



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

ROSA BEATRIZ BARBOSA MONTEIRO

**Produção de açaí (*Euterpe oleracea* mart.) em pó
desengordurado através de processo combinado de
desidratação e extração supercrítica**

BELÉM

2011



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

ROSA BEATRIZ BARBOSA MONTEIRO

**Produção de açaí (*Euterpe oleracea* mart.) em pó
desengordurado através de processo combinado de
desidratação e extração supercrítica**

Dissertação de Mestrado apresentado ao
Programa de Pós-graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos da Universidade
Federal do Pará, para obtenção de título de
Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

ORIENTADORA : Prof^a. Dra. Nadia Cristina Fernandes Corrêa

BELÉM

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Monteiro, Rosa Beatriz Barbosa, 1984-
Produção de açaí (*Euterpe oleracea* mart.) em pó desengordurado através de processo combinado de desidratação e extração supercrítica / Rosa Beatriz Barbosa Monteiro. - 2011.

Orientadora: Nadia Cristina Fernandes Corrêa.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belém, 2011.

1. Açaí. 2. Alimentos-conservação. 3. Antocianinas. 4. Extração com fluido supercrítico. I. Título.

CDD 22. ed. 664.028



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

ROSA BEATRIZ BARBOSA MONTEIRO

Produção de açaí (*Euterpe oleracea* mart.) em pó
desengordurado através de processo combinado de
desidratação e extração supercrítica

BANCA EXAMINADORA:

Nádia Cristina Fernandes Corrêa (UFPA – Orientadora)

Luiz Ferreira França (UFPA – Membro)

Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro (UFPA – Membro)

Jesus Nazareno Silva de Souza (UFPA – Membro Suplente)

DEDICATÓRIA

Ao Deus Pai, que por ser o meu pastor, nada me deixou faltar.

Aos Meus amados pais Sônia e José Maria, meu grande guerreiro (*in memoriam*), que nunca mediram esforços para que eu sempre conseguisse alcançar meus objetivos. O amor e admiração que tenho por eles são infinitos, pelo exemplo de superação, educação, dedicação, fé e carinho.

Ao meu esposo Eduardo, pela paciência, carinho, compreensão e companheirismo que foram fundamentais nos momentos mais difíceis desta e de muitas caminhadas.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me deu força quando achei que não seria mais possível seguir, que me iluminou quando achei que não havia solução para meus problemas, que me deu sabedoria para enfrentar as adversidades e que por fim me sustentou quando achei que havia chegado ao meu limite.

Aos meus pais, grandes companheiros, pela compreensão, amor incondicional e por serem exemplo de luta, otimismo, coragem e perseverança. Ao meu pai José Maria que mesmo nos momentos de dor, buscava forças para me incentivar e me apoiar. Amo incondicionalmente vocês.

Aos Meus irmãos Rafaella e Fellipe por todo amor e compreensão.

Ao meu esposo, por todo amor, carinho, compreensão e companheirismo, tendo entendido, em diversas vezes, meus momentos de preocupação.

À Universidade Federal do Pará e Faculdade de Engenharia de Alimentos por todo apoio técnico e científico oferecido ao longo destes anos.

À minha orientadora Prof^a Dr^a Nadia Cristina Fernandes Corrêa pela orientação e dedicação com a pesquisa realizada.

Aos Professores Dr. Luiz Ferreira França e Dr^a Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro que contribuíram compartilhando sua sabedoria e conhecimento, com importantes apontamentos que muito acrescentaram ao meu trabalho.

À Embrapa Amazônia Oriental, pela oportunidade e cessão de suas instalações e equipamentos que permitiram a realização deste trabalho. Ao Pesquisador Marcus Arthur Marçal de Vasconcelos pelo apoio e pelo constante incentivo para seguir em frente, transpondo às dificuldades.

Aos colegas do Laboratório de Operações e Separações (LAOS) pela troca de conhecimento e pelo convívio.

Aos colegas de mestrado por compartilhar tanto os momentos de desespero, como os de alegrias e sucessos ao longo do curso.

Ao CNPQ pela concessão de bolsa que muito contribuiu para a realização deste trabalho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o processo de produção do açaí em pó desengordurado através do método combinado de desidratação (secagem por spray drying e por liofilização) com a extração supercrítica de lipídeos. Para o processo de atomização foi realizado um estudo piloto para a escolha da condição que ofertasse um produto com maior teor de antocianina e rendimento. Foram realizados 8 ensaios, e as variáveis independentes utilizadas foram a temperatura do ar de entrada e a concentração do agente carreador (maltodextrina). A condição selecionada foi 140°C para temperatura do ar de entrada e 5% de maltodextrina. Obteve-se também outro produto, produzido nas mesmas condições operacionais, no entanto, sem o agente carreador. Os produtos (açaí em pó com maltodextrina, sem maltodextrina e açaí liofilizado) foram analisados em relação ao rendimento do pó, percentual de lipídeos, teor de antocianinas, molhabilidade e cor. Sendo o açaí liofilizado, o produto que apresentou maior teor de antocianina e lipídeos e melhor rendimento. As 3 amostras foram submetidas a extrações lipídicas com CO₂ supercrítico, em duas condições de pressão (200 e 300 bar), a uma temperatura constante (50°C). As amostras desengorduradas foram caracterizadas em relação a teor de lipídeos, antocianina, atividade de água, molhabilidade e cor. A pressão de 300 bar ofereceu melhor rendimento de óleo, mais de 96%. A amostra desidratada que apresentou melhor desempenho no processo de extração lipídica, foi o açaí liofilizado, cerca de 99% de rendimento de óleo e mais elevado teor de antocianina, 8,6 mg/g de pó desengordurado. A extração supercrítica com CO₂ não favoreceu à perda destes pigmentos nesta amostra gerando um pó desengordurado com alta concentração de antocianina. Comparando-se com outros métodos de extração lipídica (etanol e prensa), a utilização de CO₂ supercrítico apresentou melhor rendimento e menores perdas de antocianina. Foi verificada a qualidade do óleo, que apresentou índice de acidez abaixo de 1 mg de KOH/g e perfil lipídico com cerca de 56% de ácido oléico e 11% de ácido linoléico.

Palavras chave: *açaí, antocianina, maltodextrina, liofilização, extração supercrítica, óleo de açaí*

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the production process of acai powder degreased with a combined method of dehydration (spray drying and freeze drying) with the supercritical extraction of lipids. For the atomization process was performed a pilot study to condition the choice of ofertasse a product with higher yield and anthocyanin content, eight tests were performed, and the independent variables are the inlet air temperature and concentration of the carrier agent (maltodextrin). The condition was 140°C for inlet air temperature and 5% maltodextrin. Is also obtained another product produced in the same operating conditions but without the maltodextrin. The products (maltodextrin powder with acai, without maltodextrin and lyophilized) were analyzed regarding the yield of the powder content of lipids, anthocyanins, wettability and color. As the acai liofilizado, the product showed a higher content of anthocyanin and lipid and better performance. The three samples were subjected to lipid extraction with supercritical CO₂ in two conditions of pressure (200 to 300 bar) at a constant temperature (50°C). The degreased samples were characterized with regard to lipid content, anthocyanin, water activity, wettability and color. The pressure of 300 bar gave better yield of oil, over 96%. The dried sample that showed the best performance in the process of lipid extraction, freeze-dried acai was about 99% oil yield and higher anthocyanin content, 8,6 mg/g defatted powder. The extraction with supercritical CO₂ did not favor the loss of these pigments in this sample generating a degreased powder with a high concentration of anthocyanin. Compared with other methods for lipid extraction (ethanol and press), the use of supercritical CO₂ showed a better performance and lower losses of anthocyanin. Was detected quality of oil, which had the acid number below 1 mg KOH / g and lipids with about 56% oleic acid and 11% linoleic acid.

Keywords: *acai, anthocyanin, maltodextrin, freeze-drying, supercritical extraction, oil acai*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Açaizeiro e seus componentes.....	19
Figura 2-	Diagrama pressão x temperatura para um componente puro.....	30
Figura 3-	Liofilizador LC Terroni.....	37
Figura 4-	Desidratação por spray dryer.....	38
Figura 5-	Esquema de funcionamento do equipamento de extração supercrítica.....	43
Figura 6-	Diagrama pressão-temperatura do dióxido de carbono.....	45
Figura 7-	Unidade de extração lipídica com solventes orgânicos.....	46
Figura 8-	Influência da temperatura e concentração de maltodextrina sobre o rendimento da secagem.....	53
Figura 9-	Influência da temperatura e concentração de maltodextrina sobre o teor de antocianina no pó de açaí produzido.....	54
Figura 10-	Morfologia das partículas de açaí desidratado por atomização sem agente carreador	57
Figura 11-	Morfologia das partículas de açaí desidratado por atomização com agente carreador.....	57
Figura 12-	Morfologia das partículas de açaí liofilizado.....	59
Figura 13-	Comportamento da extração supercrítica de açaí desidratado com maltodextrina em dois níveis de pressão.....	60
Figura 14-	Comportamento da extração supercrítica de açaí liofilizado em dois níveis de pressão.....	61
Figura 15-	Comportamento da extração supercrítica de açaí desidratado sem maltodextrina em dois níveis de pressão.....	61
Figura 16-	Comportamento da extração supercrítica a 300 bar de açaí desidratado sob diferentes condições.....	62
Figura 17-	Comportamento da extração supercrítica a 200 bar de açaí desidratado em diferentes condições.....	62
Figura 18-	Representação tridimensional do espaço de cor.....	67

