/kg. O índice de peróxido do óleo obtido no presente estudo é inferior aos encontrados para o óleo de açaí por Alves et al. (2015) e Guimarães et al. (2020).

O índice de iodo é um parâmetro que é usado para medir o grau de insaturação de óleos e gorduras. Por isso, é um importante indicador da degradação da matéria graxa, sendo usado para determinar as propriedades químicas e físicas dos óleos (MELO, 2010). O óleo de açaí apresentou alto índice de iodo 102,14 g I₂/100g como mostra a **Tabela 7**, devido à quantidade de insaturações presentes nos ácidos graxos. O índice de iodo do óleo obtido no presente estudo é superior aos encontrados para o óleo de açaí por Pereira (2015) e Guimarães et al. (2020).

4.4 - Determinação do teor de compostos fenólicos da polpa sem gordura do açaí

O teor total de compostos fenólicos da polpa sem gordura foi concentrado com relação a polpa liofilizada ($77,51 \pm 0,54$) mg GAE / g b.s. após a extração supercrítica, variando de ($150,20 \pm 1,32$ a $96,43 \pm 0,46$) mg GAE / g b.s., conforme a **Tabela 8**. Foi observado também que houve variação significativa nas condições analisadas, cujo o maior conteúdo de compostos fenólicos está na menor condição de temperatura e pressão (323,15 K a 35 MPa) e menor conteúdo para (343,15 K a 49 Mpa). Com o aumento da pressão e temperatura observou-se dois efeitos: a) O aumento da pressão diminuiu os teores de compostos fenólicos e isso possivelmente ocorreu devido ao fato de que o aumento da pressão facilitou a oxidação enzimática das polpas sem gordura (TEREFE et al., 2013); b) Com o aumento da temperatura teve a degradação dos compostos

termossensíveis. Esse comportamento também foi observado por Batista et al. (2016) para polpa de açaí sem gordura, obtida nas mesmas condições de extração do presente estudo. Além disso, os níveis de compostos fenólicos desse trabalho são superiores aos encontrados para as polpas sem gordura de murici (*Byrsonima crassifolia*) (PIRES et al., 2021), e para as sementes de cominho preto desengordurada (*Nigella sativa* L.) (GUEFFAI et al., 2022). Logo, o produto obtido pode ser utilizado, não apenas por conta da classe de antocianinas, classe majoritária, dos compostos fenólicos mas também pelos outros compostos conhecidos como Non-anthocyanins, por seus efeitos antioxidantes (3,4 ácidos diidroxibenzóico, p-diidroxibenzóico, isoferúlico, siringaresinol, p-cumárico), antimicrobianos (ácido vanílico), terapêuticos (ácido cafeico) e anti-inflamatórios (isoorientina e orientina) (LAM et al., 2016; REGINALDO et al., 2019; SHIM et al., 2020; KALINOWSKA et al., 2021; ALAM et al., 2022; CHOI et al., 2022; MAISCH et al., 2022). Ressalta-se que a utilização da polpa sem gordura de açaí, pode abranger as indústrias de cosméticos e alimentícias como já vem sendo aplicado em formulações para outras matrizes vegetais, como Uva (*Vitis vinífera*), Romã (*Punica granatum*), Chá verde (*Camellia sinensis*) e Pycnogenol (substância extraída da casca do pinheiro francês) (SCHOONEES et al., 2012; ALBUQUERQUE et al., 2021). A indústria farmacêutica também configura outro ramo de aplicação do produto obtido (ALBUQUERQUE et al., 2021), uma vez que há estudos sugerindo a extração desses compostos de outras matérias-primas para investimento neste ramo, como por exemplo a extração de compostos fenólicos de subprodutos do café (BONDAM et al., 2022).

4.5 - Determinação do teor de antocianinas totais da polpa sem gordura do açaí

O teor total de antocianinas da polpa sem gordura foi concentrado com relação a polpa liofilizada ((693,85 ± 2,03) mg / 100 g b.s.) após a extração nas diferentes condições de operação, variando de (1330,50 ± 11,05 a 1384,39 ± 64,72) mg / 100 g. Conforme a **Tabela 8** e a **Figura 9** não houve diferença significativa entre as condições analisadas, o que indica que o aumento da temperatura e da pressão não influenciaram no teor de antocianinas. Esse comportamento também foi observado em algumas localidades por Silva et al. (2019) e valores muito maiores foram encontrados nesse estudo em relação ao encontrado por Batista et al. (2016) para polpa de açaí sem gordura obtida nas mesmas condições de extração do presente estudo. A diferença nos teores de

antocianinas pode ter sido influenciada por fatores externos associados com o local de coleta, condição de plantio, grau de maturação e período de colheita do fruto (BENLLOCH-GONZÁLEZ et al., 2019). Visando a aplicação industrial deste produto, esses teores de antocianinas encontrados nas polpas sem gordura de açaí indicam um grande potencial para aplicabilidade em nutracêuticos (LUO et al., 2022), pois sua concentração neste trabalho é superior as principais matérias primas consideradas fonte de antocianinas, como mulberries, black chokeberries, black elderberries, blackberries, strawberries, black grapes, blueberries, entre outras que variam de 1 a 704 mg / 100 g. Ainda no âmbito alimentício, essa aplicação influenciaria na formulação de suplementações antioxidantes, e também no uso de pigmentos de origem natural como corantes, devido às suas características específicas desse composto (ZHA, 2017). Além disso, tem capacidade de eliminação de radicais livres e a ação em uma série de enzimas como ciclooxygenase e proteína quinase ativada por mitógeno, e na sinalização de citocinas inflamatórias (MATTIOLI et al., 2020), demonstraram também que há indicativo na prevenção e no auxílio ao combate de doenças o que indica possíveis aplicações farmacológicas (YAMAGUCHI et al., 2015). A indústria de cosméticos também é outro alvo de aplicabilidade desse produto devido teores altamente superiores aos já encontrados no mercado, que já utiliza esse composto proveniente da batata-doce roxa na formulação de um produto cosmético na concentração de 0,61 mg / 100 g de creme (Liao, 2010). Dessa forma, deduz-se alta aplicabilidade da polpa sem gordura de açaí no mercado devido suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

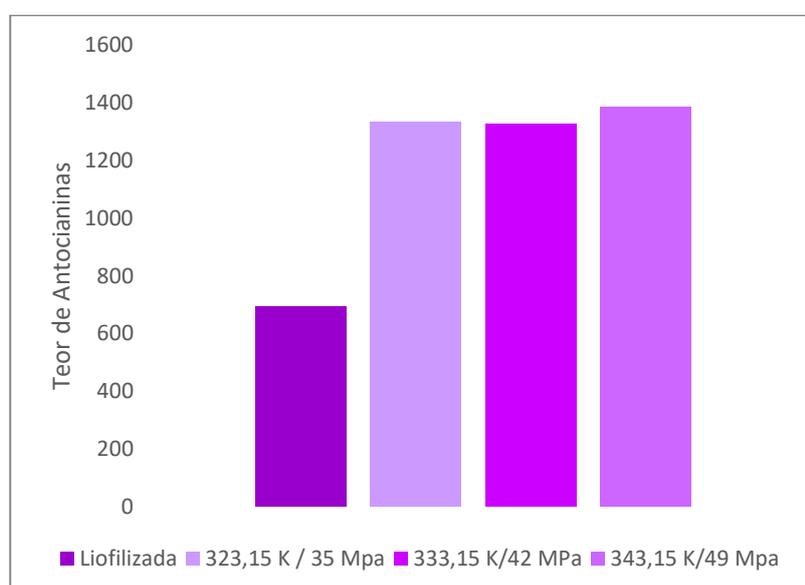


Figura 9. Teor de antocianinas na polpa de açaí liofilizada e nas polpas após extração com CO₂.

Fonte: O autor

4.6 - Determinação do teor de carotenoides totais dos óleos de açaí

O teor de carotenoides dos óleos de açaí pôde ser expresso após a extração supercrítica nas diferentes condições, variando de $(250,40 \pm 2,10) \mu\text{g} / \text{g b.s}$ a $(277,03 \pm 3,65) \mu\text{g} / \text{g b.s}$, como mostra a **Tabela 8**. Houve influência significativa nas condições analisadas. O menor conteúdo de carotenoides foi obtido na condição de temperatura e pressão (333,15 K a 42 MPa) e o maior valor foi na maior condição de temperatura e pressão (343,15 K a 49 MPa). O maior teor de carotenoide na maior condição também foi observado por Pires et al. (2021) para o óleo de Murici, obtida na mesma condição de extração do presente estudo. Os valores encontrados foram maiores do que os encontrados por da Cunha et al. (2019) para o óleo extraído por prensagem a frio e a quente da palmeira *Euterpe edulis* e do que os encontrados por Santos, Alves e Roca para o óleo extraído pelo método tradicional de soxhlet da palmeira *Attalea maripa* (GUEFFAI, 2022). É importante ressaltar também que esses compostos são conhecidos devido sua coloração laranja, vermelha, amarela e assim são explorados em matérias primas como buriti, tucumã, pupunha (MARCELINO, 2022; MENEZES et al., 2022; MONTEIRO, 2021; SUN, 2022). No entanto, apesar do açaí possuir a coloração in natura roxa ou preta, possui a particularidade de seu óleo ter a coloração que varia do amarelo ao verde, o que indica que o fruto é uma possível fonte de carotenoides, e que o óleo obtido pode ser utilizado industrialmente devido sua ação antioxidante e fotoprotetora (TORMA et al., 2016). Por essas características, na indústria de alimentos, o consumo de carotenoides implica na resistência mecânica de células e o óleo deste fruto pode ser utilizado como azeite, cuja a composição química se aproxima do azeite de oliva que já é amplamente utilizado, devido a sua volumosa quantidade de ácidos graxos monoinsaturados e poliinsaturados (ALEXANDRE et al., 2004; DO NASCIMENTO et al., 2008; MARTINS et al., 2021). Além disso, segundo Duncan (2010) o carotenoide com maior porcentagem encontrado no óleo de açaí é o β -caroteno, composto que vem sendo indicado com ampla gama de aplicações cosméticas, já que estudos sugerem que o uso tópico de β -caroteno em camundongos e porquinhos-da-índia revelou propriedades protetoras contra a radiação UVA. Na indústria farmacológica, o β -caroteno também já

vem sendo utilizado em suplementos vitamínicos e minerais orais para pré-natal / pós-parto, que influenciam na redução da fotossensibilidade em pacientes com protoporfiria eritropoiética e outras doenças de fotossensibilidade, o que demonstra mais um ramo de aplicação do produto obtido (ARCT & MIELOCH, 2016). A utilidade dos carotenoides vem sendo associada também em aplicações nutri cosméticas (MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, 2019), ou seja, no consumo oral de produtos contendo componentes alimentares para fins cosméticos. Nesse contexto, dezenove nutri cosméticos foram analisados pela literatura e em geral esses suplementos contêm entre 0,01 e 18,22 mg (PEIXOTO, 2013). O que evidencia, mais uma vez, que o óleo de açaí pode ser utilizado como uma nova fonte de carotenoides, por conta do teor desse composto bioativo no produto.

4.7 - Atividade antioxidante dos óleos e polpas sem gordura do açaí

4.7.1 - Método DPPH

A atividade antioxidante das polpas sem gordura para o método DPPH foi concentrada a partir da polpa liofilizada ($289,08 \pm 6,83$) $\mu\text{mol TE} / \text{g b.s.}$ Após a extração nas diferentes condições de operação, variando de ($414,99 \pm 5,02$) $\mu\text{mol TE} / \text{g b.s.}$ a ($362,71 \pm 5,07$) $\mu\text{mol TE} / \text{g b.s.}$, conforme a **Tabela 8**. Para as polpas sem gordura, ressalta-se que houve variação significativa para este ensaio, cujo maior valor obtido foi na menor condição de temperatura e pressão (323,15 K a 35 MPa) e o menor valor na maior condição de temperatura e pressão (343,15 K a 49 MPa). Pode-se observar que o aumento da temperatura e da pressão diminuiu a atividade antioxidante da polpa sem gordura e esse comportamento também foi observado por Pires et al. (2021) para polpa de Murici sem gordura, obtida nas mesmas condições de extração do presente estudo. Os resultados encontrados neste trabalho, são menores aos encontrados na literatura ($707,56 \pm 19,12$) $\mu\text{mol Trolox} / \text{g}$ (SILVA et al. 2019), e isto pode ser explicado pela diferença do local de coleta, condição de plantio, grau de maturação e período de colheita do fruto (BENLLOCH-GONZÁLEZ, 2019). De igual modo, apesar de valores distintos, tais resultados configuram valores satisfatórios de atividades antioxidantes da polpa sem gordura. A diminuição da atividade antioxidante com o aumento da temperatura e da pressão das condições operacionais estudadas indica o mesmo comportamento dos compostos fenólicos, logo estes compostos foram os principais contribuintes para a atividade antioxidante por este método. Os mesmos compostos foram relatados como

principais contribuintes da alta atividade antioxidante do açaí (MARINOVA et al., 2019). O comportamento entre os métodos de DPPH e FRAP é o mesmo e isso se explica pelos mecanismos de ação dos métodos iguais, a transferência de elétrons (HUANG; OU; PRIOR, 2005).

Para o óleo de açaí obtido, a atividade antioxidante para este método variou de $(2,02 \pm 0,07) \mu\text{mol TE} / \text{g b.s.}$ a $(2,55 \pm 0,14) \mu\text{mol TE} / \text{g b.s.}$, conforme a **Tabela 8** e houve diferença significativa, cujo menor valor obtido foi na menor condição de temperatura e pressão (323,15 K a 35 MPa) e o maior valor na maior condição de temperatura e pressão (343,15 K a 49 MPa). Os resultados encontrados neste trabalho são menores que o encontrado por Pires et al. (2021) para o óleo de Murici. Observou-se que a atividade antioxidante teve o mesmo comportamento dos ensaios de ABTS, uma vez que se verificou um aumento dessa atividade com o aumento da temperatura e pressão. Este resultado pode ser explicado pelos métodos incluírem reação de transferência de elétrons (BRAND-WILLIAMS, CUVELIER & BERSET, 1995; IRIS & BENZIE, 1996; ROBERTA et al., 1999). Assim, ambos os produtos obtidos pela tecnologia supercrítica apresentaram valores satisfatórios por este método, o que permite dizer que eles são boas fontes de compostos antioxidantes.