Figura 19-	Representação gráfica do espaço de cor CIELAB.....	68
Figura 20-	Localização dos parâmetros Ângulo de cor e Croma, no diagrama de cromaticidade, da coloração das amostras antes e depois da extração lipídica por CO ₂ supercrítico.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Variáveis independentes codificadas.....	39
Tabela 2-	Planejamento experimental da desidratação por atomização do açaí.....	39
Tabela 3-	Composição centesimal da polpa de açaí pasteurizado.....	49
Tabela 4-	Análise microbiológica da polpa de açaí.....	50
Tabela 5-	Resultados da secagem por atomização.....	52
Tabela 6-	Estimativa dos efeitos das variáveis sobre o rendimento da secagem.....	53
Tabela 7-	Estimativa dos efeitos das variáveis sobre a qualidade do produto.....	53
Tabela 8-	Características do açaí desidratado.....	55
Tabela 9-	Retenção de antocianina no açaí desengordurado e rendimento da extração supercrítica.....	60
Tabela 10-	Características do açaí desengordurado com CO ₂ supercrítico.....	64
Tabela 11-	Teores de antocianina do açaí antes e após a extração com fluido supercrítico.....	65
Tabela 12-	Valores médios dos parâmetros L*, a*, b*, ΔE, H° e C de açaí desidratado por cada tratamento antes da extração com CO ₂	66
Tabela 13-	Teores de antocianina do açaí antes e após a extração com fluido supercrítico.....	66
Tabela 14-	Acidez do óleo de açaí de amostras de açaí desidratado por diferentes métodos extraído por CO ₂ supercrítico em duas condições de pressão.....	70
Tabela 15-	Perfil de ácidos graxos em óleo de açaí liofilizado extraído por CO ₂ supercrítico.....	71
Tabela 16-	Características da extração com etanol.....	72
Tabela 17-	Rendimento da extração e Antocianina do pó desengordurado de açaí liofilizado submetido a extração lipídica e por solvente etanol e por CO ₂ supercrítica.....	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1	Objetivos	16
1.1.1	Objetivo geral.....	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Açaí	17
2.1.1	Aspectos gerais	17
2.1.2	O fruto	19
2.2	Alimentos funcionais	20
2.2.1	Ácidos graxos	21
2.2.2	Antocianinas	22
2.2.3	Fibras	23
2.3	Mercado consumidor	24
2.4	Desidratação	26
2.4.1	Spray dryer	26
2.4.1.1	Microencapsulação	27
2.4.2	Liofilização	29
2.5	Extração de lipídios	30
2.5.1	Fluido supercrítico	30
2.5.2	Outros métodos de extração	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	Matéria-prima	34
3.2	Caracterização da matéria-prima	34
3.2.1	Físico-química	34
3.2.2	Fibras alimentares	35
3.2.3	Antocianinas	35
3.2.4	Análise microbiológica.....	36
3.3	Desidratação do açaí.....	36
3.3.1	Desidratação do açaí por liofilização	37
3.3.2	Desidratação do açaí em spray dryer	37

3.3.2.1	Análise dos efeitos da temperatura e concentração de maltodextrina na concentração de antocianina e rendimento do pó de açaí.....	38
3.3.3	Caracterização do açaí desidratado.....	40
3.3.3.1	Análises de lipídeos, antocianinas e rendimento do processo de desidratação.....	40
3.3.3.2	Microscopia eletrônica de varredura.....	41
3.3.3.3	Taxa de molhabilidade.....	41
3.3.3.4	Coloração.....	42
3.4	Extração do óleo de açaí desidratado	42
3.4.1	Extração com CO ₂ supercrítico	42
3.4.1.1	Seleção da extração supercrítica.....	45
3.4.2	Extração com etanol	45
3.4.3	Extração por prensagem	46
3.5	Caracterização do açaí desengordurado	46
3.5.1	Lipídeo.....	46
3.5.2	Quantificação de antocianina.....	48
3.5.3	Taxa de molhabilidade	48
3.5.4	Atividade de água	48
3.5.5	Cor	48
3.6	Característica do óleo do açaí	48
3.6.1	Acidez	48
3.6.2	Perfil de ácidos graxos	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1	Características da matéria-prima	49
4.2	Características microbiológicas.....	50
4.3	Avaliação da desidratação por atomização.....	51
4.3.1	Características do processamento	51
4.3.2	Avaliação dos efeitos.....	52
4.3.3	Características do açaí desidratado	54
4.3.4	Microscopia eletrônica de varredura	57
4.4	Extração do óleo do açaí desidratado	59
4.4.1	Extração com CO ₂ supercrítico	59
4.4.1.1	Seleção da extração supercrítica.....	60
4.4.1.2	Características do pó desengordurado	63

4.4.1.2	Características do óleo obtido por extração supercrítica.....	70
4.4.2	Extração por prensagem e etanol.....	72
	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS	76

INTRODUÇÃO

O açazeiro é uma espécie frutífera de grande importância sócio-econômica e alimentar para a Amazônia, produzindo um fruto, o açai, que é despulpado, gerando um produto mais nobre e mais rentável, a bebida açai. A produção de açazeiro gera melhoria na renda da família de agricultores, devido à possibilidade de aproveitamento integral dessa matéria prima, assim como o aumento na aceitação da bebida, tanto no mercado interno, quanto no mercado externo (raiz, estipe, inflorescência, fruto e folhas) (NASCIMENTO; CÍCERO; NOVEMBRE, 2010).

Na região Norte o açai é consumido normalmente junto com as farinhas de mandioca ou de tapioca, que também são alimentos típicos da região, ou na forma de sorvetes, cremes, licores e geléias (MONTEIRO, 2006). Na região sudeste do Brasil, o açai é consumido gelado, como suco ou numa tigela, quase sempre misturado com xarope de guaraná, acrescido de outras frutas e até na forma de coquetel de açai (INSFRAN et al., 2004).

A polpa do açai é o produto extraído da parte comestível do fruto do açazeiro, após amolecimento através de processos tecnológicos adequados. A classificação do produto é feita de acordo com a adição ou não de água e seus quantitativos. O produto classificado como polpa de açai é aquele onde a polpa é extraída do açai, sem adição de água, por meios mecânicos e sem filtração, podendo ser submetido a processo físico de conservação. Quando a polpa é extraída com adição de água e filtração, o produto é classificado como: açai grosso ou especial (tipo A), apresentando acima de 14% de sólidos totais; açai médio ou regular (tipo B), apresentando acima de 11 a 14% de sólidos totais; açai fino ou popular (tipo C), apresentando de 8 a 11% de sólidos totais (BRASIL, 2000).

O açai é uma fruta altamente perecível e deve ser processada até 24 horas após a colheita, a polpa, mesmo quando armazenada sob refrigeração, tem uma vida útil máxima de 12h (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008). Logo, torna-se necessário estudo de técnicas mais elaboradas e adequadas que contribuam para a qualidade do produto e aumente a sua vida de prateleira (SILVA; SILVA; PENA, 2008). Nesse caso, a desidratação do açai torna-se uma alternativa que possibilita limitar ou evitar o crescimento de microrganismos ou outras reações de ordem química, aumentando o tempo de vida útil, além de proporcionar maior facilidade no transporte, armazenamento e manuseio do produto final (TONON; BRABET;

HUBINGER, 2009). No entanto, estudos são necessários para estabelecer qual a metodologia de desidratação mais adequada para o fruto açaí.

As técnicas de desidratação utilizadas neste estudo serão a liofilização e o spray drying. Sendo ambas indicadas por desidratar de maneira eficiente a polpa do fruto e preservar as propriedades nutricionais do mesmo, resultando em produtos de boa qualidade e estabilidade (AMRANI; BRIGUI, 2007).

Secagem por atomização ou spray drying é um processo alternativo para a produção de açaí em pó com a conservação elevada de antocianina. Além disso, é o método de secagem mais comum usado na indústria alimentícia por ser econômico, flexível e contínuo (DEL-VALLE, 2004).

Esta técnica tem sido amplamente utilizada na microencapsulação de ingredientes alimentares suscetíveis a deterioração por agentes externos, e é composto por um agente ativo (partículas sólidas, gotas de líquido ou compostos gasosos) em uma matriz polimérica, a fim de protegê-lo de condições adversas (AZEREDO, 2005).

A liofilização constitui um processo de desidratação em que a água do produto submetida ao prévio congelamento passa do estado sólido para o gasoso (sublimação), em condições especiais de temperatura e pressão. Oferece como vantagens ser realizada a baixas temperaturas, não ocorrendo alterações químicas das substâncias suscetíveis à deterioração pelo calor e a perda de constituintes voláteis é minimizada (ALVES et al., 2008).

Vários métodos de extração de óleos têm sido empregados, dentre os quais se destacam a prensagem e a extração por solvente. Na extração por prensagem, embora se produza um óleo de boa qualidade, o rendimento geralmente é baixo, implicando na perda de óleo. Processos utilizando solventes líquidos deixam menos de 1% de óleo residual, que é um índice pelo menos cinco vezes menor do que com o uso da prensa, no entanto a separação do solvente é difícil, reduzindo a qualidade do óleo para fins alimentícios (BOSS, 2000).

O emprego da extração com CO₂ pressurizado no desengorduramento da polpa de açaí pode ser conveniente, pois segundo Reverchon (1997), esta tecnologia possui grande aplicação no setor alimentício devido proporcionar um produto livre de resíduos do solvente, além, das vantagens do CO₂ por ser atóxico, não inflamável, quimicamente estável e apresentar baixo custo. Por esse motivo, os

produtos obtidos a partir deste processo, tanto o óleo, quanto ao pó desengordurado, não apresentarão prejuízos à saúde.

O açaí tem sido foco de muitos estudos e investimentos que chegam até o âmbito internacional (PACHECO-PALENCIA; TALCOTT, 2010). Este interesse pode ser explicado pelo fato do açaí possuir grande valor nutricional, pois é rico em lipídeos, vitaminas, proteínas, alta concentração de fibras, e minerais como manganês, cobre, boro e cromo, e excelente fonte de antioxidantes como as antocianinas e α -tocoferol (ALEXANDRE; CUNHA; HUBINGER, 2004; SHAUSS et al., 2006).

Atualmente o mercado consumidor preza por produtos naturais que ofereçam propriedades nutricionais à saúde, com o objetivo de mantê-la e evitar o aparecimento de doenças crônico-degenerativa, em destaque as cardiovasculares e câncer. Em virtude disso, o consumo de açaí torna-se recomendável. Além disso, a procura por produtos denominados *light* e *diet* está crescendo, independente da presença ou não de patologias específicas, em busca de uma vida mais saudável e sem riscos inerentes a um consumo excessivo de calorias (ANJO, 2004).

O óleo de açaí tem composição química semelhante ao óleo de oliva e ao óleo de abacate, com grande quantidade de ácidos graxos monoinsaturados e poliinsaturados, os quais são recomendados para prevenção de doenças cardiovasculares. Classificado como óleo comestível especial, o óleo de açaí pode ser uma alternativa ao uso dos óleos de oliva e abacate (NASCIMENTO, et al., 2008).

Deste modo, a produção de um alimento, o açaí em pó desengordurado, que possua um alto valor nutricional, mas que não ofereça um elevado valor energético e outro, o óleo do açaí, que seja uma alternativa regional na prevenção de doenças cardiovasculares é interessante para atender a todas as pessoas que se preocupam com a saúde, que buscam nos alimentos qualidade, praticidade, propriedades nutricionais importantes e baixo conteúdo calórico.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o processo de produção do açaí em pó desengordurado através do método combinado de desidratação (secagem por pulverização e por liofilização) e extração supercrítica de lipídeos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar os efeitos da temperatura de entrada do ar e concentração da maltodextrina na concentração de antocianina e rendimento do pó obtido pelo processo de desidratação por pulverização;
- Determinar as características físico-químicas do açaí desidratado;
- Determinar o tipo de desidratação do açaí e a pressão a ser utilizada no processo de extração supercrítica;
- Determinar as características físico-químicas do açaí desidratado e com baixo teor de lipídeos;
- Verificar as características físico-químicas do óleo da polpa desidratada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Açaí

2.1.1 Aspectos gerais

As palmeiras (*Arecaceae*) são vegetações comumente encontradas na região amazônica. Elas têm sido utilizadas sob vários aspectos pela comunidade local, suprimindo diversas necessidades, como fonte energética na dieta alimentar; auxiliando na construção de casas, utensílios caseiros; como bebida, ou fazendo parte da arborização regional (MENDONÇA; ARAÚJO, 1999).

Na Amazônia, a família *Arecaceae* está representada por 19 gêneros e cerca de 150 a 180 espécies, dentre elas as de maior significância econômica são a *Euterpe oleracea* Mart., *Euterpe edulis* Mart. e *Euterpe precatória* Mart., que são empregadas na produção de palmito e frutos (CAVALCANTE, 1998).

A *Euterpe oleracea* Mart., conhecida como açazeiro, tem o Estado do Pará como seu maior produtor, mas apresenta frequência elevada nos Estados do Maranhão, Amapá, Acre e Rondônia (MENEZES; TORRES; SRUR, 2008). É encontrado também na Venezuela, Colômbia, Equador, Suriname e Guiana, mas somente na forma silvestre (SANGRONIS et al., 2006).

O açaí pode receber inúmeras denominações de acordo com a região onde é encontrado, dependendo das variedades morfológicas e também das comunidades que dele se apropriam. Pode ser roxo, branco, espada, sangue-de-boi, una, tinga e chumbinho (OLIVEIRA et al., 2002). As variedades mais comercializadas são o açaí roxo e açaí branco (ROGEZ, 2000). Essas variedades, na maioria das vezes, se diferenciam 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).

De acordo com Oliveira et al. (2002), as principais características dos diferentes tipos são as seguintes:

Açaí-roxo ou comum: Predominante na maioria das populações nativas da Amazônia. Diferencia-se dos demais pela coloração violácea a roxa dos frutos, quando maduros, podendo perfilhar ou não;

Açaí-branco ou verde: Pouco comum nas populações amazônicas. Apresenta coloração verde opaca dos frutos, em decorrência da camada esbranquiçada que os envolve, quando maduros, podendo perfilhar ou não;

Açaí-açu: De ocorrência rara em populações nativas. Seus frutos têm coloração roxa e diferenciam-se do açaí comum por apresentar perfilhamento reduzido (3 a 5 estipes/planta), estipes mais grossos, cachos grandes e pesados e com maior número de frutos por ráquias, no entanto produz poucos cachos por ano;

Açaí-espada: Ocorre principalmente na Ilha do Combu, Município de Acará, no Pará, diferindo dos demais tipos pelo formato do cacho, que apresenta nas ráquias várias ramificações primárias, secundárias e terciárias.

Açaí-sangue-de-boi: Característico de algumas populações nativas do Baixo Amazonas. Caracteriza-se pela coloração avermelhada dos frutos maduros, polpa com consistência bem menos pastosa que os tipos de ocorrência mais generalizada e com o sabor bastante diferente dos tipos com frutos de cor roxa, por isso tem baixa aceitação.

Açaí-tinga: Mesmo tipo do branco ou verde. Tinga é uma denominação indígena (tupi-guarani) que significa desprovido de cor.

Açaí-chumbinho: Ocorrente em algumas populações da parte Norte da Ilha do Marajó e do Estado do Amapá, cuja principal característica é apresentar frutos pequenos (menos de 1g), podendo ser roxo ou branco.

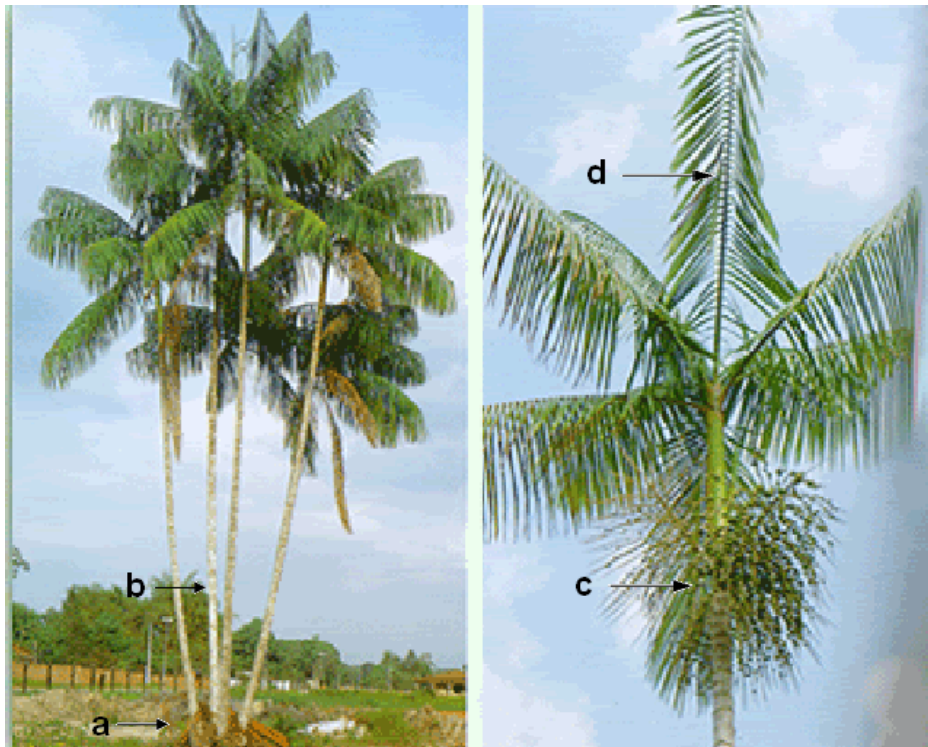
O açaizeiro é uma espécie tipicamente tropical, que se desenvolve bem em condições de clima quente, com temperaturas médias em torno de 26 °C, precipitação pluviométrica elevada (2000 a 2700 mm anuais) com chuvas bem distribuídas durante o ano e umidade relativa do ar normalmente variando entre 71% e 91%. O açaizeiro é encontrado, naturalmente, em solos de várzea, igapó e terra firme, sendo predominante em solos de várzea baixa (CAVALCANTE, 1998, OLIVEIRA et al., 2002).

Euterpe oleracea Mart. é uma palmeira cespitosa, ou seja, cresce em touceiras formadas por sucessivas brotações a partir de uma unidade de dispersão, com até 25 estipes por touceira em diferentes estágios de desenvolvimento, a cada ano forma, cerca de 1 a 10 estipes, sendo a sua regeneração teoricamente infinita (ROGEZ, 2000).

Os estipes nas plantas adultas representam entre 3 e 20 metros de altura, podendo chegar até 35 metros, e 7 a 18 centímetros de diâmetro. Após dois anos de

idade surgem as inflorescências, contendo um número variável de flores pistiladas e estaminadas inseridas em alvéolos. A espécie é monóica, cada inflorescência dá origem a um cacho de frutos, constituído por centenas de frutos (CAVALCANTE, 1998).

Figura 1: Açáizeiro e seus componentes



Legenda: a) Touceiras, b) Estipes, c) Frutos, d) Folhas.
Fonte: Lorenzi (2008).

2.1.2 O fruto

O fruto do açáizeiro é uma drupa séssil, de forma arredondada, com um tamanho de 1 a 2 centímetros e peso médio de 0,8 a 2,3g. O mesocarpo, ou seja, a polpa, tem uma espessura de 1 a 2 mm, representando somente 5 a 15% do volume do fruto, de acordo com o grau de maturidade da fruta. O epicarpo do fruto é muito fino e possui a cor verde nas variedades Branco e Tinga e, antes do amadurecimento os frutos do açáí Preto também são verdes, tornando-se violeta/púrpura quando maduros (ROGEZ, 2000).

De acordo a literatura, a qualidade dos frutos depende dos seguintes fatores: **Época do ano e espessura da polpa**. O açáí do verão, que se concentra no segundo semestre do ano, prolongando-se até os meses de dezembro e janeiro, possui uma melhor qualidade em relação a polpa, coloração e maturação uniforme,

que o do inverno, o que influencia na valorização do produto (NOGUEIRA et al., 1998).

Produtividade. O açaizeiro inicia seu ciclo de produção de frutos 4 anos após o plantio, podendo eventualmente, algumas plantas, entrarem em fase de produção aos 3 anos de idade. A produção máxima ocorre entre 5 e 6 anos de idade, por terem atingido a estabilidade produtiva e, conseqüentemente, um percentual de frutificação mais elevado (NOGUEIRA et al., 1998).

Local de procedência. Os frutos provenientes das ilhas circunvizinhas de Belém oferecem um açaí de melhor qualidade, possibilitando aos produtos um rápido escoamento da produção e facilidade de comercialização, pois, chegam à feira cerca de 3 a 5 horas depois de colhidos, conservando sua cor e sabor (ROGEZ, 2000; NOGUEIRA et al., 1998).

Tempo entre a colheita e o beneficiamento. O açaí sofre degradação em poucas horas, mesmo quando em refrigeração, cujo tempo de conservação é de 24 horas. Por isso um tempo reduzido entre colheita e beneficiamento origina um produto de melhor qualidade (NASCIMENTO, 1992).

2.2 Alimentos funcionais

O termo “alimentos funcionais” foi inicialmente proposto no Japão, em meados de 1980, principalmente em função de uma população sempre crescente de idosos e da preocupação, tanto da população em geral como do governo, com a prevenção das doenças crônicas e degenerativas (SGARBIERI; PACHECO, 1999).

Um alimento para ser considerado funcional deve afetar benéficamente uma ou mais funções alvo no corpo, isso implica em, possuir importante papel metabólico ou fisiológico que o nutriente ou não nutriente tem no crescimento, desenvolvimento, manutenção e outras funções normais do organismo. Sendo relevante tanto para o bem-estar e a saúde quanto para a redução do risco de várias doenças, principalmente as doenças crônico-degenerativas (ROBERFROID, 2002; MORAES; COLLA, 2006).

Os alimentos funcionais representam uma união da farmacologia com a tecnologia de alimentos na busca de uma melhor qualidade de vida, baseada na alimentação. Isso vem sendo reconhecido pelo consumidor moderno, que tem

procurado com mais freqüência esse tipo de produto nas prateleiras dos mercados (SGARBIERI; PACHECO, 1999).

Um alimento funcional deve permanecer como alimento e deve demonstrar seus efeitos em quantidades que são esperadas que sejam consumidas em uma dieta regular, ou seja, não sob a forma de pílulas ou cápsulas. Evidentemente, esses alimentos não podem ser encarados como uma solução única, mas sim como mais um auxílio que os avanços tecnológicos e científicos colocam à disposição (SGARBIERI; PACHECO, 1999).

O açaí é considerado um alimento funcional pelos diversos constituintes químicos com caráter funcional que apresenta, dentre eles: os ácidos graxos, as antocianinas e as fibras.