4.7.2 - Método ABTS

A atividade antioxidante da polpa sem gordura para o método ABTS foi concentrada a partir da polpa liofilizada $(385,92 \pm 8,90) \mu\text{mol TE} / \text{g b.s.}$ após a extração com CO_2 supercrítico nas diferentes condições de operação, variando de $(554,53 \pm 7,68) \mu\text{mol TE} / \text{g b.s.}$ a $(644,23 \pm 7,23) \mu\text{mol TE} / \text{g b.s.}$, como mostra a **Tabela 8**. Observa-se que houve uma variação significativa nas condições utilizadas para a atividade antioxidante deste método, cujo menor valor obtido foi na menor condição de temperatura e pressão (323,15 K a 35 MPa) e o maior valor foi na maior condição de temperatura e pressão (343,15 K a 49 MPa). Os resultados encontrados neste trabalho são superiores aos encontrados na literatura, que variam de $(9,10 \pm 0,40) \mu\text{mol Trolox} / \text{g}$ a $(9,40 \pm 0,20) \mu\text{mol Trolox} / \text{g}$ (KUSKOSKI et al., 2005). Com relação as polpas sem gordura, observou-se que a atividade antioxidante teve um comportamento distinto de compostos fenólicos, antocianinas totais e ensaios de DPPH e FRAP, uma vez que se verificou um aumento dessa atividade com o aumento de temperatura e pressão. De acordo com a literatura apesar desse método também incluir reação de transferência de elétrons, existem outras possíveis explicações para que as mesmas amostras não

obtenham o mesmo resultado para todas as metodologias, podendo ser, por diferentes características e mecanismo de ação dos compostos bioativos das amostras e os reagentes (BRAND-WILLIAMS, CUVELIER & BERSET, 1995; IRIS & BENZIE, 1996; ROBERTA et al., 1999; MELO et al., 2006).

Para os óleos do açaí a atividade antioxidante para este método variou de $(2,05 \pm 0,04)$ $\mu\text{mol TE} / \text{g b.s.}$ a $(2,60 \pm 0,05)$ $\mu\text{mol TE} / \text{g b.s.}$, conforme a **Tabela 8** e houve diferença significativa. O valor alcançado nesse estudo para atividade antioxidante pelo método ABTS é superior daquele encontrado por Pinto et al. (2018), para o óleo de bacaba extraído na mesma condição de extração trabalhada (333,14 K a 42 MPa). Observou-se que a atividade antioxidante teve o mesmo comportamento dos ensaios de DPPH, uma vez que se verificou um aumento dessa atividade com o aumento da temperatura e pressão. Este resultado pode ser explicado pelos métodos incluírem reação de transferência de elétrons (BRAND-WILLIAMS, CUVELIER & BERSET, 1995; IRIS & BENZIE, 1996; ROBERTA et al., 1999). Assim, ambos os produtos obtidos pela tecnologia supercrítica apresentaram valores satisfatórios por este método, indicando excelente fontes de antioxidantes.

4.7.3 - Método FRAP

A atividade antioxidante das polpas sem gordura para o método FRAP foi concentrada a partir da polpa liofilizada $(500,35 \pm 8,66)$ $\mu\text{m de Sulfato Ferroso} / \text{g b.s.}$ após a extração nas diferentes condições de operação, variando de $(746,25 \pm 3,82)$ $\mu\text{m de Sulfato Ferroso} / \text{g b.s.}$ a $(653,13 \pm 9,97)$ $\mu\text{m de Sulfato Ferroso} / \text{g b.s.}$, conforme a **Tabela 8**. Para as polpas sem gordura, ressalta-se que houve variação significativa para este ensaio, cujo maior valor obtido foi na menor condição de temperatura e pressão (323,15 K a 35 MPa) e o menor valor na maior condição de temperatura e pressão (343,15 K a 49 MPa). A atividade antioxidante de muitos frutos surge da ação sinérgica combinada de uma mistura de compostos, incluindo compostos fenólicos, carotenoides e vitamina C e E. No entanto, em frutas como o açaí, que contêm quantidades relativamente pequenas dessas vitaminas, os ácidos fenólicos, flavonoides e antocianinas são os principais contribuintes para a atividade antioxidante (RUFINO et al., 2010; BORGES et al., 2013). A diminuição da atividade antioxidante medida pela capacidade redutora de Fe^{3+} com o aumento da temperatura e da pressão das condições operacionais estudadas indica uma forte correlação entre elas e o mesmo comportamento de compostos fenólicos, logo estes compostos foram os principais contribuintes para a atividade

antioxidante. O mesmo comportamento foi observado para o Patauá no estudo de Hidalgo et al. (2016). O comportamento entre os métodos de DPPH e FRAP é o mesmo e isso se explica pelos mecanismos de ação dos métodos iguais, a transferência de elétrons (HUANG; OU; PRIOR, 2005).

Para o óleo de açaí obtido, a atividade antioxidante para este método variou de $(9,95 \pm 0,89) \mu\text{mol TE} / \text{g b.s.}$ a $(15,25 \pm 1,69) \mu\text{mol TE} / \text{g b.s.}$, conforme a **Tabela 8** e houve diferença significativa, cujo menor valor obtido foi na condição de temperatura e pressão (333,15 K a 42 MPa) e o maior valor na maior condição de temperatura e pressão (343,15 K a 49 MPa). Observou-se que a atividade antioxidante não teve o mesmo comportamento dos ensaios de ABTS e DPPH. De acordo com a literatura apesar desse método também incluir reação de transferência de elétrons, existem outras possíveis explicações para que as mesmas amostras não obtenham o mesmo resultado para todas as metodologias, podendo ser, por diferentes características e mecanismo de ação dos compostos bioativos das amostras e os reagentes (BRAND-WILLIAMS, CUVELIER & BERSET, 1995; IRIS & BENZIE, 1996; ROBERTA et al., 1999; MELO et al., 2006). Assim, ambos os produtos obtidos pela tecnologia supercrítica apresentaram valores satisfatórios por este método, o que permite dizer que eles são boas fontes de antioxidantes.

Tabela 8 - Condições operacionais da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*) por CO₂-SFE e caracterização das polpas sem gordura e dos óleos.

Amostra	T (K)	P (MPa)	Rendimento(% b.s.)	Compostos Fenólicos (mg GAE / g b.s.)	Antocianina (mg / 100 g b.s.)	Carotenoides (µg / g b.s)	DPPH (µmol TE / g b.s.)	ABTS (µmol TE / g b.s.)	FRAP (µm de sulfato ferroso / g b.s.)
Polpa liofilizada	-	-	-	77,51 ± 0,54 ^d	693,85 ± 2,03 ^b	-	289,08 ± 6,83 ^d	385,92 ± 8,90 ^d	500,35 ± 8,66 ^c
Polpa sem gordura	323,15	35	n.d	150,20 ± 1,32 ^a	1330,50 ± 11,05 ^a	n.d	414,99 ± 5,02 ^a	554,53 ± 7,68 ^c	746,25 ± 3,82 ^a
	333,15	42	n.d	109,14 ± 0,72 ^b	1324,82 ± 55,44 ^a	n.d	388,93 ± 4,65 ^b	589,74 ± 0,00 ^b	726,15 ± 6,79 ^a
	343,15	49	n.d	96,43 ± 0,46 ^c	1384,39 ± 64,72 ^a	n.d	362,71 ± 5,07 ^c	644,23 ± 7,23 ^a	653,13 ± 9,97 ^b
Óleos	323,15	35	50,14 ± 0,01 ^b	n.d	n.d	250,40 ± 2,10 ^b	2,02 ± 0,07 ^b	2,05 ± 0,04 ^c	9,95 ± 0,89 ^b
	333,15	42	50,24 ± 0,97 ^b	n.d	n.d	246,22 ± 2,51 ^c	2,40 ± 0,11 ^a	2,24 ± 0,11 ^b	5,50 ± 9,97 ^c
	343,15	49	51,74 ± 0,06 ^a	n.d	n.d	277,09 ± 3,65 ^a	2,55 ± 0,14 ^a	2,60 ± 0,05 ^a	15,25 ± 1,69 ^a

(Letras diferentes na mesma coluna, por amostra, apresentaram diferenças de nível de significância de 5 % - $p < 0,05$; n.d: não detectado). Fonte: Autor(a).

4.8 - Atividade citotóxica do óleo e da polpa sem gordura obtidos da extração com CO₂

Para o desenvolvimento de produtos alimentícios, cosméticos e farmacêuticos, a avaliação de citotoxicidade é importante para avaliar as concentrações de uso de compostos bioativos. Para esse ensaio de citotoxicidade, foram utilizados o óleo e a polpa sem gordura para a melhor condição de extração escolhida (323,15 K a 35 MPa) conforme a metodologia apresentada anteriormente. Os dados para os ensaios de citotoxicidade para o óleo são mostrados na **Figura 10** e para a polpa sem gordura na **Figura 11**. De acordo com a **Figura 10**, o percentual de viabilidade celular variou de 96 a 100 % para MRC-5 e de 100 a 103 % para VERO. Observou-se que não houve variação significativa na viabilidade celular, assim o óleo de açaí extraído na condição analisada por este método não apresentou citotoxicidade sobre as linhagens de células normais

testadas. Com relação à polpa sem gordura do açaí, o percentual de viabilidade celular variou de 86 a 99% para células MRC-5 e 88 a 102 % para células VERO, como mostra a **Figura 11**. Essa diferença no percentual de viabilidade pode ser explicada de acordo com recentes estudos, que supõem que ensaios MTT podem interferir com o meio de cultura celular (KAMILOGLU et al., 2020). No entanto, os resultados obtidos mostram que mesmo em concentrações maiores da polpa sem gordura, a viabilidade das células se mantém muito semelhante ao controle sem tratamento, próximo a 100%, diferente da literatura que com a utilização de etanol como solvente para a extração de antocianinas, demonstrou citotoxicidade em certas concentrações de extratos brutos e semi-purificados de amora (ELISIA et al., 2008). A extração supercrítica demonstra-se, portanto, uma tecnologia ideal na obtenção de produtos atóxicos, o que já vem sendo estudado conforme a literatura (PINTO et al., 2018; DURDEVIĆ et al., 2018; GHAFAR et al., 2013; ELGNDI et al., 2017). Nesse sentido, os dados apontam que o óleo e a polpa sem gordura do açaí, sob a condição de extração com CO₂ supercrítico analisada e nesse teor de concentração, não produzem efeitos nas células MRC-5 e VERO, o que pode indicar o uso seguro destes produtos em aplicações futuras, nas áreas de cosmética, farmacêutica e alimentícia.

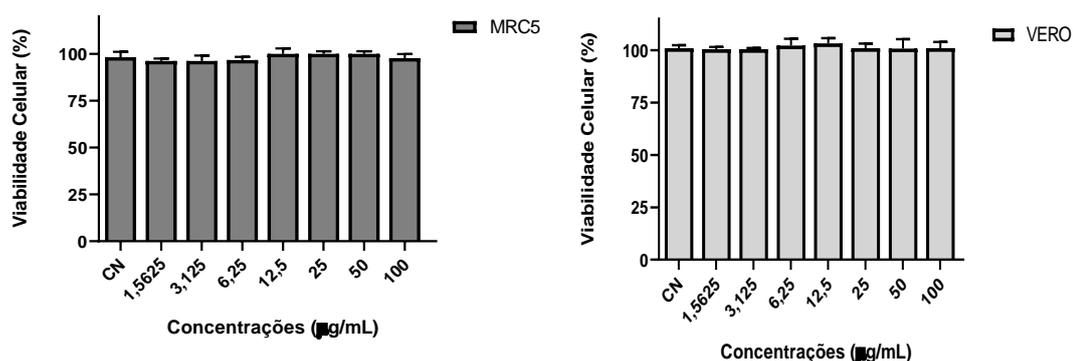


Figura 10: Efeito do óleo de açaí (*Euterpe oleracea*) na viabilidade celular de células normais MRC5 e VERO, após 72 horas de tratamento (os resultados são expressos como a média de três replicatas e porcentagem de viabilidade em comparação com o controle negativo). $P < 0,05$. Fonte: Autor(a).

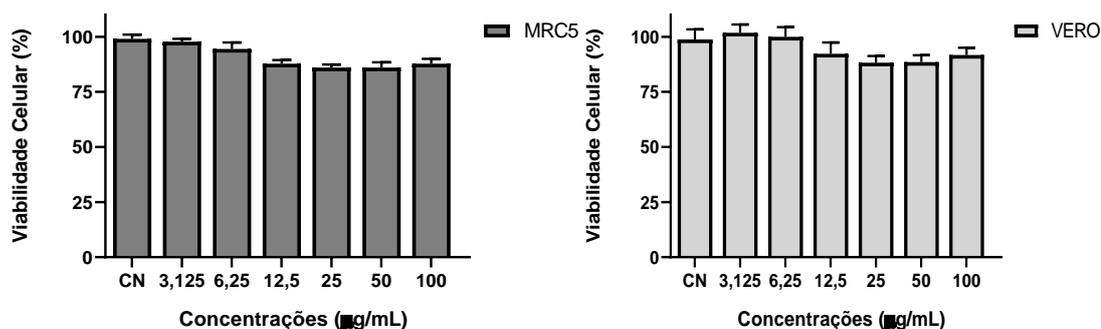


Figura 11: Efeito da polpa sem gordura do açai (*Euterpe oleracea*) na viabilidade celular de células normais MRC5 e VERO, após 72 horas de tratamento (os resultados são expressos como a média de três replicatas e porcentagem de viabilidade em comparação com o controle negativo). $P < 0,05$. Fonte: Autor(a).

4.9 - Vida de prateleira da polpa liofilizada do açai

A degradação das antocianinas presente na polpa de açai liofilizada foi analisada durante tempos de exposição, com dois ambientes diferentes, primeiro em um Becker e o segundo ambiente em embalagens sachê de alumínio, uma selada e outra selada a vácuo. As análises foram feitas uma vez por semana durante um mês.

De acordo com a **Figura 12** foi observado que os dois ambientes testados promoveram a degradação da polpa liofilizada de açai. A degradação do teor de antocianinas totais da polpa liofilizada de açai na ausência de luz ocorreu de forma bem mais lenta, tanto para a embalagem selada quanto para a selada a vácuo, quando comparado com a presença da luz em um Becker, que ocorreu a degradação de forma muito mais rápida. Pode-se observar que a presença de luz e oxigênio interferiu negativamente na estabilidade das antocianinas da polpa de açai liofilizada. Os principais fatores que influenciam a estabilidade das antocianinas são: a própria estrutura química, o pH, a temperatura, a luz, a presença de oxigênio, a degradação enzimática e as interações entre os componentes dos alimentos, tais como ácido ascórbico, íons metálicos, açúcares e copigmentos (PACHECOPALENIA & TALCOTTI, 2010).

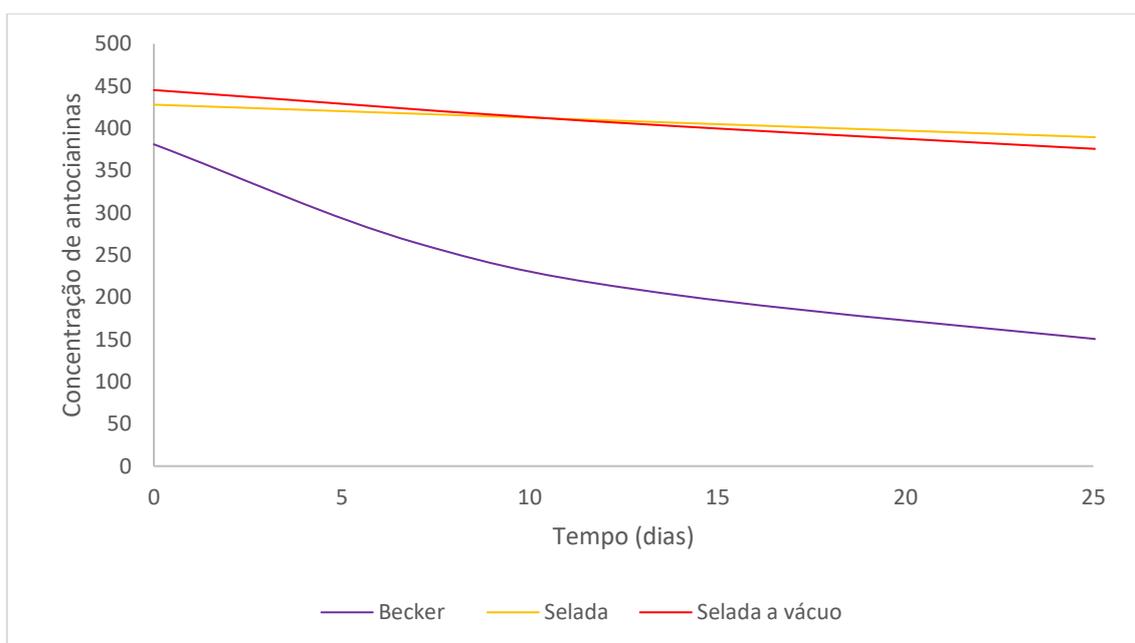


Figura 12. Cinética de degradação das antocianinas ao longo do estudo da estabilidade da polpa de açaí liofilizada.