2.2.1 Ácidos graxos

São compostos formados por união covalente, em forma linear, de vários átomos de carbono associados aos seus respectivos átomos de hidrogênio, e que são caracterizados por apresentar uma função orgânica de comportamento ácido, chamado grupo carboxílicos, cada carbono na cadeia de ácido graxo possui quatro locais de ligação. Em um ácido graxo saturado (SFA) todos os locais de ligação não ligados ao carbono estão saturados com hidrogênio. O ácido graxo monoinsaturado (MUFA) contém apenas uma ligação dupla; ácidos graxos poliinsaturados (PUFA) possuem duas ou mais ligações duplas (MAHAH; ESCOTT-STUMP, 2002).

Os ácidos graxos podem ser sintetizados pelo nosso organismo, no entanto, certos ácidos graxos poliinsaturados não podem ser produzidos endogenamente, por isso são chamados de essenciais, ou seja, são oriundos apenas da dieta alimentar. Os ácidos graxos essenciais (AGE) possuem duas importantes famílias: $\omega 6$ (ácido linoléico e γ - linoléico) e $\omega 3$ (ácido α – linoléico). Além de possuírem alto valor energético, os AGE tem grande importância atualmente pelo seu papel funcional (WAITZBERG, 2004).

O açaí é um alimento com alto percentual de lipídeos, os quais representam em média 50% da matéria seca da bebida. Isto lhe proporciona 90% das calorias contidas nesta bebida. O açaí médio com 12,5% de matéria seca tem um valor energético de 65,7 kcal para cada 100g do produto. Neste caso, os lipídeos

representam 6,58% do peso fresco de um açaí médio (12,5% M.S.) (ROGEZ, 2000; SANABRIA; SANGRONIS, 2007).

Segundo Schauss et al. (2006), entre os ácidos graxos saturados presentes na polpa, destacam-se os ácidos palmítico (24 %) e esteárico (1,6 %); entre os monoinsaturados, destacam-se os ácidos oléico (56,2 %) e palmitoléico (4,3 %), e, entre os poliinsaturados, os ácidos linoléico (12,5 %) e linolênico (0,8 %).

Este perfil lipídico, do ponto de vista nutricional é muito interessante, visto que, os ácidos graxos monoinsaturados podem reduzir os níveis de colesterol, o LDL-colesterol, sem reduzir o HDL-colesterol e nem aumentar os níveis de triglicerídeos do plasma (LIMA et al., 2000).

2.2.2 Antocianinas

As antocianinas (das palavras gregas *anthos*, flor e *kianos*, azul) foram categorizadas como o mais importante grupo de pigmentos solúveis em água em plantas, e são responsáveis pelas cores que variam do vermelho ao violeta e azul nas flores, frutos, algumas folhas, caule e raízes (CLIFFORD, 2000).

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 (PACHECO-PALENCIA; TALCOTTI, 2010).

Segundo Iaderoza et al. (1992), o conteúdo em antocianinas dos frutos do açaizeiro é de 33,6 mg/100g. Rogez (2000) quantificou as antocianinas de 60 amostras da bebida açaí (*E. oleracea*) e encontrou um valor médio de 44mg/100g de frutos. Kuskoski et al. (2006) quantificaram as antocianinas de açaí de *E. oleracea* (congelado) disponíveis no mercado da cidade de Florianópolis e encontraram 22,8mg/100g de açaí.

Duas antocianinas são predominantes no açaí (*Euterpe oleracea*): a cianidina-3-rutinosídica e a cianidina-3-glucosídica, sendo estas são responsáveis pela sua cor roxo escura (PACHECO-PALENCIA; TALCOTT, 2010).

O açaí está sendo valorizado como um alimento funcional devido a suas propriedades antioxidantes, provenientes das antocianinas presentes no fruto. Antioxidante pode ser definido, de maneira geral, como qualquer substância que, mesmo presente em concentrações mais baixas que a do substrato oxidável, atrasa ou inibe a oxidação deste substrato de maneira eficaz. Biologicamente, os antioxidantes são agentes responsáveis pela inibição e redução das lesões causadas pelos radicais livres nas células (HALLIWELL; WHITEMAN, 2004).

Antocianinas 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).

2.2.3 Fibras

Fibra alimentar é descrita como uma classe de compostos de origem vegetal, constituída, principalmente, de polissacarídeos e substâncias associadas que quando ingeridos não sofrem hidrólise, digestão e absorção no intestino delgado de humanos. Esta definição de natureza, essencialmente, fisiológica tem sido aceita nos últimos 25 anos pela maioria dos cientistas que trabalham nessa área (CUPPARI, 2002).

A *American Association of Cereal Chemists* (AACC) definiu fibra alimentar como sendo: parte comestível de plantas ou carboidratos análogos que são resistentes à digestão e absorção no intestino delgado com fermentação completa ou parcial no intestino grosso. Fibra alimentar inclui polissacarídeos, oligossacarídeos, lignina e substâncias de plantas associadas. Fibra alimentar promove efeitos fisiológicos benéficos, incluindo efeito laxante, e/ou atenuação do colesterol e da glicose no sangue (AACC, 2000).

Os componentes das fibras alimentares estão, em geral, presente em dietas consumidas diariamente pela população e são encontradas em vegetais, frutos e grãos integrais. Conforme a sua solubilidade no sistema gastrointestinal, a fibra alimentar pode ser classificada em solúvel e insolúvel. A fibra alimentar solúvel, por sua vez, foi classificada em virtude a sua precipitação em etanol a 78%. Contudo, tal característica não é adequada para determinar uma boa parte dos oligossacarídeos

incluindo a povidextrose, inulina e frutoligossacarídeos. Dentro da classificação de fibra alimentar insolúvel estão compreendidos a lignina, a celulose e hemicelulose e para a fibra solúvel, as pectinas, os betaglucanos, as gomas e os frutanos (inulina e frutoligossacarídeos) (CUPPARI, 2002).

Nos últimos anos, as fibras dietéticas vêm sendo reconhecidas como importantes componentes de dietas alimentares dos seres humanos, tanto as regulares como as dietas terapêuticas. Estas fibras dietéticas 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).

O açaí é uma excelente fonte de fibra alimentar, possui 34 g em 100 g de fruto (matéria seca), sendo este o segundo componente em maior quantidade na bebida (ROGEZ, 2000). Yuyuma et al. (2002), relata que em 100g de suco a concentração média de fibra alimentar é de 5,93 g, isto corresponde a 23,8% de adequação, tomando como referencial a recomendação de no mínimo 25 g por dia. A fibra de maior predominância é a insolúvel, em média 5,11g por 100 g do fruto, enquanto a fibra solúvel 0,82 g em 100g de fruto.

2.3 Mercado consumidor

O açaí tem importância socioeconômica devido não só à sua relevância na alimentação da população ribeirinha e de mais baixa renda, mas também por seu potencial de aproveitamento. Dos frutos se extrai a polpa e subprodutos, o caroço pode ser aproveitado no artesanato, como adubo orgânico e fonte de antioxidantes, o caule para obtenção do palmito e construções rurais, as folhas para cobrir as casas dos habitantes do interior da região e ainda os estipes adultos podem ser aproveitados para pasta e polpa de celulose pela indústria de papel (HOMMA; FRAZÃO, 2002).

A exploração do açaí é de fundamental importância para as economias dos Estados do Pará, Amapá, Maranhão, Acre e Rondônia, especialmente para os dois primeiros, pois responde pela sustentação econômica das populações ribeirinhas.

Tem sido estimado que as atividades de extração, transporte, comercialização e industrialização de frutos e palmito de açazeiro são responsáveis pela geração de

25 mil empregos diretos e geram anualmente mais de R\$ 40 milhões em receitas (EMBRAPA, 2002).

O principal mercado do açaí ainda é a Região Norte, especialmente o Estado do Pará, onde o consumo ultrapassa a barreira de 200.000 toneladas por ano e se constitui no maior produtor e maior consumidor, respondendo por cerca de 93% da produção nacional, que equivale a mais de 600.000 toneladas (GALLORI et al., 2004; SAGRI, 2010).

Na década de 90 a polpa de açaí chegou a outras regiões do país e até em outros países e rapidamente tornou-se um produto popular. Possivelmente, como reflexo do interesse da população de outras regiões do país, que passaram a consumir o açaí pelas suas propriedades nutricionais e pelas novas formas de consumo com a adição de ingredientes muito diferente daqueles que tradicionalmente são usados na Amazônia. Inovações que ainda não são bem aceitas para os nortistas (GUIMARÃES, 1999; ROGEZ, 2000).

Atualmente o mercado de açaí em pó está em expansão e tem um enorme potencial, devido aos estudos que estão sendo realizados na aplicação do açaí em pó em alimentos e bebidas funcionais, a fim de ajudar na prevenção e tratamento de doenças, entre os produtos que utilizam o açaí em pó estão, as bebidas energéticas, iogurtes, barras de cereais, sorvetes, milk-shake e até dentro de cápsulas, como suplemento alimentar. Além disso, o poder antioxidante do fruto está sendo explorado em campanhas de marketing de produtos cosméticos feitos a partir do açaí (SGARBIERI; PACHECO, 1999).

O óleo de açaí é classificado como um excelente óleo de mesa, devido a sua composição de ácidos graxos (60% de monoinsaturados e 14% de poliinsaturados), apresentando o benefício de prevenir o aparecimento de doenças cardiovasculares (NASCIMENTO et al., 2008).

Pode ser comparado aos óleos de oliva que é importado e altamente consumido no país, e óleo de abacate, por ser extraído da polpa dos frutos e pela similaridade de suas propriedades físico-químicas, principalmente pela composição de seus ácidos graxos, predominando em ambos o ácido oléico (TANGO; CARVALHO; LIMONTA, 2004). Estes óleos conquistaram uma fatia nobre do mercado e são, em geral, comercializados com um valor superior ao dos demais óleos vegetais, e também é utilizado em larga escala na indústria cosmética (NASCIMENTO et al., 2008).

2.4 Desidratação

A desidratação é um método de preservação que utiliza energia térmica para remover parte ou a quase totalidade da água de alimentos. Com isso, é possível limitar ou evitar o crescimento de microrganismos ou outras reações de ordem química. A remoção da água proporciona, também, maior facilidade no transporte, armazenamento e manuseio do produto final (AMRANI; BRIGUI, 2007).

Entre várias operações unitárias disponíveis, duas serão abordadas neste trabalho, a secagem por Spray Drying e por Liofilização.

2.4.1 Spray drying

Spray drying ou secagem por atomização é uma operação unitária, utilizada em escala industrial a partir de década de 20, com a produção de leite e sabão em pó. Os produtos resultantes apresentam boa qualidade, além de facilitar o transporte pela redução de volume e, o armazenamento, pela grande redução de atividade de água (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008).

Esta operação de secagem é, por definição, a transformação de alimentos, que podem estar em forma de solução, suspensão ou pasta, em partículas secas, através da pulverização em um meio de secagem fechado com fluxo de ar quente, permitindo a evaporação dos solutos. Resultando em um produto seco, em forma de pó, grânulos ou aglomerados (MASTERS, 1985; TONON; BRABET; HUBINGER, 2008).

Segundo Masters (1985), o processo de secagem em spray dryer consiste nas quatro fases a seguir:

Atomização do líquido: A atomização, relacionada a spray drying, deve-se à divisão do líquido em milhões de partículas formando uma nuvem ou spray. Consiste em um processo de remoção de água de um material por evaporação, através dos processos de transferência de calor e massa.

Contato do líquido atomizado com o ar quente: A maneira pela qual o spray entra em contato com o ar de secagem é um fator importante neste processo de secagem, já que interfere nas propriedades do produto seco, influenciando o comportamento das gotas durante a secagem:

Evaporação da água: A evaporação de compostos voláteis de um spray envolve simultaneamente transferência de calor e de massa. Com o contato entre as gotas atomizadas e o ar de secagem, o calor é transferido por convecção do ar para as gotas, e convertida em calor latente durante a evaporação da umidade.

Separação do produto em pó do ar de secagem: A separação do produto do ar de secagem segue a conclusão da etapa de secagem, quando o produto seco continua suspensa no ar e as partículas são separadas do ar por densidade.

Todas estas fases interferem nas características do produto final. As características físicas e químicas dos alimentos (teor de sólidos, tamanho das partículas e viscosidade), tipo e mecanismo de funcionamento do atomizador, influenciam o tamanho da partícula sólida, sua densidade, aparência e umidade. O tipo de contato líquido–ar quente e as características do ar de secagem influenciam não só as características já citadas, como também a capacidade de retenção de aroma e sabor, enquanto a técnica de separação do pó do ar seco influencia a granulometria do produto desejado (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009).

A grande utilização da secagem por spray drying deve-se às vantagens de baixos riscos de degradação química durante a operação, devido ao curto tempo de contato do líquido disperso com a fonte de calor; a versatilidade na obtenção de pós, grânulos ou aglomerados e o elevado rendimento por tempo de produção. Consiste numa técnica de baixo custo, quando comparada a outras técnicas que empregam calor (MASTERS, 1985).

2.4.1.1 Microencapsulação

A microencapsulação é uma técnica que consiste no aprisionamento de um agente ativo ou núcleo (pequenas partículas sólidas, gotas de líquidos ou compostos gasosos) em um material de parede ou encapsulante, carreador, membrana ou casca (filmes finos ou coberturas poliméricas). As microcápsulas formadas podem ter diâmetros variando entre unidades de micrometros até milímetros e apresentar diversas formas, dependendo dos materiais e métodos usados para sua obtenção (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009).

As principais razões para o uso da microencapsulação em alimentos são: proteger os alimentos contra condições ambientes adversas (como luz, umidade, oxigênio, radiação UV), proteger componentes sensíveis dos alimentos contra outros

ingredientes durante a estocagem, proteger os alimentos contra perdas nutricionais ou até mesmo adicionar materiais nutritivos a eles, incorporar mecanismos de liberação controlada às formulações, mascarar ou preservar sabores e aromas e, finalmente, tornar o produto mais atrativo, promovendo uma maior flexibilidade e controle no desenvolvimento de produtos mais saborosos e nutritivos, a fim de satisfazer as expectativas dos consumidores (RÉ, 1998).

Estudos foram realizados utilizando a microencapsulação para proteger a vitamina C, em frutas como camu-camu (DIB TAXI et al., 2003), para aumentar a estabilidade do produto, como no caso do suco de acerola em pó (RIGHETTO; NETO, 2005).

Entretanto, os pós resultantes da secagem de polpas e sucos de fruta costumam apresentar características indesejáveis, tais como pegajosidade (stickiness) e alta higroscopicidade, decorrentes da presença de açúcares e ácidos de baixo peso molecular, que apresentam uma baixa temperatura de transição vítrea. Isso pode provocar a adesão do pó às paredes do secador, dificuldade de manipulação, empastamento e compactação, tornando seu armazenamento e utilização substancialmente mais difíceis. Em contrapartida, o uso de aditivos (agentes carreadores) aumenta a temperatura de transição vítrea do produto, facilitando a secagem e as operações de transporte e armazenamento (BHANDARI; HOWES, 2005).

A microencapsulação de alimentos emprega formulações contendo o ingrediente a ser preservado em mistura com agentes encapsulantes dos mais variados: amido ou seus derivados, proteínas, gomas, lipídios, ou combinações entre estes agentes. No caso das polpas e sucos de frutas, os agentes mais utilizados são as maltodextrinas e a goma arábica (DIB TAXI et al., 2003; CANO-CHAUCA et al., 2005; RIGHETTO; NETO, 2005; GABAS et al., 2007).

Neste sentido, a técnica spray drying pode ser considerada de grande importância, visto que o açaí apresenta uma grande quantidade de antocianinas e, conseqüentemente, uma elevada atividade antioxidante, quando comparado a outras frutas, e levando em conta o fato de que as antocianinas são pigmentos instáveis frente a agentes como luz, oxigênio, metais e pHs muito baixos, esta técnica pode ser utilizada com o objetivo de aumentar a estabilidade destes pigmentos (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008).

2.4.2 Liofilização

A liofilização é um processo de separação baseado no fenômeno da sublimação. Consiste na remoção do vapor de água diretamente de amostras congeladas e continuada a secagem sob vácuo, até a produção de um material estável. Para isto faz-se necessário que a temperatura e a pressão parcial de vapor d'água sejam inferiores às do ponto triplo, isto é, 0,0099°C e 4,58 mmHg. Divide-se em três etapas: na primeira etapa o material é congelado, na segunda a água é sublimada sob pressão reduzida e na terceira etapa a água ligada do alimento é removida por dessorção (PEREDA, 2005).

A água do alimento congelado passa da fase sólida diretamente para a fase de vapor, sem tornar-se líquido durante o processo. Conseqüentemente é necessário que a temperatura da zona de sublimação no material a ser liofilizado seja mantida abaixo da temperatura do ponto triplo da água ou solução aquosa do material a ser desidratado (BOSS et al., 2004).

Este processo possui vantagens quando comparado com o processo convencional de secagem: a estrutura do material é mantida, a umidade é removida a baixas temperaturas (reduz as taxas de transporte), há um aumento da estabilidade do produto durante a estocagem, a minimização de várias reações de degradação (escurecimento não enzimático, desnaturação de proteínas e reações enzimáticas), devido a fácil transição de material hidratado para desidratado (BOSS et al., 2004).

Está técnica produz alimentos desidratados de alta qualidade e permite uma melhor utilização dos componentes básicos dos produtos e com as características originais preservadas (tamanho, textura, vitaminas, sais minerais, sabor, aroma, etc.) (AMRANI; BRIGUI, 2007).

No entanto, em frente o custo do processo, é geralmente restrito a gerar produtos de alto valor agregado, tais como medicamentos, alimentos para bebês e algumas frutas e especiarias. Um dos fatores que elevam o custo é o processo que necessita de um longo prazo para ser realizado. Na verdade, o processo de baixa pressão e baixa condutividade de produtos desidratados resultam em uma transferência negativa e significativa de calor e de matéria e, portanto, a duração da operação de desidratação (ARMRANI; BRIGUI, 2007).

O processo de liofilização pode ser considerado como uma excelente alternativa de conservação da polpa de açaí, devido a preservação de importantes componentes nutricionais como, ácidos graxos, proteínas, minerais e antioxidantes (MENEZES et al., 2008; SCHAUSS, 2006).

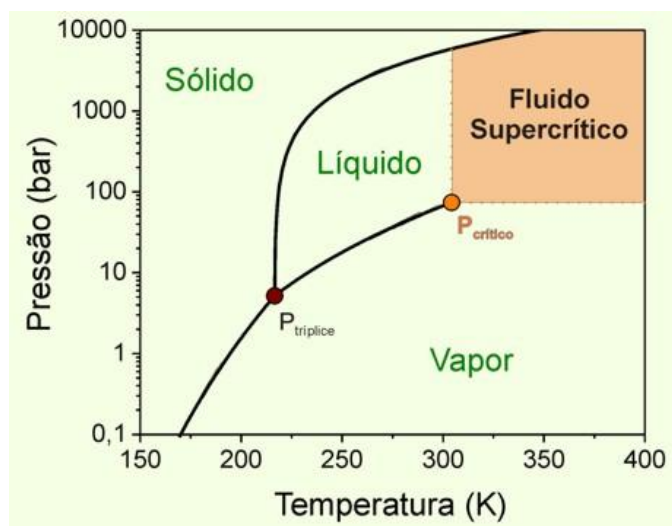
2.5 Extração de lipídeos

2.5.1 Fluido supercrítico

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).

Um composto puro é considerado no seu estado supercrítico quando encontra-se acima de sua temperatura crítica e pressão crítica, apresentando propriedades físico-químicas intermediárias entre o estado líquido e o estado gasoso (Figura 2). O aumento da pressão sob temperaturas baixas aumenta consideravelmente a densidade do fluido aproximando-se das características de um líquido, aumentando seu poder de solvatação. Porém, para pressões acima do ponto crítico um aumento da temperatura diminui a densidade do fluido, sendo esta diminuição abrandada com um aumento excessivo da pressão (HERRERO; CIFUENTES; IBANEZ, 2006).

Figura 2: Diagrama pressão *versus* temperatura para um componente puro.



Fonte: www.usp.br

Segundo Hung e Unger (1994), o processo de extração por fluido supercrítico consiste essencialmente de duas etapas: fracionamento e separação. Na etapa de fracionamento a mistura entra em contato com o fluido no extrator, a temperatura e pressão são selecionadas para maximizar o rendimento nos compostos de interesse. 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.

Algumas técnicas podem ser aplicadas na extração de óleo de matrizes vegetais, para isso alguns fatores devem ser considerados: rendimento, produtividade e seletividade. O rendimento e produtividade têm implicações econômicas e determinam a viabilidade industrial da maioria dos processos enquanto a seletividade está relacionada com a qualidade e pureza do produto (HUIE, 2002; AL-JABARI, 2002).

Atualmente há um interesse crescente em substituir compostos sintéticos por compostos naturais semelhantes, que podem ser encontrados principalmente em material vegetal. Técnicas de separação convencionais, tais como, extração com solvente e destilação geralmente têm o inconveniente de deixar resíduos de solventes orgânicos ou causar a degradação térmica. A extração com fluido supercrítico utilizando dióxido de carbono é uma alternativa promissora para a extração de produtos de elevado valor agregado (OLIVEIRA; SILVESTRE; SILVA, 2011). O fluido supercrítico apresenta diferentes densidades (poder de solvatação) a diferentes condições de pressão e temperatura, sendo possível otimizar a seletividade de constituintes da matriz durante a extração (BRUNNER, 1994).