Fonte: O autor

Na **Tabela 9** estão apresentados os parâmetros cinéticos para a degradação dos teores de antocianinas durante a estabilidade da polpa de açaí liofilizada. Neste estudo, os resultados de degradação obtidos foram testados nos modelos de ordem zero, primeira ordem e segunda ordem.

Tabela 9: Parâmetros cinéticos para a degradação dos teores de antocianinas da polpa liofilizada.

Ambiente	Ordem	k	R ²	t (1/2) dias
(Becker)	0	8,71903745	0,83	21,85
	1°	0,0367128	0,86	18,88
	2°	0,00016616	0,88	15,80
(Embalagem selada)	0	1,53870079	0,89	139,06
	1°	0,00382895	0,88	181,03
	2°	9,5417E-06	0,87	244,90
(Embalagem selada a vácuo)	0	2,3640029	0,86	94,17
	1°	0,00633762	0,89	109,37
	2°	1,7154E-05	0,91	130,94

Fonte: O autor (a).

De acordo com os resultados da **Tabela 9**, observa-se que a degradação da polpa de açaí liofilizada, para os ambientes testados, pode ser descrita para cada ordem de reação, com base nos parâmetros estatísticos. De posse do valor encontrado para a velocidade de degradação para a polpa de açaí liofilizada, é possível calcular o tempo de meia vida ($t_{1/2}$) como mostra a **Tabela 9**.

De acordo com a **Tabela 9**, a polpa de açaí liofilizada nas embalagens e ao abrigo da luz manteve-se mais estável que a submetida à luminosidade, conforme esperado, uma vez que a luz e a presença de oxigênio têm efeito nocivo para as antocianinas. Resultados inferiores a esse trabalho em relação a $t_{1/2}$ foram encontrados por (ALBARICI, VALETA & PESSOA, 2007) que estudaram a degradação da polpa de açaí liofilizada.

A perda de 50% (tempo de meia-vida) dos teores de antocianinas totais ocorreria, portanto, como mostra a **Tabela 9** após 15,80 dias para a polpa liofilizada no Becker submetido ao efeito da luz e após 130,94 dias para a polpa liofilizada na embalagem selada a vácuo e 244,90 dias para a embalagem selada ao abrigo da luz, para segunda ordem de reação por exemplo e seguindo o mesmo comportamento nas outras ordens de reação, demonstrando a maior instabilidade da polpa liofilizada à luminosidade e quanto as embalagens selada com maior tempo de meia vida comparada com a selada a vácuo.

4.10 - Vida de prateleira da polpa sem gordura do açaí

A degradação das antocianinas presente na polpa de açaí sem gordura foi analisada durante tempos de exposição, com dois ambientes diferentes, em um Becker e o segundo ambiente em embalagens sachê de alumínio, uma selada e outra selada a vácuo. As análises foram feitas uma vez por semana durante um mês.

De acordo com a **Figura 13** foi observado que os dois ambientes testados promoveram a degradação da polpa sem gordura de açaí. A degradação do teor de antocianinas totais da polpa sem gordura de açaí na ausência de luz ocorreu de forma bem mais lenta, tanto para a embalagem selada quanto para a selada a vácuo, quando comparado com a presença da luz em um Becker, que ocorreu a degradação de forma muito mais rápida. Pode-se observar que a presença de luz e oxigênio interferiu negativamente na estabilidade das antocianinas da polpa de açaí sem gordura. A

estabilidade das antocianinas é afetada por diversos fatores, tais como PH, temperatura de armazenamento, estrutura química, concentração, luz, oxigênio, solventes, presença de enzimas, ente outros (CASTANEDA-OVANDO et al., 2009).

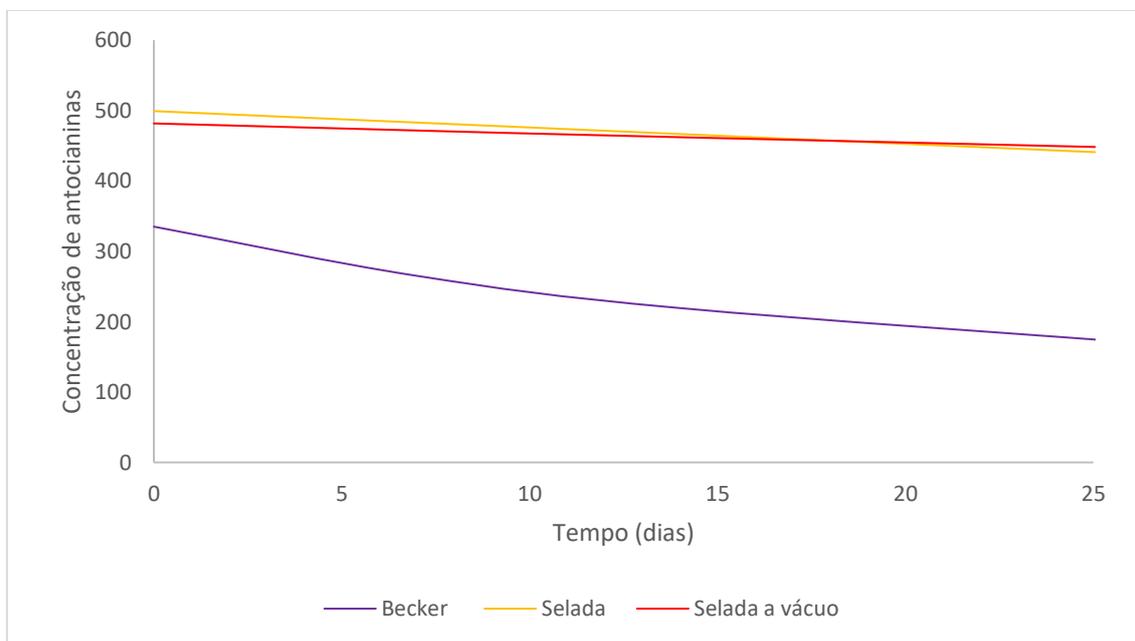


Figura 13. Cinética de degradação das antocianinas ao longo do estudo da estabilidade da polpa de açaí sem gordura. Fonte: O autor

Na **Tabela 10** estão apresentados os parâmetros cinéticos para a degradação dos teores de antocianinas durante a estabilidade da polpa de açaí sem gordura. Neste estudo, os resultados de degradação obtidos foram testados nos modelos de ordem zero, primeira ordem e segunda ordem.

Tabela 10: Parâmetros cinéticos para a degradação dos teores de antocianinas da polpa sem gordura.

Ambiente	Ordem	k	R ²	t (1/2) dias
(Becker)	0	6,95657143	0,91	24,08
	1°	0,027547	0,87	26,16
	2°	0,000112471	0,82	26,54
(Embalagem selada)	0	2,3271429	0,95	108,38
	1°	0,004872	0,95	142,28
	2°	1,03168E-05	0,96	194,20
(Embalagem selada a vácuo)	0	1,36271429	0,92	176,71
	1°	0,002923	0,92	237,36
	2°	0,000006278	0,91	331,12

Fonte: O autor (a).

De acordo com os resultados da **Tabela 10**, observa-se que a degradação da polpa de açaí sem gordura, para os ambientes testados, pode ser descrita para cada ordem de reação, com base nos parâmetros estatísticos. De posse do valor encontrado para a velocidade de degradação para a polpa de açaí sem gordura, é possível calcular o tempo de meia vida ($t_{1/2}$) como mostra a **Tabela 10**.

De acordo com a **Tabela 10**, a polpa de açaí sem gordura nas embalagens e ao abrigo da luz manteve-se mais estável do que a submetida à luminosidade, conforme esperado, uma vez que a luz e a presença de oxigênio têm efeito nocivo para as antocianinas. A perda de 50% (tempo de meia-vida) dos teores de antocianinas totais ocorreria, portanto, após 26,54 dias para a polpa sem gordura no Becker submetido ao efeito da luz e após 194,20 dias para a polpa sem gordura na embalagem selada e 331,12 dias para a embalagem selada a vácuo ao abrigo da luz, para segunda ordem de reação por exemplo e seguindo o mesmo comportamento nas outras ordens de reação, demonstrando a maior instabilidade da polpa sem gordura à luminosidade e quanto as embalagens a selada a vácuo com maior tempo de meia vida comparada com a selada. Este resultado pode ser justificado pois uma alta barreira a O₂ pode ser obtida por meio de acondicionamento a vácuo, que só é tecnicamente viável se a embalagem não for colapsável (FARIA, 1991). E a diferença dos resultados entre a polpa sem gordura e a liofilizada com embalagem selada e a selada a vácuo pode ser explicada, pois os produtos tem composição diferente e a interação entre os componentes dos alimentos também influenciam a estabilidade das antocianinas (PACHECOPALENCIA & TALCOTTI, 2010).

4.11 – Estabilidade do óleo de açaí

Neste estudo, a estabilidade à oxidação do óleo de açaí foi avaliada sob condições de oxidação acelerada usando um reator RapidOxy. Foram utilizadas três temperaturas 80, 100 e 120 °C e em seguida foram feitas as estimativas de vida de prateleira de acordo com as temperaturas utilizadas e o programa OxyLogger 100, que também nos dá a estimativa para temperaturas mais baixas e próximas do ambiente. Os resultados são mostrados na Figura 14 e na Tabela 11 abaixo:

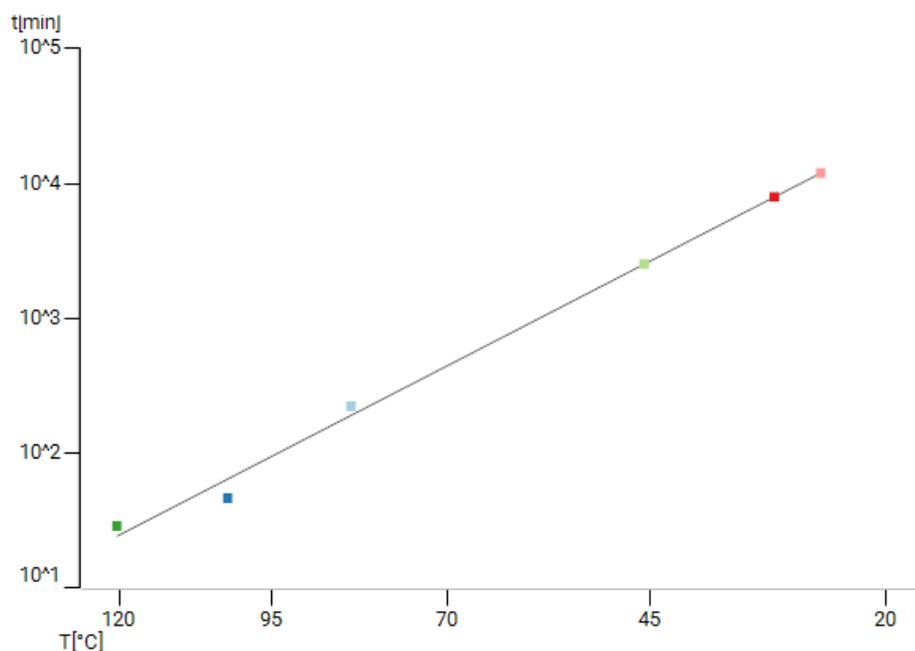


Figura 14. Estimativa de tempo de prateleira do óleo de açaí (queda de pressão).

Fonte: O autor(a)

Tabela 11: Estimativa de tempo de prateleira

Temperatura (°C)	Tempo de indução
120	29 min
100	47 min
80	3h e 45
40	1d e 8h
25	5d e 12h
20	8d e 6h

Fonte: O autor(a)

Os resultados são mostrados na **Figura 14** e na **Tabela 11**, que reflete o tempo de indução do óleo de açaí em diferentes temperaturas, na mesma pressão. Foi observado que o óleo de açaí com menor temperatura teve o maior tempo de indução (8d e 6h) e melhor estabilidade oxidativa, enquanto a maior temperatura teve o menor tempo de indução (29 min) e pior estabilidade oxidativa. Resultados semelhantes foram encontrados por Antoniassi, (2001), no qual os índices de estabilidade oxidativa sofreram redução com o aumento da temperatura para o óleo de macadâmia. Os resultados obtidos qualificam o óleo de açaí como óleo de mesa e não como óleo de fritura, já que a temperaturas mais altas ele sofre degradação mais rápido. Entre os fatores que afetam ou catalisam a oxidação dos lipídios, os mais importantes são: presença de insaturação nos ácidos graxos, luz, temperatura, presença de antioxidantes e de pró-oxidantes (como metais e clorofila), enzimas, metaloproteínas, microrganismos e condições de armazenamento. Tais fatores em conjunto afetam a oxidação de óleos, sendo complexo identificar seus efeitos individuais ((NAWAR, 1985; KOLAKOWSKA, 2002).

Vale ressaltar também que de acordo com a literatura os métodos de estabilidade acelerada apresentam validade restrita, pois à medida em que se submete a amostra ao aquecimento, à luz ou ao contato com metais muda-se o mecanismo da oxidação. Assim, os resultados obtidos sofrem desvios dos valores reais, já que o comportamento do óleo nestas condições será diferente das condições normais de estocagem (FRANKEL, 1993). Os resultados de vida de prateleira obtidos podem ter sido influenciados pelo óleo utilizado já ter sido extraído há muito tempo antes da análise e também por não ter sido armazenados em embalagens adequadas como a âmbar.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O maior rendimento global, teor de carotenoides e atividade antioxidante para o método DPPH, ABTS e para o FRAP, do óleo de açaí foram obtidos na condição 343,15 K a 49 MPa. Os maiores conteúdos de compostos fenólicos e atividade antioxidante para o método DPPH e FRAP das polpas sem gordura de açaí foram obtidos na condição 323,15 K a 35 MPa. Já para o método ABTS os maiores valores para as polpas sem gordura de açaí foram encontrados para a condição 343,15 K a 49 MPa. O teor de antocianinas, em qualquer condição de extração supercrítica relatada, não apresentou diferença significativa.

Os testes de citotoxicidade não exibiram atividade citotóxica nas linhagens de células normais testadas (MRC-5 e VERO) para as amostras analisadas na condição operacional 323,15K e 35 MPa, pois não apresentaram diferenças significativas na viabilidade celular com o aumento da concentração de ambos os produtos.