Uma vez finalizado o processo não é necessário uma etapa adicional de eliminação do solvente obtendo-se um produto com alta pureza relativa pela descompressão do sistema. O uso de solventes orgânicos cria a necessidade de estabelecer etapas adicionais de remoção do solvente, principalmente se o produto for destinado ao consumo humano e higiene (REVERCHON, 1997). Esta etapa é considerada crítica, pois pode aumentar o custo da produção, além de gerar risco de contaminação e degradação de muitos componentes (DEL VALLE; AGUILERA, 1999).

O solvente utilizado na extração como fluido supercrítico deve apresentar os seguintes requisitos: possuir bom poder de solvatação, ser inerte ao produto, ser facilmente separado do produto, ser relativamente barato e deve ter pressão crítica

baixa. O uso do dióxido de carbono como solvente no processo de extração supercrítica, além de apresentar estes requisitos pode ser comumente empregado na indústria de alimentos por ser atóxico, não carcinogênico e não inflamável, além de não ser prejudicial à saúde humana quando inalado a baixas concentrações (BRUNNER, 1994).

A extração com fluido supercrítico (SFE) de líquidos e materiais sólidos vem ganhando crescente interesse e aplicação comercial nas últimas décadas, mais particularmente sob o conceito recente da química verde e biorefinaria (OLIVEIRA; SILVESTRE; SILVA, 2011). Em consequência disto, esta técnica tornou-se uma alternativa importante na extração de produtos a partir de matérias primas vegetais, sendo utilizado no processamento de diversas matérias primas, como grãos de café, laranja, águas poluídas, plantas, frutas, raízes, fungos, óleo de peixe, dentre outros (MAUL, 2000).

Na literatura há muitos exemplos de extração de substâncias oleosas de diferentes matérias-primas tais como óleo de uva (FREITAS et al., 2008) noz-moscada (MACHMUDAH et al., 2006), polpa de tucumã (FRANÇA; MEIRELES, 1998), buriti (FRANÇA et al., 1999) e pupunha (ARAÚJO et al., 2000) dentre outros.

2.5.2 Outros métodos de extração

A extração por solvente é uma operação de transferência de massa amplamente utilizada na indústria de alimentos para retirar o óleo 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 (PERRY; CHILTON, 1986).

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. Esses fatores podem afetar a qualidade organoléptica do alimento (LAMEIRA; COELHO; MOTHÉ, 1997, SAHENA et al., 2009).

Em geral, os lipídeos são compostos solúveis em solventes não-polares, pelo qual este tipo de solventes é utilizado para realizar a sua extração. Inúmeros tipos de solventes têm sido propostos para substituir o hexano na extração de óleos

vegetais, água, hidrocarbonetos halogenados, aldeídos (furfural), cetonas (acetona, butanona, metiletilcetona) e etanol (HRON; KOLTUN, 1984; SILVA; TURATTI, 1991; ABRAHAM et al., 1993; KUK; HRON, 1998, GUNSTONE, 2005).

O uso do etanol para substituir outros solventes, apresenta boas perspectivas comerciais, uma vez que, o etanol pode ser obtido a partir de diferentes fontes vegetais, a preços competitivos. Além disso, o álcool não é tóxico e, embora também inflamável, é menos perigoso que o hexano e o éter de petróleo. Esse reagente originário de fontes renováveis e abundantes de matéria-prima, não apresenta grande toxicidade. A obtenção de etanol a partir da cana de açúcar coloca o Brasil em uma posição privilegiada para desenvolver novas tecnologias, visando a eliminação de derivados de petróleo. (FREITAS et al., 2004; FREITAS et al., 2007).

Outro método de extração de óleo de matriz vegetal é a extração mecânica que consiste na separação de líquidos de sólidos pela aplicação de forças de compressão, e geralmente usada 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 (BRENNAN et al., 1990).

Quando o resíduo sólido da operação é relevante para o uso em alimentação humana é de extrema importância que se evite a desnaturação das proteínas e a presença de solventes no resíduo sólido, sendo a prensagem hidráulica uma alternativa adequada neste caso (ORDÓÑEZ, 2005).

As prensas hidráulicas são equipamentos constituídos por um pistão, acionado hidraulicamente, que comprime o material contido em um cesto provido de um orifício de saída para o líquido prensado, em ciclos de tempo e pressões definidas (RITTNER, 1996).

A prensagem hidráulica é um método que, por não utilizar solvente ou algum tipo de gás, obtém-se um produto com suas propriedades naturais preservadas, além disso, não utiliza energia elétrica e não gera aquecimento nem no óleo e 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 (MORETTO; FETT, 1998).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Matéria-prima

A matéria-prima utilizada, açaí pasteurizado e congelado, foi gentilmente cedida pela empresa Amazonfrut, uma empresa localizada em Belém-PA. Foram utilizadas amostras de um mesmo lote e armazenadas em câmara frigorífica com temperatura de aproximadamente -18°C .

3.2 Caracterização da matéria-prima

Para a realização das análises as polpas eram previamente descongeladas em refrigerador comercial (CONSUL), na quantidade necessária para cada análise específica.

As análises foram realizadas nos sub-laboratórios que estão sob a responsabilidade da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA)/ITEC/UFGA, com exceção da antocianina que foi feita no Laboratório de Agroindústria/EMBRAPA/PA. Todas as análises foram feitas em triplicata.

3.2.1 Físico-químicas

Teor de água: Foi determinado através do método da estufa a 105°C , segundo o método 935.29 da AOAC (2002) até peso constante.

Resíduo mineral fixo (Cinzas): Baseada no método gravimétrico pela perda de peso das amostras submetidas a incineração a 550°C , segundo a AOAC 940.26 (2002).

Lipídeos totais: Fração obtida por meio de extrator do tipo Soxhlet, utilizando-se éter de petróleo como solvente orgânico, por cerca de 3 horas, segundo a descrição do método 963.15 da AOAC (2002).

Proteínas: Foi realizada utilizando o método Kjeldahl, no digestor TE-1001 (TECNAL) e no destilador MA-036 (MARCONI), empregando fator de conversão do nitrogênio 6,25 (AOAC 991.20, 2002).

Carboidratos: Foi calculado como a diferença entre 100 e a soma do conteúdo de proteínas, lipídeos, fibra alimentar, umidade e cinzas.

3.2.2 Fibras alimentares

Foi utilizado o método fibra detergente ácido (FDA), determinada de acordo com o protocolo experimental descrito por VAN SOEST et al. (1965). O método consiste na extração a quente com a solução detergente (CTAB – Cetremide cetil trimetila mono brometo), seguida de filtração e lavagem da amostra com água quente e acetona, os cadinhos contendo as fibras foram secos em estufa a 105°C, o peso perdido é calculado como fibra bruta.

3.2.3 Antocianinas

Foi utilizado o método estabelecido por Askar e Treptow (1993) e otimizado por Rogez (2000), que baseia-se em diluições da amostra em tampões pH 1,0 e 4,5, seguido de leituras no espectrofotômetro em dois comprimentos de onda: 514 e 700nm. Para realizar esta quantificação utilizou-se o espectrofotômetro SHIMADZU modelo UV-160^a. A concentração de antocianina foi calculada a partir da equação (1).

$$C = \frac{A_{514} - A_{700}_{pH1,0} - (A_{514} - A_{700}_{pH4,5}) \times D \times F}{1} \quad (1)$$

Onde:

C = Concentração de antocianinas em mg/L da polpa;

F = 18,6786; fator de conversão ligado ao coeficiente de extinção molar e peso molecular das antocianinas do açaí;

D = Diluição feitas nas amostras.

Para a obtenção da concentração de antocianina nas amostras de açaí em pó foi utilizada a equação (1.1), considerando-se apenas a matéria seca, uma vez que quase toda a água é removida nos processos de secagem.

$$C_{anto} = \frac{A \times V}{M} \quad (1.1)$$

Onde:

C_{anto} = Concentração de antocianinas em mg/g de massa da amostra seca;

A = Resultado concentração de antocianinas em mg/L da polpa;

V = Volume da solução extratora (L);

M = Massa da amostra seca (g).

3.2.4 Análise microbiológica

As análises microbiológicas realizadas segundo metodologia do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2003) foram:

Contagem padrão de coliformes a 45° C: A contagem padrão de coliforme foi feita por meio da inoculação das colônias suspeitas em caldo EC e posterior incubação em temperatura seletiva de $45 \pm 0,2^\circ\text{C}$, em banho-maria por 48 horas.

Presença/Ausência/25g de salmonela SSP: Para detecção de salmonela utilizou-se procedimento composto por 3 etapas. A primeira é o pré-enriquecimento que consiste em incubar a amostra a $36 \pm 1^\circ\text{C}$ por 16 a 20 horas, adicionada de 225 mL de solução salina peptonada 1% tamponada; a segunda etapa é o enriquecimento no caldo tetrionato; e a terceira é o plaqueamento em meios sólidos SS e XLD.

Bolores e Leveduras: Para a determinação de bolores e leveduras, foi utilizado o método de contagem em placas, com o meio de cultura agar acidificado (ácido tartárico), incubadas a $25 \pm 1^\circ\text{C}$, por 5 a 7 dias, em incubadora de D.B.O..

3.3 Desidratação do açaí

Para extração do óleo do açaí pelos métodos utilizados neste trabalho (item 3.4), o mesmo deve ser isento ou apresentar o mínimo de água na sua constituição. Deste modo foram realizados procedimentos para a desidratação da matéria-prima, visando a obtenção de açaí desengordurado de boa qualidade. Para isto, foram utilizados os processos de liofilização (“freeze drying”) e secagem por atomização (“spray drying”), sendo esta realizada com e sem agente carreador.

3.3.1 Desidratação do açaí por liofilização

Para o processo de liofilização da amostra, a mesma passou por um pré-preparo que consiste no congelamento da polpa em freezer comercial (CONSUL) na temperatura de $-26,4^{\circ}\text{C}$, por 24 horas.

A liofilização foi realizada no Laboratório de Operações de Separação (LAOS) da Faculdade de Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal do Pará (UFPA). O equipamento utilizado foi o Liofilizador LS6000 (TERRONI EC, SP, Brasil) (Figura 3), na pressão de $120\ \mu\text{mHg}$, e o condensador na temperatura de -51°C por 24 horas.

Figura 3 - Liofilizador *LC Terroni*



Fonte:Elaborada pelo autor

3.3.2 Desidratação por atomização em spray dryer

Para este processo de desidratação foi usado um spray dryer modelo Mobile Minor (NIRO ATOMIZER, Copenhagem, Dinamarca) (Figura 4), com disco rotativo (Figura 4b) e pressão do ar de $6\ \text{kg/cm}^2$, pertencente ao Laboratório de Agroindústria, Embrapa/PA. Como agente carreador utilizou-se maltodextrina MOR-REX 1910 (CORN PRODUCTS, SP, Brasil). A alimentação do equipamento foi

realizada com o auxílio de uma bomba dosadora peristáltica modelo BP-601 (MILAN, SP, Brasil).