Os dois ambientes testados promoveram a degradação do teor de antocianinas totais da polpa liofilizada e da sem gordura de açaí. Sendo que a degradação na ausência de luz ocorreu de forma bem mais lenta, tanto para a embalagem selada quanto para a selada a vácuo, quando comparado com a presença da luz em um Becker, que ocorreu a degradação de forma muito mais rápida. O tempo de meia vida da polpa liofilizada e da sem gordura na presença de luz foi menor que a das embalagens, sendo que a embalagem selada obteve maior tempo de meia vida comparada com a selada a vácuo para a polpa liofilizada, já para a polpa sem gordura a embalagem selada a vácuo obteve maior tempo de meia vida comparada com a selada. Os resultados obtidos da estabilidade do óleo de açaí qualificam-no como óleo de mesa e não como óleo de fritura, já que em temperaturas mais altas ele sofre degradação mais rápido.

Portanto, os óleos de açaí apresentaram ótimos níveis de rendimento, carotenoides e atividade antioxidante, bem como as polpas sem gordura com altos teores de antocianinas, compostos fenólicos e atividade antioxidante. Dessa forma, obteve-se produtos com qualidade nutricional que podem ser aplicados em diversos ramos industriais.

Os resultados deste estudo sugerem potenciais farmacológicos, alimentícios e cosméticos na comercialização dos produtos de açaí obtidos pela extração com CO₂ supercrítico, evidenciando a segurança no uso desses produtos, devido a seletividade da

tecnologia. Esses produtos podem ser considerados inovadores, oriundos de uma tecnologia verde e sustentável, contribuindo para a preservação do meio ambiente e impulsionando a bioeconomia, ratificando o fruto a um patamar global.

6 - SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se, futuramente, o estudo de aumento de escala deste processo, uma análise estatística nas ordens de reações da vida de prateleira, bem como uma cinética de estudo do teor de carotenoides do óleo de açaí.

7 - LISTA DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA

7.1 - Patente publicada como primeira autora

SIQUEIRA, L.M.M.; SILVA, A.P.S.; FERREIRA, M.C.R.; PIRES, F.C.S., CARVALHO JUNIOR, R.N. Azeite de açaí e açaí livre de gordura produzidos com o uso de fluido supercrítico. 2021, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR102021026570-1 A2, Título: “Azeite de açaí e açaí livre de gordura produzidos com o uso de fluido supercrítico”. Instituição de registro: INPI- Instituto Nacional da Propriedade intelectual. Depósito: 27/12/2021. Publicação Nacional: 04/07/2023.

7.2 - Patentes publicadas como co-autora

MENEZES, E.G.O., BARBOSA, J.R.; PIRES, F.C.S., SIQUEIRA, L.M.M.; CARVALHO JUNIOR, R.N. Cadeia de processos em pequena e grande escala para a obtenção de óleo rico em carotenoides de tucumã-do-pará (*Astrocaryum vulgare* Mart.) com fluido supercrítico. 2021, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR102021014478-5 A2, Título: “Cadeia de processos em pequena e grande escala para a obtenção de óleo rico em carotenoides de tucumã-do-pará (*Astrocaryum vulgare* Mart.) com fluido supercrítico”. Instituição de registro: INPI- Instituto Nacional da Propriedade intelectual. Depósito: 22/07/2021. Publicação Nacional: 31/01/2023.

PIRES, F.C.S., SILVA, A.P.S.; SIQUEIRA, L.M.M.; FERREIRA, M.C.R.; CARVALHO JUNIOR, R.N. Produção de partículas secas e de suplemento alimentar à base de óleo de murici (*byrsonima crassifolia*). 2021, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR102021015590-6 A2, Título: “Produção de partículas secas e de suplemento alimentar à base de óleo de murici (*byrsonima crassifolia*)”. Instituição de registro: INPI- Instituto Nacional da Propriedade intelectual. Depósito: 06/08/2021. Publicação Nacional: 07/02/2023.

FREITAS, L.C.; CARVALHO JUNIOR, R.N.; **SIQUEIRA, L.M.M.** **Processo para a separação da resina da casca do fruto do bacuri (*Platonia insignes* Mart.) utilizando a tecnologia de fluido supercrítico.** 2021, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR102021026557-4 A2, Título: “Processo para a separação da resina da casca do fruto do bacuri (*Platonia insignes* Mart.) utilizando a tecnologia de fluido supercrítico.”. Instituição de registro: INPI- Instituto Nacional da Propriedade intelectual. Depósito: 27/12/2021. Publicação Nacional: 04/07/2023.

7.3 – Patentes depositadas como co-autora

SILVA, A.P.S.; FERREIRA, M.C.R.; PIRES, F.C.S.; RIBEIRO, L.T.; **SIQUEIRA, L.M.M.**; CARVALHO JUNIOR, R.N. **MÉTODO DE PREPARAÇÃO DE FILME ORODISPERSÍVEL DE EXTRATO DE PLANTA DOS GÊNEROS SPILANTHES E ACMELLA.** 2023, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR 10 2023 026746-7, Título: “MÉTODO DE PREPARAÇÃO DE FILME ORODISPERSÍVEL DE EXTRATO DE PLANTA DOS GÊNEROS SPILANTHES E ACMELLA”. Instituição de registro: INPI- Instituto Nacional da Propriedade intelectual. Depósito: 18/12/2023.

FERREIRA, M.C.R.; PIRES, F.C.S.; **SIQUEIRA, L.M.M.**; SILVA, A.P.S.; CARVALHO JUNIOR, R.N. **PRODUÇÃO DE EXTRATO APOLAR E FARINHA DESENGORDURADA DE BURITI (*Mauritia flexuosa*) COM O USO DE FLUIDO SUPERCRÍTICO.** 2023, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR 10 2023 027558-3, Título: “PRODUÇÃO DE EXTRATO APOLAR E FARINHA DESENGORDURADA DE BURITI (*Mauritia flexuosa*) COM O USO DE FLUIDO SUPERCRÍTICO”. Instituição de registro: INPI- Instituto Nacional da Propriedade intelectual. Depósito: 27/12/2023.

7.4 - Artigo completo publicado em periodico como primeira autora

SIQUEIRA, L.M.M., CAMPOS, A.L.B.S, PIRES, F.C.S., FERREIRA, M.C.R., SILVA, A.P.S., MENEZES, E.G.O., RAMOS, I.N.F., KHAYAT, A.S., REGO, J.A.R.,

CARVALHO JUNIOR, R.N. **Evaluation of Bioactive Compounds and Antioxidant and Cytotoxic Effects of oil and pulp without açai fat (*Euterpe Oleracea*) obtained by Supercritical Extraction.** FOODS (2024), 13, 2819. <https://doi.org/10.3390/foods13172819>

7.5 - Artigo completo publicado em periodico como co-autora

PIRES, F.C.S., OLIVEIRA, J.C., MENEZES, E.G.O., SILVA, A.P.S., FERREIRA, M.C.R., SIQUEIRA, L.M.M., ALMADA-VILHENA, A.O., PPIECZARKA, J.C., NAGAMACHI, C.Y., CARVALHO JUNIOR, R.N. **Bioactive compounds and evaluation of antioxidante, cytotoxic and cytoprotective effects of muruci pulp extracts (*byrsonima crassifolia*) obtained by supercritical extraction in hepg2 cells treated with H₂O₂,** FOODS (2021), 10, 737. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/FOODS10040737](https://doi.org/10.3390/FOODS10040737)

MENEZES, E.G.O.; BARBOSA, J.R.; PIRES, F.C.S.; FERREIRA, M.C.R.; SILVA, A.P. de S.; SIQUEIRA, L.M.M.; DE CARVALHO JUNIOR, R.N. **Development of a new scale-up equation to obtain Tucumã-of-Pará (*Astrocaryum vulgare* Mart.) oil rich in carotenoids using supercritical CO₂ as solvent,** J. Supercrit. Fluids. 181 (2022) 105481. <https://doi.org/10.1016/J.SUPFLU.2021.105481>.

7.6 - Capítulos de livros publicados

MENEZES, E.G.O.; BARBOSA, J.R.; SIQUEIRA, L. M. M.; DE CARVALHO JUNIOR, R.N. **Modelagem termodinâmica e determinação da solubilidade do óleo de bacaba (*oneocarpus bacaba*) e ucuúba (*virola surinamensis*) com dióxido de carbono supercrítico.** Inovação em Ciências e Tecnologia de Alimentos 2. 2 ed. Ponta Gross: Atena Editora, 2019, v.2, p. 228-236.

SILVA, A.P de S.; PIRES, F. C. S. SOUSA, S.H.B.; FERREIRA, M. C. R.; SIQUEIRA, L. M. M.; MENEZES, E.G.O.; AGUIAR, I. Q. da S.; SOUZA, A. de F.; DE CARVALHO JUNIOR, R.N. **Influência da sazonalidade nos teores de compostos fenólicos e da capacidade antioxidante de flores de duas cultivares de jambu (*acmella oleracea* (L) R. K. JANSEN).** 2 ed. São Paulo: Editora Cientifica, (2021), v.

2, p. 274-282.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD GHAFAR, S. A.; ISMAIL, M.; YAZAN, L. S.; FAKURAZI, S.; ISMAIL, N.; CHAN, K.W.; TAHIR, P. MD. **Cytotoxic activity of kenaf seed oils from supercritical carbon dioxide fluid extraction towards human colorectal cancer (HT29) cell lines, Evidence-Based Complement. Altern. Med.** (2013). <https://doi.org/10.1155/2013/549705>.

AGHEL, N.; YAMINI, Y.; HADJIAKHOONDI, A.; POURMORTAZAVI, S.M. **Supercritical carbon dioxide extraction of Mentha pulegium L. essential oil.** Talanta, v. 62, p. 407-11, 2004.

ALAM, M.; AHMED, S.; ELASBALI, A. M.; ADNAN, M.; ALAM, S.; HASSAN, M. I.; PASUPULETI, V. R. **Therapeutic Implications of Caffeic Acid in Cancer and Neurological Diseases,** Front. Oncol. 12 (2022) 634. <https://doi.org/10.3389/FONC.2022.860508/BIBTEX>.

ALASALVAR, C.; AL-FARSI, M.; QUANTICK, P. C.; SHAHIDI, F.; WIKTOROWICZ, R. **Effect of chill storage and modified atmosphere packaging (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots.** Food Chemistry, v. 89, p. 69–76, 2005.

ALBARICI, T. R.; VALETA, A. da C.; PESSOA, J. D. C. **Efeito da temperatura nas antocianinas do açaí.** (2007).

ALBUQUERQUE, B. R.; HELENO, S. A.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; BARROS L.; FERREIRA I. C. F. R. **Phenolic compounds: current industrial applications, limitations and future challenges,** Food Funct. 12 (2021) 14–29. <https://doi.org/10.1039/D0FO02324H>.

ALBUQUERQUE, C.L.C; MEIRELES, M.A.A. **Deffating of Annatto Seeds Using Supercritical Carbon Dioxide as a Pretreatment for the Production of Bixin: Experimental, Modelling, and Economic Evaluation of the Process.** The Journal of Supercritical Fluids, Article in Press, 2012.

ALEXANDRE, D.; CUNHA, R.L.; HUBINGER, M.D. **Conservação do açaí pela tecnologia de obstáculos,** Ciência e Tecnol. Aliment. 24 (2004) 114–119.

<https://doi.org/10.1590/S0101-20612004000100021>.

ALIAÑO-GONZÁLEZ, M. J.; FERREIRO-GONZÁLEZ, M.; ESPADA-BELLIDO, E.; CARRERA, C.; PALMA, M.; ÁLVAREZ, J. A.; AYUSO, J.; BARBERO, G.F. **Extraction of Anthocyanins and Total Phenolic Compounds from Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) Using an Experimental Design Methodology. Part 1: Pressurized Liquid Extraction**, *Agron.* (2020), Vol. 10, Page 183. 10 (2020) 183. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10020183>.

ALMEIDA, P. P. **Extração de Óleo Essencial de Hortelã (*Mentha spicata* L.) com Misturas de Solventes a Alta Pressão**. 2006, 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) — Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

ALVARADO, J. D. **Propriedades físicas de frutas. Difusividade y condutividade térmica efectiva de pulpas**. *Latin American Applied Research* (2001), v.24, n.1, p.41-47.

ALVAREZ, M. V.; CABRED, S.; RAMIREZ, C. L.; FANOVICH, M. A. **Valorization of an agroindustrial soybean residue by supercritical fluid extraction of phytochemical compounds**. *The Journal of Supercritical Fluids*, v. 143, p. 90-96, 2019.

ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; SAURA-CALIXTO, F. D.; RUFINO, M. S. M.; PÉREZ-JIMENEZ, J. **Compostos com propriedades funcionais em frutas**. II Simpósio Brasileiro de Pós-Colheita, p. 179 – 187, 2007.

ALVES, W., SOUZA, M. C., ALMEIDA, A., OLIVEIRA, S., & RIBEIRO, I. L. **Características físico-químicas de óleos essenciais de plantas da região do Vale do Juruá**. *Enciclopédia biosfera* (2015), 11(22).

AMBRÓSIO, C.L.B.; CAMPOS F. DE A.C.S.; FARO, Z.P. DE. **Carotenoides como alternativa contra a hipovitaminose A**. *Revista de Nutrição*, 19, 233–243, 2006.

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. Champaign, USA, AOCS, 2004. [AOCS Official method Cd 8-53].

Anthocyanin: Foods, Benefits, Side Effects, and Supplements, (n.d). <https://www.healthline.com/nutrition/anthocyanin#side-effects> (accessed November

19, 2022).

ANTONIASSI, R. **Métodos de avaliação da estabilidade oxidativa de óleos e gorduras.** (2001).

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 270, de 22 setembro de 2005.

ARCT, J.; MIELOCH, M. **β -carotene in skin care**, Pol J Cosmetol. 19 (2016), 206–213. <https://www.researchgate.net/publication/347513828>.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists.** (method 958.06). Arlington: AOAC.. 1995, chapter 39. p. 21.

BADALYAN, A. G., WILKINSON, G. T., CHUN, B. **Extraction of Australian ginger root with carbon dioxide and ethanol entrainer.** Journal of Supercritical Fluids, v. 13, 1998, p. 319-324.

BASTOS, D. H. M.; ROGERO, M. M.; ARÊAS, J. A. G. Mecanismos de ação de compostos bioativos dos alimentos no contexto de processos inflamatórios relacionados à obesidade. **Arq Bras Endocrinol Metab.**53/5, p. 646-656, 2009.

BATISTA, C. de C. R.; DE OLIVEIRA, M. S.; ARAÚJO, M. E.; RODRIGUES, A. M. C.; BOTELHO, J. R. S.; DA SILVA, S. F. A. P.; MACHADO, N. T.; CARVALHO JUNIOR, R.N. **Supercritical CO₂ extraction of açai (Euterpe oleracea) berry oil: Global yield, fatty acids, allelopathic activities, and determination of phenolic and anthocyanins total compounds in the residual pulp**, J. Supercrit. Fluids. 107 (2016) 364–369. <https://doi.org/10.1016/J.SUPFLU.2015.10.006>.

BENLLOCH-GONZÁLEZ, M.; SÁNCHEZ-LUCAS, R.; BEJAOU, M. A.; BENLLOCH, M.; FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R. **Global warming effects on yield and fruit maturation of olive trees growing under field conditions**, Scientia Horticulturae (2019), V. 249 Pages 162-167, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.046>.

BERMAN, J.; ZORRILLA-LÓPEZ, U.; FARRÉ, G.; ZHU, C.; SANDMANN, G.; TWYMAN, R. M.; CHRISTOU, P. **Nutritionally important carotenoids as consumer products**. *Phytochemistry Reviews*, 14, 727–743, 2014.

BICHARA, C. M. G. & ROGEZ, H. Chapter 1: **Açaí (*Euterpe oleracea* Martius)**. In: Yahia, E. M. (Ed.), *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Foods: Açaí to Citrus*, vol. 2. Woodhead Publishing (2011), Oxford, England, p. 1-23.

BLACK, H. S.; BOEHM, F.; EDGE, R.; TRUSCOTT, T. G. **The Benefits and Risks of Certain Dietary Carotenoids that Exhibit both Anti- and Pro-Oxidative Mechanisms**—A Comprehensive Review, *Antioxidants* (2020), Vol. 9, Page 264. 9 (2020) 264. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX9030264>.

BOEIRA, L. S.; FREITAS, P. H. B.; UCHÔA, N. R.; BEZERRA, J. A.; CÁD, S. V.; DUVOISIN, S. J.; ALBUQUERQUE, P. M.; MAR, J. M.; RAMOS, A. S.; MACHADO, M. B. & MACIEL, L. R. **Chemical and sensorial characterization of a novel alcoholic beverage produced with native acai (*Euterpe precatoria*) from different regions of the Amazonas state**. *LWT* (2020), 117, 108632. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108632>.

BONDAM, A. F.; DIOLINDA DA SILVEIRA, D.; POZZADA DOS SANTOS, J.; HOFFMANN J. F. **Phenolic compounds from coffee by-products: Extraction and application in the food and pharmaceutical industries**, *Trends Food Sci. Technol.* 123 (2022) 172–186. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.03.013>.

BONFIGLI, M.; GODOY, E.; REINHEIMER, M. A.; SCENNA, N.J. **Comparison between conventional and ultrasound-assisted techniques for extraction of anthocyanins from grape pomace. Experimental results and mathematical modeling**. *Journal of Food Engineering*, v. 207, p. 56 – 72, 2017.

BORGES, G. S. C.; GONZAGA, L. V.; JARDINI, F. A.; FILHO-MANCINI, J.; HELLER, M.; MICKE, G.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. **Protective effect of *Euterpe edulis* M. on Vero cell culture and antioxidant evaluation based on phenolic composition using HPLC- ESI- MS/MS**. *Food Research International* (2013), v. 51, 363 -369.

BOROSKI, M.; VISENTAINER J. V.; COTTICA S. M.; MORAIS D. R. **Antioxidantes: princípios e métodos**. 1.ed. Appris, 2015.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. **Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity**, LWT - Food Sci. Technol. 28 (1995) 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).

BRASIL. Resolução RDC/ANVISA/MS nº 270, de 22setembro de 2005. Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília-DF, 23 set. 2005. Seção 1.

BRAVO, L. **Polyphenols: Chemistry, Dietary Sources, Metabolism, and Nutritional Significance**. Nutrition Reviews, v. 56, n. 11, p. 317–333, 1998.

BRENNAN, J. G. et al. **Food engineering operations**. Linton Road, England: Elsevier Applied Science, 1990.

BRUNNER, G. **Gas extraction: An Introduction to Fundamentals of Supercritical Fluidsand the Application to Separation Processes**. 1 st. Ed. Darmstadt, Alemanha:Steinkopff, 387p. 1994.

BRUNNER, G. **Supercritical fluids: technology and application to food processing**. Journal of Food Engineering, v. 67, 2005, p. 21-33.

CABRAL, F. A. **Uso de equações de estado cúbicas para estimativas de solubilidade de óleos essenciais e de seus componentes em dióxido de carbono**. Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Alimentos. Campinas, 1993.

CARBONELL-CAPELLA, J. M.; BUNIEWSKA, M.; BARBA, F. J.; ESTEVE, M. J.; FRÍGOLA, A. **Analytical Methods for Determining Bioavailability and Bioaccessibility of Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables: A Review**. Comprehensive Reviewsin Food Science and Food Safety, v. 13, p. 155-171, 2014.

CARVALHO JR., R. N. **Obtenção de Extrato de Alecrim (Rosmarinus officinalis) por Extração Supercrítica: Determinação do Rendimento Global, de Parâmetros Cinéticos e 96 de Equilíbrio e Outras Variáveis do Processo**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade de Campinas, 2004.

CARVALHO, A. V.; SILVEIRA, T. F. F. da; MATTIETTO, R. de A.; OLIVEIRA, M. do S., P. de; GODOY, H. T. **Chemical composition and antioxidant capacity of açai (*Euterpeoleracea*) genotypes and commercial pulps**. Journal of the Science, of Food and Agriculture, v. 97, p. 1467-1474, 2017.

CASSEL, E.; VARGAS, R. M. F.; BRUN, G. W. **Processos de extração supercrítica aplicados a produtos naturais**. In: Cassel, E.; Rocha, L.M. (Org.). *Fundamentos de Tecnologia de Productos Fitoterapêuticos*, 2.ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, p. 213-228, 2008.

CASTAÑEDA-OVANDO, Araceli et al. **Chemical studies of anthocyanins: A review**. Food chemistry (2009), v. 113, n. 4, p. 859-871.

CASTRO, RC de.; COSTA, LFS.; COSTA, LMD de A. da.; MARTINS, GBC. **Extraction and analysis of physical and chemical properties of açai oil (*Euterpe oleracea* Mart.)**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento (2021)., [S. l.], v. 10, n. 8, p. e24610817358, DOI: 10.33448/rsd-v10i8.17358.

CAVALCANTE, P.; CEDRIM, A.S.; MARINHO, E.; BARROS, A.; Do NASCIMENTO T. G.; AMÉLIO, P. C.; **Propriedades antioxidantes do açai (*Euterpe oleracea*) na síndrome metabólica**, Brazilian J. Food Technol. 21 (2018). <https://doi.org/10.1590/1981-6723.09217>.

CHOI, W.; KIM, H. S.; PARK, S. H.; KIM, D.; HONG, Y. D.; KIM, J. H.; CHO, J. Y. **Syringaresinol derived from Panax ginseng berry attenuates oxidative stress-induced skin aging via autophagy**, J. Ginseng Res. 46 (2022) 536–542. <https://doi.org/10.1016/J.JGR.2021.08.003>.

CHOU DHARI, S. M.; ANANTHANARAYAN, L.; SINGHAL, R. S. **Use of metabolic stimulators and inhibitors for enhanced production of b-carotene and lycopene by Blakeslea trispora NRRL 2895 and 2896**. Bioresource Technology, 99, 3166 - 3173, 2008.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2019). **Açai (fruto) - Análises do mercado agropecuário e extrativo**. <https://www.conab.gov.br/infoagro/item/download>.

COSTA, A. G. V.; GARCIA-DIAZ, D. F.; JIMENEZ, P.; SILVA, P. I. **Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red–black berries.** *Journal of Functional Foods* (2013), 5, 539-549.

COSTA, H. C. B.; SILVA, D. O.; VIEIRA, L. G. M. **Physical properties of açai-berry pulp and kinetics study of its anthocyanin thermal degradation.** *Journal of Food Engineering* (2018), v.239, p. 104–113.

CRUZ, A. P. G. **Avaliação da influência da extração e microfiltração do açai sobre sua composição e atividade antioxidante.** Dissertação (Mestrado) – UFRJ/ IQ/ Programa de Pós graduação em Bioquímica, 2008.

CUNHA, V. M .B.; DA SILVA, M. P.; DE SOUSA, S. H. B.; BEZERRA, P. DO N.; MENEZES, E. G. O.; DA SILVA, N. J. N.; BANNA, D. A. D. DA S.; ARAÚJO, M. E.; CARVALHO JUNIOR, R.N. **Bacaba-de-leque (*Oenocarpus distichus* Mart.) oil extraction using supercritical CO₂ and bioactive compounds determination in the residual pulp,** *The Journal of Supercritical Fluids*, V. 144, (2019), Pages 81-90, <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.10.010>

DA SILVEIRA, T. F. F.; GODOY, H. T. **Non-Anthocyanin Phenolic Compounds in Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) Juice by Ultrahigh-Performance Liquid Chromatography-Diode Array Detector (UHPLC-DAD): A Multivariate Optimization,** *J. Chromatogr. Sci.* 57 (2019) 139–148. <https://doi.org/10.1093/CHROMSCI/BMY095>.

DE AZEREDO H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos.** 2 ed. rev. e ampl. – Brasília, DF. P. 326, Embrapa, 2012.

DE MOURA, R. S.; FERREIRA, T. S.; LOPES, A. A.; PIRES, K. M. P.; NESI, R. T.; RESENDE, A. C.; SOUZA, P. J. C.; DA SILVA, A. J. R.; BORGES, R. M. B.; PORTO, L. C. P. **Efeitos de *Euterpe oleracea* Mart. (AÇAÍ) na inflamação pulmonar aguda induzida por fumaça de cigarro em camundongos.** *Phytomedicine* (2012), 19, 262–269.

DEL POZO-INSFRAN, D.; BRENES, C. H.; TALCOTT, S. T. **Phytochemical composition and pigment stability of Acai (*Euterpe oleracea* Mart.).** *J Agric Food Chem* (2004), 52(6): 1539-1545.

DO NASCIMENTO, R. J. S.; COURI, S.; ANTONIASSI, R.; FREITAS, S. P. **Fatty acids composition of açai pulp oil obtained by enzymatic technology and hexane**, Rev. Bras. Frutic. 30 (2008) 498–502. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000200040>.

DRUESNE-PECOLLO, N.; LATINO-MARTEL, P.; NORAT, T.; BARRANDON, E.; BERTRAIS, S.; GALAN, P.; HERCBERG, S. **Beta-carotene supplementation and cancer risk: a systematic review and metaanalysis of randomized controlled trials**, Int. J. Cancer. 127 (2010) 172–184. <https://doi.org/10.1002/IJC.25008>.

DUNCAN, C. E. **FACTORS INFLUENCING THE STABILITY AND MARKETABILITY OF A NOVEL, PHYTOCHEMICAL-RICH OIL FROM THE AÇAÍ PALM FRUIT (Euterpe oleracea Mart.)**. A Dissertation, (2010).

ĐURĐEVIĆ, S.; ŠAVIKIN, K.; ŽIVKOVIĆ, J.; BÖHM, V.; STANOJKOVIĆ, T.; DAMJANOVIĆ, A.; PETROVIĆ, S. **Antioxidant and cytotoxic activity of fatty oil isolated by supercritical fluid extraction from microwave pretreated seeds of wild growing Punica granatum L.**, J. Supercrit. Fluids. 133 (2018) 225–232. <https://doi.org/10.1016/J.SUPFLU.2017.10.021>.

ELGNDI, M. A.; FILIP, S.; PAVLIĆ, B.; VLADIĆ, J.; STANOJKOVIĆ, T.; ŽIŽAK, Ž.; ZEKOVIĆ, Z. **Antioxidative and cytotoxic activity of essential oils and extracts of Satureja montana L., Coriandrum sativum L. and Ocimum basilicum L. obtained by supercritical fluid extraction**, J. Supercrit. Fluids. 128 (2017) 128–137. <https://doi.org/10.1016/J.SUPFLU.2017.05.025>.

ELISIA, I.; POPOVICH, D. G.; C. HU, KITTS, D. D. **Evaluation of viability assays for anthocyanins in cultured cells**, Phytochem. Anal. 19 (2008) 479–486. <https://doi.org/10.1002/PCA.1069>.

FARIA, J. A. F. **A função da embalagem na estabilidade de óleos vegetais**. Óleos & Grãos (1991), v. 2, n. 6, p. 50-52.

FERNANDEZ, M. L.; WEST, K. L. **Mechanisms by which dietary fatty acids modulate plasma lipids**. J Nutr. (2005), v. 135, n. 9, p. 2075-2078.

FIGUEROLA, F. et al. **Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment.** Food Chemistry (2005), v91, p395.

FILHO, W. E. M.; ALMEIDA-SOUZA, F.; VALE, A. A. M.; VICTOR, E. C.; ROCHA, M. C. B. R.; SILVA, G. X.; TELES, A. M.; NASCIMENTO, F. R. F.; MORAGAS-TELLIS, C. J.; CHAGAS, Md. S. dS.; BEHRENS, M. D.; HARDOIM, Dd. J.; TANIWAKI, N. N.; LIMA, J. A.; ABREU-SILVA, A .L.; DA COSTA, R. M. G.; CALABRESE, Kd. S.; AZEVEDO-SANTOS, A. P. Sd.; NASCIMENTO, Md. D. S. B. **Efeito Antitumoral do Extrato da Semente de Açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) em Células LNCaP e no Modelo Sólido de Carcinoma de Ehrlich.** Cânceres (2023), 15, 2544. <https://doi.org/10.3390/cancers15092544>.

FRAGOSO, M. F.; ROMUALDO, G. R.; RIBEIRO, D. A.; BARBISAN, L. F. **Açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) feeding attenuates dimethylhydrazine-induced rat colon carcinogenesis.** FoodChemical Toxicology (2013), v. 58, p. 68–76.

FRANÇA, L. F. et al. **Supercritical extraction of carotenoids and lipids from buriti (*Mauritia flexuosa*), a fruit from the Amazon region.** Journal of Supercritical Fluids (1999), v14, p247-256.

FRANCIS, F. J. **Analysis of anthocyanins.** In: MARKAKIS, P. (Ed.) Anthocyanins as food colors. New York, New York: Academic Press, 1982. 181 p.

FRANCIS, F. J. **Pigmentos y otros colorantes.** In: FENNEMA, O. R. (Ed.) Química de los alimentos. Zaragoza: Editorial Acribia, 1993. p. 615 – 657.

FRANKEL, E.N. **In search of better methods to evaluate natural antioxidants and oxidative stability in food lipids.** Trends in Food Science & Technology (1993), v.4, n.7, p.220-225.

FREITAS, D.G.C.; MORETTI, R.H. **Characterization and sensorial evaluation of functional cereal bar,** Food Sci. Technol, V. 26, 2006.

GALE, C. R.; ASHURST, H. E.; POWERS, H. J.; MARTYN, C. N. **Antioxidant vitamin status and carotid atherosclerosis in the elderly.** The American Journal of Clinical Nutrition (2001), 74, 402-408.

GALVANO, F.; FAUCI, L.; LAZZARINO, G.; FOGLIANO, V.; RITIENI, A.; CIAPPELLANO, S.; BATTISTINI, N. C.; TAVAZZI, B. & GALVANO, G.

Cyanidins: metabolism and biological properties *Journal of Nutritional Biochemistry*, v. 15, p. 2-11, 2004.

GARZÓN, G.A.; NARVÁEZ-CUENCA, C.E.; VINCKEN, J.P.; GRUPPEN, H. **Composição polifenólica e atividade antioxidante do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) da Colômbia**, *Química Alimentar*. **2017**, 217, 364–372.