Figura 4 – Equipamento de desidratação por Spray dryer



(a)



(b)

Legenda: (a) Spray dryer *Niro Atomizer* utilizado na desidratação da polpa do açaí. (b) Atomizador disco giratório. Fonte: Elaborada pelo Autor

3.3.2.1 Análise dos efeitos da temperatura e concentração de maltodextrina na concentração de antocianina e rendimento do pó de açaí

Para avaliar os efeitos de temperatura do ar de entrada e quantidade de maltodextrina, foram feitos experimentos tomando como base o estudo realizado por Tonon, Brabet e Hubinger (2009), que de forma semelhante utilizou a técnica “spray drying” em açaí (filtrado). Neste estudo, os autores analisaram a influência do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó produzido por atomização. A temperatura do ar de secagem variou de 138 a 202 °C e a concentração de maltodextrina variou de 10 a 30%. As características analisadas foram: umidade, higroscopicidade, retenção de antocianinas, cor, distribuição do tamanho de partículas e morfologia. Os resultados mostraram que a concentração de maltodextrina não influencia significativamente na retenção de antocianina, mas o aumento desta resultou em partículas maiores e menos higroscópicas. O estudo mostrou também que a temperaturas menores a

retenção de antocianina é maior, além de apresentar superfícies mais rugosas, o que é positivo para a extração do óleo. No entanto, temperaturas muito baixas resultam num tempo de secagem muito alto.

Deste modo, adaptando as condições para a matéria-prima açai com 14% de sólidos totais, foram definidos os níveis da temperatura do ar de entrada e da concentração de maltodextrina para os experimentos preliminares num delineamento experimental fatorial 2^2 com triplicata do ponto central, para verificar qual a influência destas variáveis na retenção de antocianina e no rendimento do processo de desidratação. A temperatura de saída do ar foi de 85°C para todos os ensaios.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os valores das variáveis independentes nos dois níveis e os ensaios correspondentes para o planejamento experimental, respectivamente.

Tabela 1 - Variáveis independentes codificadas

Variáveis	-1	0	+1
Temperatura (°C)	140	150	160
Maltodextrina (%)	5	7,5	10

Tabela 2 – Planejamento experimental da desidratação por atomização do açai

Ensaio	Temperatura (°C)	Maltodextrina (%)
1	140	5
2	160	5
3	140	10
4	160	10
5	140	5
6	160	5
7	140	10
8	160	10
9	150	7,5
10	150	7,5
11	150	7,5

A seleção de uma condição operacional da desidratação por atomização foi feita através da análise dos efeitos da temperatura e % de maltodextrina na retenção de antocianina e no rendimento do processo de desidratação, dentro do planejamento fatorial 2^2 , com o auxílio do software Statística 7.0 (StatSoft, USA).

A partir da melhor condição obtida através dos experimentos, foi realizada a atomização do açaí nas mesmas condições operacionais, no entanto, sem a adição do agente carreador, a fim de, verificar também o comportamento desta amostra (açaí atomizado sem maltodextrina) na retenção de antocianina.

3.3.3 Caracterização do açaí desidratado

Foi realizada a caracterização dos produtos obtidos das desidratações do açaí: açaí atomizado com maltodextrina, açaí atomizado sem maltodextrina e açaí liofilizado.

3.3.3.1 Análises de lipídeos, antocianinas e rendimento do processo de desidratação

Todas as análises foram feitas em triplicata e são descritas a seguir:

Lipídeos: Foi utilizada a metodologia conforme o item 3.2.1

Antocianinas: Foi utilizada a metodologia conforme o item 3.2.3

Rendimento do processo de desidratação: Foi calculado através da relação entre a quantidade de sólidos presentes na mistura antes de entrar no secador e a quantidade de sólidos presentes no produto final, de acordo com a equação 2.

$$R_d = \frac{M_f \times ST_f}{M_i \times ST_i} \times 100\% \quad (2)$$

Onde:

R_d = Rendimento do processo de desidratação por atomização (%);

M = Massa inicial de açaí (g);

M_f = Massa final de açaí desidratada(g);

ST_i = Sólidos totais inicial (%);

ST_f = Sólidos totais final (%).

3.3.3.2 Microscopia eletrônica de varredura

O estudo da morfologia das partículas foi realizado através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LABMEV) no Instituto de geociências - UFPA. As amostras de açaí desidratado foram metalizadas com platina e o tempo de recobrimento foi de dois minutos, sendo utilizado o microscópio eletrônico, modelo LEO-1430. As condições de análises para as imagens de elétrons secundários foram: 90 μ A para corrente do feixe de elétrons; 15 mm de distância do trabalho, e voltagem de aceleração constante.

3.3.3.3 Taxa de molhabilidade

Para verificar a taxa de molhabilidade das amostras foi utilizada a metodologia proposta por Hla e Hogeekamp (1999). O método consistiu na queda de 1,0 g de amostra sobre 200 mL de água destilada a 25°C, em bquer de 250 mL, e medição do tempo necessário, com a ajuda de um cronômetro, para que todas as partículas molhassem e desaparecessem da superfície do líquido em repouso.

As análises foram feitas em triplicata e o cálculo da taxa de molhabilidade foi feito através da Equação 3.

$$T = \frac{N}{t} \quad (3)$$

Onde:

T - Taxa de molhabilidade (g/s^{-1})

N - Massa da amostra (g)

t - tempo (s)

3.3.3.4 Coloração

Para a caracterização da cor do açaí desidratado, as análises foram conduzidas utilizando-se colorímetro MINOLTA Mod. CR-310 (Osaka, Japan) e expressas as medidas em L^* , a^* , e b^* , que foram utilizados para cálculo do ΔE ou variação de cor, H° (Ângulo Hue) ou tonalidade e C (Croma), através das Equações 4, 5 e 6. O valor L^* fornece a luminosidade, variando do branco ($L=100$) ao preto ($L=0$). O valor de a^* caracteriza a coloração na região do vermelho ($+a^*$) ao verde ($-a^*$), o valor b^* indica a coloração no intervalo do amarelo ($+b^*$) ao azul ($-b^*$).

$$\Delta E = \left(a^2 + b^2 + L^2 \right)^{1/2} \quad (4)$$

$$C = \left(a^2 + b^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

$$H^\circ = \text{arc tg } b/a \quad (6)$$

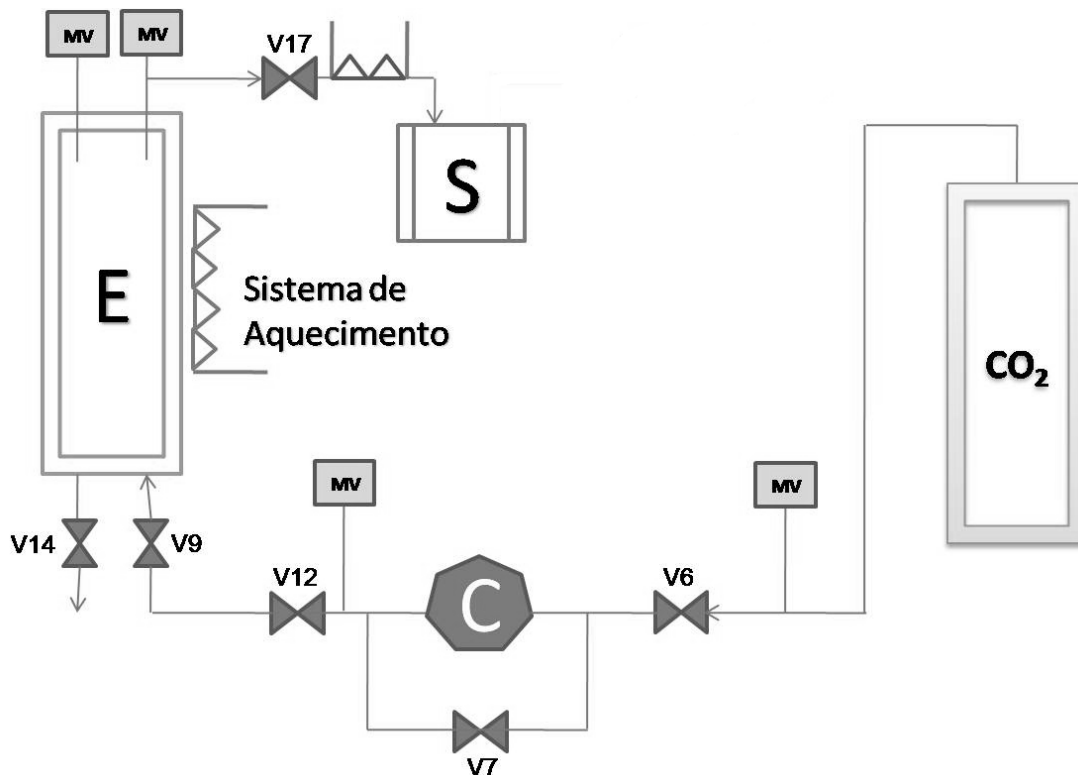
3.4 Extração do óleo do açaí desidratado

O óleo do açaí desidratado pode ser extraído de diversas formas, no entanto, a maximização do rendimento do processo, bem como a qualidade do produto final, devem ser consideradas. Foram feitos três tipos de extração: com CO_2 supercrítico, com etanol e com prensagem hidráulica.

3.4.1 Extração com CO_2 supercrítico

Os experimentos de extração com CO_2 supercrítico foram realizados na planta de extração por fluido supercrítico instalada no Laboratório de Operações de Separação (UFPA). A planta funciona de acordo com o esquema apresentado na Figura 5.

Figura 5: Sistema de funcionamento do equipamento de extração supercrítica.