GIRONÉS-VILAPLANA, A.; BAENAS, N.; VILLAÑO, D.; SPEISKY, H.; GARCÍA-VIGUERA, C.; MORENO, D. A. **Evaluation of Latin-American fruits rich in phytochemicals with biological effects**. *Journal of functional foods* (2014), 7, 599-608.

GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E. **Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy**, *Curr. Protoc. Food Anal. Chem.* 00 (2001) F1.2.1-F1.2.13. <https://doi.org/10.1002/0471142913.FAF0102S00>.

GOMES, F. S. **Carotenoids: a possible protection against cancer development**. *Rev. Nutr.* 20 (5), (2007). <https://doi.org/10.1590/S1415-52732007000500009>

GRIGORAS, C. C.; EMILIE DESTANDAU, E.; ZUBRZYCKI, S.; ELFAKIR, C. **Sweet cherries anthocyanins: An environmental friendly extraction and purification method**, *Separation and Purification Technology* (2012), Volume 100, Pages 51-58, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.08.032>.

GUEFFAI, A.; GONZALEZ-SERRANO, D. J.; CHRISTODOULOU, M. C.; ORELLANA-PALACIOS, J. C.; ORTEGA, M. L. S.; OULDMOUMNA, A.; KIARI, F. Z.; IOANNOU, G. D.; KAPNISSI-CHRISTODOULOU, C. P.; MORENO A.; HADIDI M. **Phenolics from Defatted Black Cumin Seeds (*Nigella sativa* L.): Ultrasound-Assisted Extraction Optimization, Comparison, and Antioxidant Activity**, *Biomolecules*. 12 (2022). <https://doi.org/10.3390/BIOM12091311>.

GUIMARÃES, S. C. N., ALVES, D. T. V., SOUZA, R. B. M., COSTA, C. E. F. DA, MELO, K. C. DE, OLIVEIRA, I. S. DE, SOARES, S. D., & SANTOS, O. V. dos. **Desenvolvimento de formulações fermentadas probióticas mistas enriquecidas com óleos de frutos amazônicos / Development of mixed probiotic fermented formulations enriched with amazonic fruit oils**. *Brazilian Journal of Development* (2020), 6(3), 10882–10901. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-093>.

- GUO, H.; LING, W. **The update of anthocyanins on obesity and type 2 diabetes: experimental evidence and clinical perspectives.** *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders* (2015), v. 16, p. 1–13.
- HAMMOND, B.R.; RENZI, L.M. **Carotenoids,** *Adv. Nutr.* 4 (2013) 474–476. <https://doi.org/10.3945/AN.113.004028>.
- HENDERSON, A.; GALEANO, G. **Euterpe, Prestoea, and Neonicholsonia (Palmae).** New York: New York Botanical Garden (1996), 89 p. (*Flora Neotropica. Monograph*, 72).
- HERRERO, M.; CIFUENTES, A.; IBANEZ, E. **Sub-and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: Plants, food-by-products, algae and microalgae - A review.** *Food Chemistry* (2006), v. 98, p. 136-148.
- HIDALGO, P. S. P.; NUNOMURA, R. C. S.; NUNOMURA, S. M. **Plantas Oleaginosas Amazônicas: Química e Atividade Antioxidante de Patauá (Oenocarpus batauaMart.).** *Rev. Virtual Quim.* (2016), 8, 130-140. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20160009>.
- HOMMA, A. E. O.; FRAZÃO, D. A. C. O. **Despertar da fruticultura amazônica.** *Fruticultura em Revista* (2002). Novembro, p. 27-31.
- HONG, S. L.; LEE, G. S.; RAHMAN; S. N.; HAMDI, O. A.; AWANG, K.; NUGROHO, N. A.; MALEK, A. S. N. **Essential oil content of the rhizome of curcuma purpurascens Bl. (Temu Tis) and its antiproliferative effect on selected human carcinoma cell lines,** *Sci. World J* (2014). <https://doi.org/10.1155/2014/397430>.
- HU, F. B.; STAMPFER, M. J.; MANSON, J. E.; RIMM, E.; COLDITZ, G. A.; ROSNER, B. A.; HENNEKENS, C. H.; WILLETT, W. C. **Dietary fat intake and the risk of coronary heart disease in women.** *N Engl J Med* (1997), v. 337, n. 21, p. 1491-1499.
- HUANG, D.; OU, B.; PRIOR R. L. **The chemistry behind antioxidant capacity assays.** *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (2005), v.53, p. 1841-1856. <https://doi.org/10.1021/jf030723c>.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. **The chemistry behind antioxidant capacity assays.** Journal of Agricultural and Food Chemistry (2005), v.53, p. 1841-1856.

HUANG, W-Y.; LIU, Y-M.; WANG, J.; WANG, X-N.; LI, C-Y. **Anti-inflammatory effect of the blueberry anthocyanins malvidin-3-glucoside and malvidin-3-galactoside in endothelial cells.** Molecule (2014), v. 19, p. 12827-12841.

HUNG, T.V.; UNGER, M.A. **Applications of supercritical fluid extraction in Japanese food industry.** Food Australia (1994).. v40, n5, p235-238, Australia.

HUSSEIN, H.A.; MOHAMAD, H.; GHAZALY, M.M.; LAITH, A.A.; ABDULLAH, M.A. **Cytotoxic effects of Tetraselmis suecica chloroform extracts with silver nanoparticle co-application on MCF-7, 4 T1, and Vero cell lines,** J. Appl. Phycol. 32 (2020) 127–143. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01905-7>.

IBÁÑEZ, E.; MENDIOLA, J. A.; CASTRO-PUYANA, M. **Supercritical Fluid Extraction.** Encyclopedia of Food and Health (2016), p. 227-233.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v.1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos,** 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 49-50.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v.1: Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos,** 4. ed. São Paulo: IMESP, 2008. p. 595-596.

IRIS, F. F.; BENZIE. J. J. **The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”:** The FRAP Assay. Anal. Biochem. (1996), 239, 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.

IVY, J. L.; DING, Z.; HWANG, H.; CIALDELLA-KAM, L. C.; MORRISON, P. J. **Post exercise carbohydrate-protein supplementation: phosphorylation of muscle proteins involved in glycogen synthesis and protein translation.** Amino Acids (2008), v.35, n.1, p.89- 97.

JAHONGIR, H.; MIANSONG, Z.; AMANKELDI, I.; YU, Z.; CHANGHENG, L. **The influence of particle size on supercritical extraction of dog rose (*Rosa canina*) seed oil.** Journal of King Saud University (2019) – Engineering Sciences, v. 31, p. 1–4.

JOVANOVIĆ, A.; GALOVIĆ GALOVIĆ, J.; JOVANOVIĆ, N.; LJEŠKOVIĆ, J.

L.; VIDOVIĆVIDOVIĆ, S.; VLADIĆVLADIĆ, J.; JOJIĆ, N. J.; ILIĆILIĆ, M.; SRDIĆ, T.; RAJIĆ, S.R.; Kojić, KOJIĆ, V.K.; JAKIMOV, D. **The Effects of Resveratrol-Rich Extracts of Vitis vinifera Pruning Waste on HeLa, MCF-7 and MRC-5 Cells: Apoptosis, Autophagia and Necrosis Interplay**, Pharm. 2022, Vol. 14, Page 2017. 14 (2022) 2017. <https://doi.org/10.3390/PHARMACEUTICS14102017>.

KAHKONEN, M. P.; HEINONEN, M. **Antioxidant activity of anthocyanins and their aglycons**. J Agric Food Chem. (2003), v. 51, n. 3, p. 628-633.

KALINOWSKA, M.; GOŁĘBIEWSKA, E.; MAZUR, L.; LEWANDOWSKA, H.; PRUSZYŃSKI, M.; ŚWIDERSKI, G.; WYRWAS, M.; PAWLUCZUK, N.; LEWANDOWSKI, W. **Crystal structure, spectroscopic characterization, antioxidant and cytotoxic activity of new Mg(II) and mn(ii)/na(i) complexes of isoferulic acid**, Materials (Basel). 14 (2021) 3236. <https://doi.org/10.3390/MA14123236/S1>.

KAMILOGLU, S.; SARI, G.; OZDAL, T.; CAPANOGLU, E. **Guidelines for cell viability assays**, Food Front. 1 (2020) 332–349. <https://doi.org/10.1002/FFT2.44>.

KANG, J. et al. **Bioactivities of açai (Euterpe precatoria Mart.) fruit pulp, superior antioxidant and anti-inflammatory properties to Euterpe oleracea Mart.** Food Chemistry (2012), v. 133, n. 3, p. 671-677.

KANG, J.; LI, Z.; WU, T.; JENSEN, G. S.; SCHAUSS, A. G.; WU, X. **Anti-oxidant capacities of flavonoid compounds isolated from acai pulp (Euterpe oleracea Mart.)**. Food Chemistry (2010), v. 122, n. 3, p. 610-617, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.020>.

KATSUBE, N.; IWASHITA, K.; TSUSHIDA, T.; YAMAKI, K.; M. KOBORI, K. **Induction of apoptosis in cancer cells by bilberry (Vaccinium myrtillus) and the anthocyanins**. Journal of Agricultural and Food Chemistry (2003), v. 51, p. 68-75.

KIRINDAGE, K.G.I.S.; JAYASINGHE, A. M. K; HAN, E.-J.; JEE, Y.; KIM, H. -J.; DO, S.G.; FERNANDO, I. P. S.; AHN, G. **Fucoesterol Isolated from Dietary Brown Alga Sargassum horneri Protects TNF- α /IFN- γ -Stimulated Human Dermal Fibroblasts Via Regulating Nrf2/HO-1 and NF- κ B/MAPK Pathways**, Antioxidants 2022, Vol. 11, Page 1429. 11 (2022) 1429. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX11081429>.

KOLAKOWSKA, A. **Lipid oxidation in food systems**. In Z. Sikorski & A. Kolakowska (Eds.), **Chemical and functional properties of food lipids** (pp. 133-165). London, UK: CRC Press, (2002).

KRINSKY, N. I., JOHNSON, E.J. **Carotenoid actions and their relation to health and disease**. *Molecular Aspects of Medicine*, 26, 459-516, 2005.

KRUGER, M. J.; DAVIES, N.; MYBURGH, K. H.; LECOUR, S. **Proanthocyanidins, anthocyanins and cardiovascular diseases**. *Food Research International* (2014), v. 59, p. 41– 52.

KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; TRONCOSO, A. M.; MANCINI-FILHO, J.; FETT, R. **Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*(2005), 25, 726-732.

KUSKOSKI, E. M.; FETT, P.; ASUERO, A.G. **Antocianos: un grupo de pigmentos naturales. Aislamiento, identificación y propiedades**. *Alimentaria* (2002), v. 2, n. 61, p. 61-74.

KUSPRADINI, H.; ROSIARTO, A.M.; PUTRI, A.S.; KUSUMA, I.W. **Antioxidant and toxicity properties of anthocyanin extracted from red flower of four tropical shrubs**, *Nusant. Biosci.* 8 (2016). <https://doi.org/10.13057/NUSBIOSCI/N080201>.

LAM, K.Y.; LING, A.P.K.; KOH, R.Y.; WONG, Y.P.; SAY, Y.H. **A review on medicinal properties of orientin**, *Adv. Pharmacol. Sci.* (2016). <https://doi.org/10.1155/2016/4104595>.

LAMEIRA, P.C.; COELHO, G.L.V.; MOTHÉ, G.C. **Extração de lipídeos da amêndoa de castanha de caju com CO₂ supercrítico**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* (1997). v17, n4.

LEAL, P. F.; SATO, D. N.; CHAVES, F. C. M.; MING, L. C.; MARQUES, M. O. M.; MEIRELES, M. A. A. **Functional properties of spice extracts obtained via supercritical fluid extraction**. *J. Agric. Food Chem.* (2003) ,51, 2520-2525.

LIAO C.F.C. **Influence of purple sweet potato extracts on the UV absorption properties of a cosmetic cream**, 61 (2010).

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de; COSTA, J. T. de M.; CERQUEIRA, L. S. C. de; FERREIRA, E. **Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas**. Nova Odessa: Plantarum, 2004. 432 p.

LUO, X.; WANG, R.; WANG, J.; LI, Y.; LUO, H.; CHEN, S.; ZENG, X.; HAN, Z. **Acylation of Anthocyanins and Their Applications in the Food Industry: Mechanisms and Recent Research Advances**, *Foods* (2022), Vol. 11, Page 2166. <https://doi.org/10.3390/FOODS11142166>.

MAISCH, N.A.; BERESWILL, S.; HEIMESAAT, M.M. **Antibacterial effects of vanilla ingredients provide novel treatment options for infections with multidrug-resistant bacteria – A recent literature review**, *Eur. J. Microbiol. Immunol.* 12 (2022) 53–62. <https://doi.org/10.1556/1886.2022.00015>.

MALACRIDA, C. R.; JORGE, N. **Alterações do óleo de soja e da mistura azeite de dendê - óleo de soja em frituras descontínuas de batatas chips**. *Brazilian Journal of Food Technology* (2003), v. 6, n. 2, p. 245-249.

MANACH, C.; SCALBERT, A.; MORAND, C.; RÉMÉSY, C. and JIMÉNEZ, L. **Polyphenols: food sources and bioavailability** *Am. J. Clin. Nutr.* (2004), v. 79, p. 727-747.

MANNINEN, P.; PAKARINEN, J.; KALLIO, H. **Large-Scale Supercritical Carbon Dioxide Extraction and Supercritical Carbon Dioxide Countercurrent Extraction of Cloudberry Seed Oil**, *Journal of Agriculture and Food Chemistry* (1997), 45, p. 2533– 2538.

MARCELINO, G.; HIANE, P. A.; POTT, A.; FILIÚ, W. F. DE O.; CAIRES, A. R. L.; MICHELS, F. S.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R.; SANTOS, N. M. S.; NUNES, Â. A.; OLIVEIRA, L. C. S.; CORTES, M. R.; MALDONADE, I. R.; CAVALHEIRO, L. F.; NAZÁRIO, C. E. D.; SANTANA, L. F.; FERNANDES, C. D. P.; NEGRÃO, F. J.; TATARA, M. B.; DE FARIA, B. B.; ASATO, M. A.; FREITAS, K. DE C.; BOGO, D.; DO NASCIMENTO, V.; GUIMARÃES, R. DE C. A. **Characterization of Buriti (*Mauritia flexuosa*) Pulp Oil and the Effect of Its Supplementation in an In Vivo Experimental Model**, *Nutr.* 2022, Vol. 14, Page 2547. 14 (2022) 2547. <https://doi.org/10.3390/NU14122547>.

MARINOVA, E. M.; TONEVA, A. & YANISHLIEVA N. **Comparison of the**

antioxidative properties of caffeic and chlorogenic acids. Food Chemistry (2009), 114, 1498–1502. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.045>.

MARQUES, E. S.; FRODER, J. G.; CARVALHO, J. C. T.; ROSA, P. C. P.; PERAZZO, F. F. & MAISTRO, E. L. **Evaluation of the genotoxicity of Euterpe oleraceae Mart. (Arecaceae) fruit oil (açai), in mammalian cells in vivo.** Food and Chemical Toxicology (2016), 93, 13-19. <https://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2016.04.018>.

MARTINS, G. R.; GUEDES, D.; DE PAULA, U. L. M.; DE OLIVEIRA, M. D. S. P.; LUTTERBACH, M. T. S.; REZNIK, L. Y.; SÉRVULO, E. F. C.; ALVIANO, C. S.; DA SILVA, A. J. R.; ALVIANO, D.S. **Açaí (Euterpe oleracea Mart.) Seed Extracts from Different Varieties: A Source of Proanthocyanidins and Eco-Friendly Corrosion Inhibition Activity,** Mol. (2021), Vol. 26, Page 3433. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26113433>.

MATTHAN, N. R.; DILLARD, A.; LECKER, J. L.; IP, B.; LICHTENSTEIN, A. H. **Effects of Dietary Palmitoleic Acid on Plasma Lipoprotein Profile and Aortic Cholesterol Accumulation Are Similar to Those of Other Unsaturated Fatty Acids in the F1B Golden Syrian Hamster.** J Nutr. (2009), v. 139, n. 2, p. 215-221.

MATTIOLI, R.; FRANCIOSO, A.; MOSCA, L.; SILVA, P. **Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases,** Mol. (2020), Vol. 25, Page 3809. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25173809>.

MAUL, A. A. **Fluidos Supercríticos, situação atual e futuro da extração supercrítica.** Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento (1999), v. 2(11), p.42-6.

MAUL, A.A.; WASICKY, R.; BACCHI, E.M. **Extração por fluido supercrítico.** Revista Brasileira de Farmacognosia (1996), v. 5, p. 185-200.

MAZZA, G.; BROUILLARD, R. **The mechanism of co-pigmentation of anthocyanins in aqueous solution.** Phytochemistry (1990), v. 29 n.4, p. 1097-1102.

MCHUGH, M. A.; KRUKONIS, V. J. **Supercritical Fluid Extraction Principles and Practice.** 2 nd ed. Butterworth-Heinemann, 1994.

MEIRELES, M. A. A. **Extraction of Bioactive Compounds from Latin American Plants. In: J. Martinez (Org.). Supercritical fluid extraction of nutraceuticals and bioactive compounds.** Boca Raton: CRC Press – Taylor & Francis Group, 2008, p. 243- 274.

MEIRELES, M. A. A. **Supercritical extraction from solid: process design data (2001– 2003).** Current Opinion in Solid State and Materials Science (2003), v. 7, n. 4, p. 321-330.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ A.J.; STINCO C.M.; MAPELLI-BRAHM P. **Skin Carotenoids in Public Health and Nutricosmetics: The Emerging Roles and Applications of the UV Radiation-Absorbing Colourless Carotenoids Phytoene and Phytofluene,** Nutr. 2019, Vol. 11, Page 1093. 11 (2019) 1093. <https://doi.org/10.3390/NU11051093>.

MELO, E.A.; MACIEL, M.I.S.; LIMA, V.L.A.G.; LEAL, F.L.L.; CAETANO, A.C.S.; NASCIMENTO, R.J. **Antioxidant capacity of vegetables commonly consumed.** Food Sci. Technol. (2006), 26, 639–644. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000300024>.

MELO, M. A. M. F.; Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, (2010).

MENEZES, E. M. S., TORRES, A. T., SRUR, A. U. S. **Valor nutricional da polpa de açaí (Euterpe oleracea Mart.) liofilizada.** Acta Amazônica (2008), v.38, n.2, p. 311-316.

MENEZES, E.G.O.; BARBOSA, J.R.; PIRES, F.C.S.; FERREIRA, M.C.R.; SILVA, A.P. de S.; SIQUEIRA, L.M.M.; DE CARVALHO JUNIOR, R.N. **Development of a new scale-up equation to obtain Tucumã-of-Pará (Astrocaryum vulgare Mart.) oil rich in carotenoids using supercritical CO2 as solvent,** J. Supercrit. Fluids. 181 (2022) 105481. <https://doi.org/10.1016/J.SUPFLU.2021.105481>.

MERCADANTE, A. Z. In: Socaciu C, editor. **Carotenoids in foods: sources and stability during processing and storage.** New York: CRC Press,213-235, 2007.

METIBEMU, D.S.; OGUNGBE, I.V. **Carotenoids in Drug Discovery and Medicine: Pathways and Molecular Targets Implicated in Human Diseases,** Mol. 2022, Vol. 27, Page 6005. 27 (2022) 6005. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES27186005>.

MICHIELIN, E. M. Z. **Obtenção de Extrato de Erva Baleeira (*Cordia verbenacea* D.C.) por diferentes Técnicas: Medida da Atividade Biológica, Modelagem Matemática e Determinação do Equilíbrio de Fases.** Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianopolis, 2009.

MILHOMEM-PAIXÃO, S. S. R.; FASCINELI, M. L.; MUEHLMANN, L. A.; MELO, K. M.; SALGADO, H. L. C.; JOANITTI, G. A.; PIECZARKA, J. C.; AZEVEDO, R. B.; SANTOS, A. S., & GRISOLIA, C. K. **Andiroba Oil (*Carapa guianensis* Aublet) Nanoemulsions: Development and Assessment of Cytotoxicity, Genotoxicity, and Hematotoxicity.** *Journal of Nanomaterials* (2017) (1), 1-11. <https://doi.org/10.1155/2017/4362046>.

MILLER, N.J.; RICE-EVANS, C.; DAVIES, M.J.; GOPINATHAN, V.; MILNER, A. **A Novel Method for Measuring Antioxidant Capacity and its Application to Monitoring the Antioxidant Status in Premature Neonates.** *Clinical Science* (1993), 84, 407–412. <https://doi.org/10.1021/jf980496s>.

MONTEIRO, S. F.; COSTA, E. L. N.; FERREIRA, R. S. B.; CHISTÉ, R. C. **Simultaneous extraction of carotenoids and phenolic compounds from pulps of orange and yellow peach palm fruits (*Bactris gasipaes*) by ultrasound-assisted extraction,** *Food Sci. Technol.* 42 (2021). <https://doi.org/10.1590/FST.34021>.

MORAIS, L. R. B.; GUTJAHR, E. **Química de oleaginosas: valorização da biodiversidade amazônica.** Belém, PA: Ed. do autor, (2012).

MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos.** São Paulo: Varela, 1998.

MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos.** São Paulo: Varela, 150 p, 1998.

NASCIMENTO, R. J. S.; COURI, S.; ANTONIASSI, R.; FREITAS, S. P. **Composição em ácidos graxos do óleo da polpa de açaí extraído com enzimas e com hexano.** *Revista Brasileira de Fruticultura* (2008), Jaboticabal - SP, v30, n2, p498-502.

NAWAR, W.W. **Lipids.** In: FENNEMA, O.R. *Food chemistry* (1985). 2nd ed., p.176.

NAWIRSKA, A.; KWASNIEWSKA, M. **Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste.** Food Chemistry (2005), v91, p221-225.

OANCEA, S. **A Review of the Current Knowledge of Thermal Stability of Anthocyanins and Approaches to Their Stabilization to Heat.** Antioxidants (2021), 10(9), 1337. <https://doi.org/10.3390/antiox10091337>

OBASI, N. A.; UKADILONU, J.; EBERECHUKWU, E.; AKUBUGWO, E. I.; OKORIE, U. C. **Proximate composition, extraction, characterization and comparative assessment of coconut (*Cocos nucifera*) and melon (*Colocynthis citrullus*) seeds and seeds oil.** Pakistan Journal of Biological Sciences (2012), v. 15, n. 1, p. 1-9.

OGAH, O.; WATKINS, C. S.; UBI, B. E.; ORANGUZIE, N. C. **Phenolic Compounds in Rosaceae Fruit and Nut Crops.** Journal of Agricultural and Food Chemistry (2014.), v. 62, p.9369-9386.

OLIVEIRA, M. DO S. P.; SCHWARTZ, G. **Açaí—*Euterpe oleracea*.** Exotic Fruits (2018), p. 1-5.

OLIVEIRA, M. S. P.; CARVALHO, J. E. U.; NASCIMENTO, W. M. O. **Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.).** Jaboticabal: FUNEP, 2000.

OLIVEIRA, M. S. P.; CARVALHO, J. E. U.; NASCIMENTO, W.M.O.; MÜLLER, C. H. **Cultivo do Açaizeiro para Produção de Frutos.** Circular Técnica. Embrapa. Belém, Jun, 2002.

OLLIVIER, D.; ARTAUD, J.; PINATEL, C.; DURBEC, J.-P.; GUÉRÈRE, M. **Differentiation of French virgin olive oil RDOs by sensory characteristics, fatty acid and triacylglycerol compositions and chemometrics.** Food Chem. (2006), v. 97, p. 382–393.

OSGANIAN, S. K.; STAMPFER, M. J.; RIMM, E.; SPIEGELMAN, D.; MANSON, J. E.; WILLETT, W. C. **Dietary carotenoids and risk of coronary artery disease in women.** The American Journal of Clinical Nutrition (2003), 77, 1390-1399.

PACHECO-PALENCIA, L. A.; DUNCAN, C. E.; TALCOTT, S. T. **Phytochemical composition and thermal stability of two commercial açai species, *Euterpe oleracea***

and Euterpe precatória. Food Chemistry (2009), 115, 1199-1205.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.034>.

PACHECO-PALENCIA, L. A.; TALCOTT, S. T. **Chemical stability of açai fruit (Euterpe oleracea Mart.) anthocyanins as influenced by naturally occurring and externally added polyphenolic cofactors in model systems.** Food Chemistry (2010), v118, n1.

PACHECO-PALENCIA, L. A.; TALCOTT, S. T.; SAFE, S.; MERTENSTALCOTT, S. **Absorption and biological activity of phytochemical-rich extracts from açai (Euterpe oleracea Mart.) pulp and oil in vitro.** Journal of Agricultural and Food Chemistry (2008), v. 56, n. 10, p. 3593-3600, <http://dx.doi.org/10.1021/jf8001608>. PMID:18442253.

PAGKALOS, V. A.; MOSCHANDREAS, J.; KIRIAKAKIS, M.; ROUSSOUMUSTAKAKI, M.; KAFATOS, A.; KOUROUMALIS, E. **Fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue and gastric mucosa: is there a relation with gastric ulceration?** BMC Gastroentero (2009), v. 9, p. 9.

PANDEY, R.; MAHAR, R.; HASANAIN, M.; SHUKLA, S. K.; SARKAR, J.; RAMESHKUMAR, K. B.; KUMAR, B. **Rapid screening and quantitative determination of bioactive compounds from fruit extracts of Myristica species and their in vitro antiproliferative activity.** Food Chemistry (2016), v. 211, p. 483-493.

PAULA, G. A. **Caracterização físico-química e estudo do escurecimento enzimático em produtos derivados de açai.** 2007.

PEIXOTO, F. M.; BORGUINI, R. G.; MONIQUE, A.; MACHADO, R.; MIRANDA, A. C.; GÔUVEA, S.; PACHECO, S.; GODOY, L. DE O. R.. **Teor de carotenoides em nutricosméticos: análise da adequação e qualidade do produto,** Rev. Inst. Adolfo Lutz. 72 (2013) 249–254. <https://doi.org/10.05.2013>.

PEREIRA, C. G.; MEIRELES, M. A. A. **Supercritical fluid extraction of bioactive compounds: fundamentals, applications and economic perspectives.** Food and Bioprocess Technology (2010), v.3, p. 340-372.

PEREIRA, N. S. **Estudo Comparativo entre PS/Beta-Caroteno e PS/Ácido Oléico com PS/Óleo de Buriti (Mauritia flexuosa) e Preparação e Caracterização dos**

Materiais PS/Óleo de Açaí (Euterpe oleraceae Mart.). 2008. 106 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2008.

PEREIRA, R. R. **Obtenção e caracterização de sistemas líquido cristalinos contendo óleo de açaí (Euterpe oleraceae mart.),** 102 f. Disertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas). Universidade Federal do Pará. BELÉM- PA, (2015).

PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. **Manual de engenharia química.** 5a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1986.

PESSOA J. D. C.; TEIXEIRA G. H. DE A. **Tecnologias para inovação nas cadeias euterpe.** Brasília, DF. P. 326, Embrapa, 2012.

PINTO, R. H. H.; MENEZES, E. G. O.; FREITAS, L. C.; ANDRADE, E. H. DE A.; COSTA, R. M. R. C.; JÚNIOR, J. O. C. S.; CARVALHO JUNIOR, R.N. **Supercritical CO₂ extraction of uxi (Endopleura uchi) oil: Global yield isotherms, fatty acid profile, functional quality and thermal stability,** The Journal of Supercritical Fluids (2020), V. 165, <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104932>.

PINTO, R. H. H.; SENA, C.; SANTOS, O. V.; DA COSTA, W. A.; RODRIGUES, A. M. C. R.; CARVALHO JUNIOR, R. N. **Extraction of bacaba (oenocarpus bacaba) oil with supercritical CO₂: Global yield isotherms, fatty acid composition, functional quality, oxidative stability, spectroscopic profile and antioxidant activity,** Grasas y Aceites. 69 (2018). <https://doi.org/10.3989/GYA.0883171>.

PIRES, F. C. S.; SILVA, A. P. DE S.; M. SALAZAR, DE LOS A. R.; DA COSTA, W. A.; DA COSTA, H. S. C.; LOPES, A.S.; ROGEZ, H.; CARVALHO JUNIOR, R. N. **Determination of process parameters and bioactive properties of the murici pulp (Byrsonima crassifolia) extracts obtained by supercritical extraction,** The Journal of Supercritical Fluids (2019), V. 146, Pages 128-135, <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.01.014>.

PIRES, F. C. S.; DE OLIVEIRA, J. C.; MENEZES, E. G. O.; SILVA, A. P. DE S.; FERREIRA, M. C. R.; SIQUEIRA, L. M. M.; ALMADA-VILHENA, A. O.; PIECZARKA, J. C.; NAGAMACHI, C. Y.; CARVALHO JUNIOR, R. N. **Bioactive compounds and evaluation of antioxidant, cytotoxic and cytoprotective effects of murici pulp extracts (Byrsonima crassifolia) obtained by supercritical extraction in hepg2 cells treated with h₂o₂,** Foods. 10 (2021).

<https://doi.org/10.3390/foods10040737>.

POLI, A.; MARANGONI, F.; PAOLETTI, R.; MANNARINO, E.; LUPATTELLI, G.; NOTARBARTOLO, A.; AURELI, P.; BERNINI, F.; CICERO, A.; GADDI, A.; CATAPANO, A.; CRICELLI, C.; GATTONE, M.; MARROCCO, W.; PORRINI, M.; STELLA, R.; VANOTTI, A.; VOLPE, M.; VOLPE, R.; CANNELLA, C.; PINTO, A.; DEL TOMA, E.; LA VECCHIA, C.; TAVANI, A.; MANZATO, E.; RICCARDI, G.; SIRTORI, C.; ZAMBON, A.; NUTRITION FOUNDATION OF ITALY. **Non-pharmacological control of plasma cholesterol levels**. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* (2008), v. 18, n. 2, p. 1-16.

POULOSE, S. M.; FISHER, D. R.; BIELINSKI, D. F.; GOMES, S. M.; RIMANDO, A. M.; SCHAUSS, A. G. **Restoration of stressor-induced calcium dysregulation and autophag inhibition by polyphenolics-rich acai (*Euterpe spp.*) fruit pulp extracts in rodent brain cells *invitro***. *Nutrition* (2014), v. 30, p. 853–862.

POURMORTAZAVI, S. M.; HAJIMIRSADEGHI, S. S. **Supercritical fluid extraction in plant essential and volatile oil analysis**. *Journal of chromatography A* (2014), v.1163, p.2-24.

POZO-INSFRAN, D.; BRENES, C. H.; TALCOTT, S. T. **Phytochemical composition and pigment stability of Acai (*Euterpe oleracea Mart.*)**. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 52, n. 6, p. 1539-1545, 2004. <http://dx.doi.org/10.1021/jf035189n>. PMID:15030208.

QUISPE-CONDORI, S. **Determinação de parâmetros de processo nas diferentes etapas da extração supercrítica de produtos naturais: *Artemisia annua*, *Cordia verbenacea*, *Ocimum selloi* e *Foeniculum vulgare***. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 239 p., 2005.

RAHMAN, M. M.; ICHIYANAGI, T.; KOMIYAMA, T.; HATANO, Y.; KONISHI, T. **Superoxide radical and peroxynitrite-scavenging activity of anthocyanins; structure-activity relationship and their synergism**. *Free Radic Res* (2006) , v. 40, n. 9, p. 993-1002.

RAO, A. V.; RAO, L. G. **Carotenoids and human health**. *Pharmacological research* (2007), v. 55, p. 207-216.

REGINALDO, J.; AMADOR, E. C. DE M.; BARRIENTOS, M. S.; PINTO, K. H. P.; JANNER, D.E.; GUERRA, G.P. **Efeito do ácido p-cumárico sobre a atividade locomotora em *Drosophila melanogaster***, An. Do Salão Int. Ensino, Pesqui. e Extensão. 11 (2019).

<https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/101331> (accessed November 19, 2022).

REVERCHON, E.; DE MARCO, I. **Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter**. Journal of Supercritical Fluids (2006), v. 38, p. 146-166.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. Química de Alimentos (2004), p.194.

RIBEIRO, M. C.; VILAS BOAS, E. V. B; RIUL, T. R.; PANTOJA, L.; MARINHO, H. A. & SANTOS, A. S. **Influence of the extraction method and storage time on the physicochemical properties and carotenoid levels of pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) oil**. Ciência e Tecnologia de Alimentos (2012), Campinas, 32 (2), 386- 392. <https://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612012005000053>.

RIZVI, S. S. H.; BENADO, A. L.; ZOLLWEG, J. A.; DANIELS, J. A. **Supercritical fluid extraction: fundamental principles and modeling methods**. Food Technology (1986), v. 40, n. 6, p. 55-65.

ROBERTA, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. **Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay, Free Radical. Biol. Med.** (1999), 26, 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3).

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. **A guide to carotenoid analysis in foods**, Ilsi: Washington, 2001.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.; KIMURA, M. **HarvestPlus Handbook for Carotenoid Analysis**, (n.d.).

ROGEZ, H. (2000). **Açaí: preparo, composição e melhoramento da conservação**. Belém: EDUFA, 313p.

ROHENKOHL, C. C; CARNIEL, A. P; COLPO, E. **Consumo de antioxidantes durante tratamento quimioterápico**. 2011.

ROJANO, B. A.; VAHOS, I. C. Z.; ARBELÁEZ, A. F. A.; MARTÍNEZ, A. J. M.; CORREA, F. B. C.; CARVAJAL, L. G. **Polifenoles y actividad antioxidante del fruto liofilizado de palmanaidi (Açaí Colombiano) (*Euterpe oleracea* Mart.)**. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín (2011), v. 64, p. 6213–6220.

ROSA, P. T. V.; MEIRELES, M. A. A. **Fundamentals of Supercritical Extraction from Solid Matrices**. In: M. A. A. Meireles (Ed.). *Extracting Bioactive Compounds for Food Products* (2009). Boca Raton: CRC Press, p. 272-288.

ROSA, P. T. V.; PARAJÓ, J. C.; DOMÍNGUEZ, H.; MOURE, A.; DÍAZ-REINOSO, B.; SMITH JR., R.; TOYOMIZU, M.; FLORUSSE, L. J.; PETERS, C. J.; GOTO, M.; LUCAS, S.; MEIRELES, M. A. A. **Supercritical and Pressurized Fluid Extraction Applied to the Food Industry**. In: *Extracting Bioactive Compounds for Food Products: Theory and Applications*. CRC Press. Boca Raton, 2009.

ROZZI, N. L.; SINGH, R. K. **Supercritical fluids and the food industry**. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 1, 2002, p. 33-44.

RUFINO, M. DO S.; ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; DE MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. DE G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pelo Método de Redução do Ferro (FRAP)**, 2006.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; de BRITO, E. S. PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. **Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil**. *Food Chemistry* (2010), v. 121, p. 996-1002.

SAHENA, F. et al. **Application of supercritical CO₂ in lipid extraction – A review**, *Journal of Food Engineering* (2009), v95, p240–253.

SÁNCHEZ-CAMARGO, A. P.; J. MENDIOLA, A.; IBÁÑEZ, E.; HERRERO, M. **Supercritical Fluid Extraction**. *Molecular Sciences and Chemical Engineering* (2014), p. 1-17.

SANTOS, G. M.; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; COSTA, J. M. C.; FIGUEIREDO, R. W.; PRADO, G. M. **Correlação entre atividade antioxidante e compostos bioativos de polpas comerciais de açaí (*Euterpe oleracea* Mart)**. *ARCHIVOS*

LATINO AMERICANOS DE NUTRICION: Organo Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición (2008), v. 58 N° 2, p. 187-192.

SANTOS, M. N.; CUNHA, H. F. A.; LIRA-GUEDES, A. C.; GOMES, S. C. P.; GUEDES, M. C. **Saberes tradicionais em uma unidade de conservação localizada em ambiente periurbano de várzea: etnobiologia da andirobeira (Carapa guinensis Aublet)**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeld. Ciências Humanas (2014), 9 (1), 93-108. <https://10.1590/s1981-81222014000100007>.

SCHAUSS, A. G.; WU, X.; PRIOR, R. L.; OU, B.; PASTEL, D.; HUANG, D.; KABABICK, J. P. **Phytochemical and nutrient composition of the freeze-dried Amazonian Palm Berry, Euterpe oleraceae Mart. (Acai)**. J Agric. Food Chem. (2006), v. 54, n. 22, p. 8598-8603.

SCHOONEES A.; VISSER J.; MUSEKIWA A.; VOLMINK J. **Pycnogenol® (extract of French maritime pine bark) for the treatment of chronic disorders**, Cochrane Database Syst. Rev. (2012). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008294.PUB4>.

SHADHIDI, F.; NACZK, M. **Food phenolics sources, chemistry, effects, applications**. Lancaster, Pennsylvania. Technomic Publishing Company Co. (1995). 331 p.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. **Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review**. Journal of Functional Foods (2015), v. 18, p. 820-897.

SHANLEY, P.; MEDINA, G. **Frutíferas e plantas úteis na vida Amazônica**. Embrapa/CIFOR, Imazon, 2005.

SHIM, S. Y.; LEE, Y. E.; SONG, H. Y.; LEE, M. **p-Hydroxybenzoic Acid β -D-Glucosyl Ester and Cimidahurinine with Antimelanogenesis and Antioxidant Effects from Pyracantha angustifolia via Bioactivity-Guided Fractionation**, Antioxidants (2020), Vol. 9, Pag 258. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX9030258>.

SHIMAMOTO, G. G.; ARICETTI, J. A.; TUBINO, M. A Simple, Fast, and Green Titrimetric Method for the Determination of the Iodine Value of Vegetable Oils Without Wijs Solution (ICI), 09/2016, *Food Analytical Methods* (2016), v. 9, pp.2479-2483, New York, Estados Unidos da América.

SHINWARI, K. J.; RAO, P. S. **Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review.** Trends in Food Science & Technology (2018), v. 75, p. 181–193.

SILVA, M. P.; CUNHA, V. M. B.; SOUSA, S. H. B.; MENEZES, E. G. O.; BEZERRA, P. D. N.; DE FARIAS NETO, J. T.; FILHO, G. N. R.; ARAÚJO, M. E.; CARVALHO JUNIOR, R. N. **Supercritical CO₂ extraction of lyophilized Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp oil from three municipalities in the state of Pará, Brazil.** J. CO₂ Util. 31 (2019) 226–234. <https://doi.org/10.1016/J.JCOU.2019.03.019>.

SINGLETON, R.; ORTHOFER, R. M.; RAVENTÓS, L. **Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent.** Methods Enzymol (1999). 299, 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1).

SUN, T.; RAO, S.; ZHOU, X.; LI, L. **Plant carotenoids: recent advances and future perspectives,** (n.d.) (2022). <https://doi.org/10.1186/s43897-022-00023-2>.

SZMITKO, P. E.; VERMA, S. **Antiatherogenic potential of red wine: clinician update.** Am J Physiol Heart Circ Physiol. (2005), v. 288, n. 5, p. 2023-2030.

TADAPANENI, R. K.; DARYEI, H.; KRISHNAMURTHY, K.; EDIRISINGHE, I.; BURTON-FREEMAN. **High-Pressure Processing of Berry and Other Fruit Products: Implications for Bioactive Compounds and Food Safety.** Journal of Agricultural and Food Chemistry (2014), v. 62, p. 3877-3885.

TAOUKIS, P. S.; LABUZA, T. P. **Summary: integrative concepts.** In: FENNEMA, O. R. (Ed.). Food chemistry, Barking, 3. Ed, p. 1013-1042, New York: Marcel Dekker, 1996.

TAVARES, G. dos S.; HOMMA, A. K. O. **Comercialização do açaí no estado do Pará: alguns comentários.** Revista Eumednet (2015), p. 1-13.

TEREFE, N. S.; KLEINTSCHEK, T.; GAMAGE, T.; FANNING, K. J.; NETZEL, G.; VERSTEEG, C.; NETZEL, M. **Efeitos comparativos do processamento térmico e de alta pressão sobre fitoquímicos fenólicos em diferentes cultivares de morango.** Inovação Ciência Alimentar. Emerg. Tecnol. (2013), 19, 57-65.

TORMA, P. do C. R.; MONTEIRO, P.L.; CARVALHO, A.V.; FLORES, S.H.; AUGUSTI, P.R.; RIOS, A.O. **Characterization, bioactive compounds and antioxidant potential of açai (*Euterpe oleracea*) genotypes**, Journal of Agricultural and Food Chemistry 15 (2019) 637-647. <http://doi.org/10.2174/1573407214666180926124149>.

TORMA, P. DO C.M.R. **Valor nutricional, perfil de compostos bioativos e atividade antioxidante de genótipos de açai (*Euterpe oleracea*)**, Undefined. (2016).

TRÊS, M. V.; FRANCHESCHI, E.; BORGES, G. R.; DARIVA, C.; CORAZZA, F. C.; OLIVEIRA, J. V.; CORAZZA, M. L. **Influence of temperature on the solubility of β -carotene in organic solvents at ambient pressure**. Food Science and Technology Magazine (2007), 27, 737-743.

VALOIS, A. C. C. **Recursos genéticos de frutíferas tropicais: parte 1**. Revista RG News (2017.), v. 3, n. 1, p. 45-54.

VARGAS, C. E. **Extração Supercrítica do Óleo Essencial do Abajeru (*Chrysobalanus icaco*)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005, 93p.

VASCONCELLOS, C. M. C. **Extração supercrítica dos óleos voláteis de *Achyrocline satureioides* (Macela) e *Vetiveria zizanioides* (Vetiver): determinação da cinética de extração e estimativa de custos de manufatura**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2007, 101 p.

VELASCO, R. J.; VILLADA, H. S.; CARRERA, J. E. **Aplicaciones de los fluidos supercríticos en la agroindustria**. Información Tecnológica (2007), v. 18, n. 1, p. 53-65.

VIJAYARATHNA, S.; SASIDHARAN, S. **Cytotoxicity of methanol extracts of *Elaeis guineensis* on MCF-7 and Vero cell lines**, Asian Pac. J. Trop. Biomed. 2 (2012) 826–829. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(12\)60237-8](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60237-8).

VOUTILAINEN, S. et al. **Carotenoids and cardiovascular health**. The American Journal of Clinical Nutrition (2006), v. 83, p. 1265-1271.

WESTON, R. J. **Bioactive products from fruit of the feijoa (*Feijoa sellowiana*, *Myrtaceae*): A review.** Food Chemistry (2010), v. 121, p. 923-926.

WONG, D. Y. S.; MUSGRAVE, I. F.; HARVEY, B. S.; SMID, S. D. **Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) berry extract exerts neuroprotective effects against amyloid exposure in vitro,** Neurosci. Lett (2013), v. 556, p. 221–226.

XIE, C.; KANG, J.; Li, Z.; SCHAUSS, A. G.; BADGER, T. M.; NAGARAJAN, S. **The açai flavonoid velutin is a potent anti-inflammatory agent: Blockade of LPS mediated TNF- α and IL-6 production through inhibiting NF- κ B activation and MAPK pathway.** Journal of Nutrition Biochemistry (2012), v. 23, p. 1184–1191.

XIONG, J.; MATTA, F. V.; GRACE, M.; LILA, M. A.; WARD, N. I.; SOTELO, M. F.; ESPOSITO, D. **Phenolic content, anti-inflammatory properties, and dermal wound repair properties of industrially processed and non-processed acai from the Brazilian Amazon.** Food Function (2020), 11 (6), 4903-4914. <https://doi.org/10.1039/c9fo03109j>.

YAMAGUCHI, K. K. D. L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; DA VEIGA-JUNIOR, V. F. **Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review,** Food Chem. 179 (2015) 137–151. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.01.055>.

ZABOT, G. L.; MORAES, M. N.; MEIRELES, M. A. A. **Supercritical fluid extraction of bioactive compounds from botanic matrices: Experimental data, process parameters and economic evaluation.** Recent Patents on Engineering (2012) 6: 182- 206. <http://dx.doi.org/10.2174/187221212804583204>

ZHA, J.; KOFFAS, M. A. G. **Production of anthocyanins in metabolically engineered microorganisms: Current status and perspectives,** Synth. Syst. Biotechnol. 2 (2017) 259–266. <https://doi.org/10.1016/J.SYNBIO.2017.10.005>.

ZIECH, D.; FRANCO, R.; GEORGAKILAS, A. G.; GEORGAKILA, S.; MALAMOU-MITSI, V.; SCHONEVELD, O.; PAPPA, A.; PANAYIOTIDIS, M. I. **The role of reactive oxygen species and oxidative stress in environmental carcinogenesis and biomarker development.** Chemico-Biological Interactions (2010), v. 188, n. 2, p. 334–339.

ZULETA, A.; ESTEVE, M. J.; FRASQUET, I.; FRÍGOLA, A. **Vitamin C, vitamin A, phenolic compounds and total antioxidant capacity of new fruit juice and skim milk mixture beverages marketed in Spain.** Food Chemistry (2007), v. 103, p. 1365-1374.