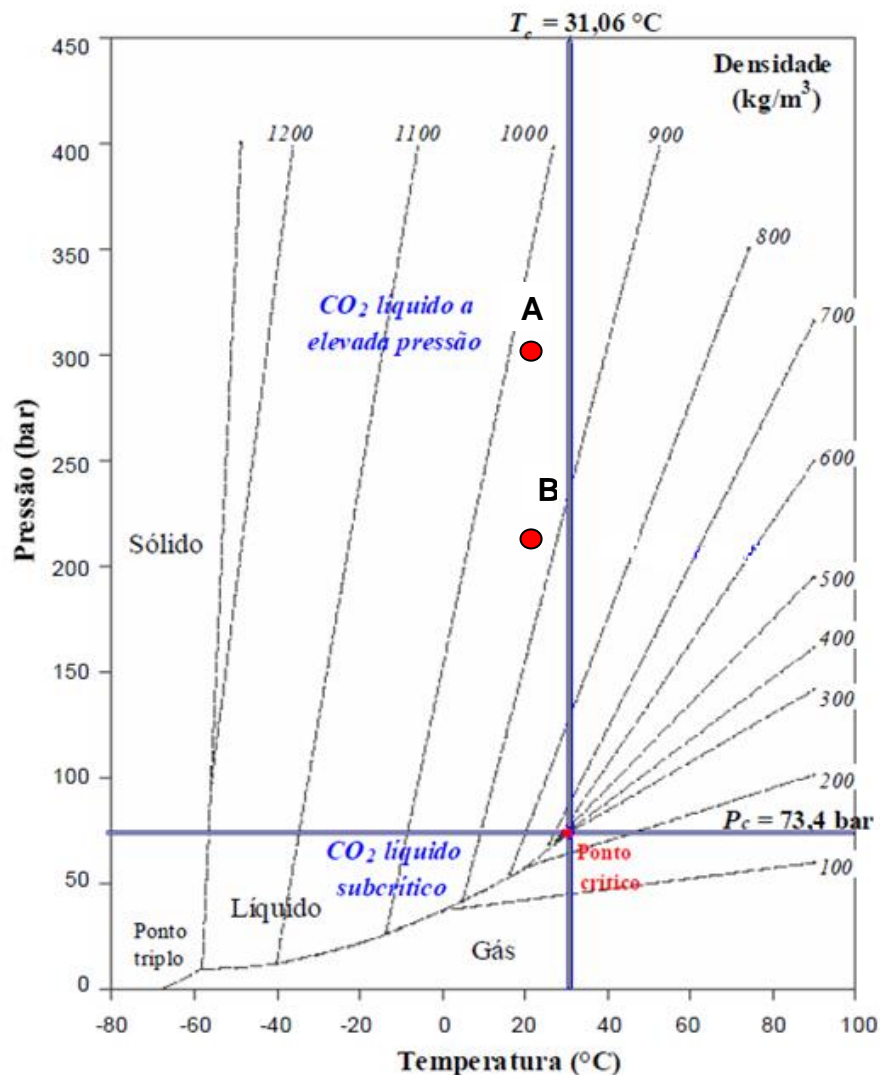
Legenda: E: Extrator; S: Separador; C: compressor; CO₂: Cilindro de CO₂; Vn: Válvulas; Mv: Manômetros.

A cada ensaio de extração supercrítica, primeiramente ligava-se o banho termostático, que aquece o extrator a cerca de 10°C acima da temperatura de extração (50°C). A válvula de controle de CO₂, (V17), era aberta, permitindo a circulação de CO₂ através do sistema, expulsando o ar existente no mesmo. A seguir, a mesma válvula (V17) era fechada para carregar o sistema com CO₂, até que as pressões do extrator e do cilindro estivessem em equilíbrio. Posteriormente, ligava-se o compressor (C) para que a pressão de extração desejada fosse alcançada, e então a válvula de controle de CO₂ (V17) era aberta, dando início ao processo de extração. A válvula (V7) foi utilizada para controle das condições de temperatura e pressão.

Objetivando-se trabalhar nas condições de maior solvatação do CO₂ e ainda, dentro dos limites do equipamento de extração supercrítica, as extrações foram feitas nas pressões de 200 e 300 bar, à 50 °C, e densidade do CO₂ de 850 e 750 Kg/m³ (ver Figura 6), respectivamente, o que garante um maior poder de solvatação

do CO₂, uma vez que, a densidade de um fluido supercrítico aumenta com o aumento da pressão à temperatura constante e o poder de solvatação aumenta com o aumento da densidade (CLIFFORD, 1999).

Figura 6 - Diagrama pressão-temperatura do dióxido de carbono.



Legenda: Densidade do CO₂ supercrítico - A: 850 Kg/m³ e B: 750Kg/m³ . Fonte: Adaptado Brogle-1982

Cada ensaio foi feito com uma quantidade de matéria-prima que variava de acordo com a condição da desidratação (por atomização com e sem maltodextrina e, por liofilização), sendo que a mesma era sempre acondicionada num recipiente de aço inox de 2,7 cm de diâmetro e 14,5 cm de altura. A vazão do CO₂ foi mantida constante, 15 g/min, em virtude das limitações operacionais, pois acima deste valor ocorre congelamento com a redução da pressão na válvula de controle de CO₂ que

precede o separador óleo/CO₂. A coleta do óleo era feita em intervalos de tempo pré-determinados de acordo com o desenvolvimento de cada extração. Após cada coleta os tubos coletores de óleo eram acondicionados em um dessecador até o momento de pesagem, para que não ocorresse o ganho de umidade pelo produto, no momento da saída do CO₂. A massa de óleo coletada a cada intervalo de tempo foi usada para a avaliação do comportamento da cinética da extração através da construção de curvas de extração relatando percentagem de massa de óleo extraída versus tempo de extração.

O rendimento da extração foi calculado através da Equação 7.

$$R_{ext} = \left(\frac{\text{Massa total de óleo coletada}}{\text{Massa de óleo na amostra}} \right) \times 100 \quad (7)$$

3.4.1.1 Seleção da extração supercrítica

Com o objetivo de selecionar apenas um experimento de extração supercrítica para comparação com os demais tipos de extração (itens 3.4.2 e 3.4.3) foi feita uma avaliação da cinética da extração de óleo do açaí desidratado, e também da retenção de antocianina no produto final desengordurado.

Após a seleção do tipo de desidratação e pressão a ser utilizada na extração supercrítica, foram realizadas duas repetições desse ensaio visando à obtenção de parâmetros para a análise estatística.

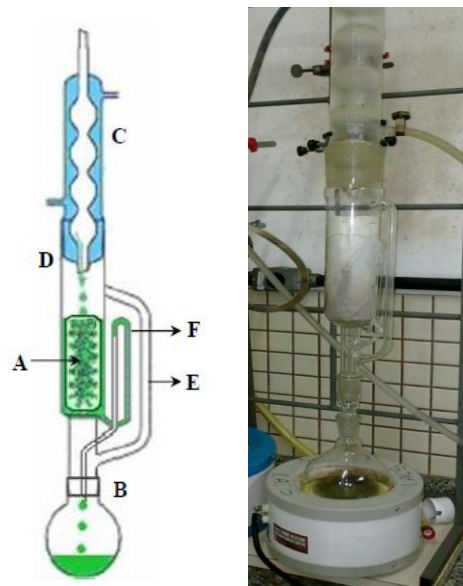
3.4.2 Extração com etanol

A extração de óleo com etanol foi feita, em triplicata, no sistema mostrado na Figura 7 que é constituído por manta de aquecimento, balão de 500 mL onde fica o solvente, extrator tipo Soxhlet onde fica a matéria prima e, condensador.

Foram utilizados 15 g de açaí desidratado acondicionados em um cilindro de papel filtro (A), e este inserido no tubo interno do aparelho do soxhlet (D). O extrator foi ajustado ao condensador de refluxo (C) e ao balão (B), onde se colocou 250 mL de etanol. Na temperatura de 65°C o vapor produzido pela ebulição, subiu pelo tubo (E), condensou no condensador (C) e o solvente condensado caiu no cilindro (A) e

lentamente encheu o corpo do tubo (D). Quando o solvente alcançava o topo do tubo (F), era sifonado para dentro do balão (B). O processo é repetido até que a extração se complete, por cerca de 4 horas. O etanol foi removido usando-se um rota evaporador da marca HEIDOLPH, modelo Laborota 4000.

Figura 7- Unidade de extração lipídica com solventes orgânicos (Soxhlet).



Fonte: Adaptado Condori (2005)

3.4.3 Extração por prensagem

A extração por prensagem foi feita utilizando-se uma prensa mecânica de bancada com capacidade de 15 toneladas. Cerca de 250 g de amostra de açaí desidratado foram colocados em um cilindro de aço inox e submetidos à pressão máxima do equipamento.

3.5 Caracterização do açaí desengordurado

Após a extração lipídica das amostras de açaí atomizado com e sem maltodextrina e açaí liofilizado, estas foram submetidas à caracterização quanto ao teor de lipídeos, antocianina, atividade de água, taxa de molhabilidade e cor.

3.5.1 Lipídeo

Foi utilizada metodologia conforme o item 3.2.1.

3.5.2 Quantificação de antocianina

Foi utilizada metodologia conforme o item 3.2.3.

3.5.3 Taxa de molhabilidade

Metodologia utilizada conforme o item 3.3.3.3.

3.5.4 Atividade de água

A atividade de água (A_w) das amostras foi obtida por leitura direta no termo-higrômetro AQUA-LAB digital, modelo CX-2 (Decagon Devices Inc., EUA), com temperatura controlada de $25,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

3.5.5 Coloração

Metodologia utilizada conforme o item 3.3.3.4.

3.6 Características do óleo de açaí

O óleo de açaí resultante da extração com CO_2 supercrítico à 300 bar e 50°C com o açaí liofilizado foi analisado quanto à acidez, rendimento e perfil de ácidos graxos.

3.6.1 Acidez

Foi utilizado o método AOCS Cd 3d-63 (AOCS, 1998), o qual determina o número de miligramas de hidróxido de potássio necessário para neutralizar os ácidos graxos livres em 1 grama da amostra.

3.6.2 Perfil de ácidos graxos

Foi realizada análise dos ésteres metílicos de acordo com a metodologia descrita *Commission des Communautés Européennes* (1977), que consiste em separar, identificar e quantificar os ésteres metílicos de ácidos graxos.

A determinação do perfil de ácidos graxos foi realizada em cromatógrafo a gás (VARIAN CP-3380) equipado com detector de ionização de chama e coluna capilar de sílica fundida (CP-Sil 88 – 60 m x 0,25 mm). No cromatógrafo, foi injetado 1 µL de amostra em sistema split, utilizando Hélio como gás de arraste. A temperatura do injetor foi de 250°C e do detector de 250°C. O tempo total das análises foi de 41 minutos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características da matéria-prima

As características do açaí pasteurizado são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição centesimal da polpa de açaí pasteurizado

Componente	Valor
Água (%)**	85,7 ± 0,6
Lipídeos (%)*	45,8 ± 0,9
Proteínas (%)*	11,2 ± 0,3
Cinzas (%)*	4,2 ± 0,4
Fibras insolúveis (%)*	11,5 ± 0,0
Carboidratos (%)***	12,94
Antocianinas (mg/g)*	4,2 ± 0,1

* % Base seca **base úmida ***calculado por diferença

O teor de água contido no açaí foi de 85,7%, perfazendo um total de 14,3% de sólidos totais, sendo classificado como tipo A (açaí grosso ou especial), de acordo com a legislação brasileira estabelecida pela ANVISA (BRASIL, 2000). O percentual de lipídeos de 45,8 na matéria seca, encontrado no açaí pasteurizado aproxima-se dos resultados de estudos publicados por Tonon, Brabet, Hubinger (2009) e Nascimento et al., (2008), que obtiveram 46% e 42,61% de lipídeos na polpa, respectivamente.

Com relação ao teor de proteínas, os resultados encontrados por outros autores, como Pereira, Queiroz e Figueiredo (2002) e Alexandre, Cunha e Hubinger (2002), aproximam-se ao valor de 11,2%, encontrado no açaí estudado.

Segundo a Portaria nº 27 de 1998 – Regulamento Técnico Referente à Informação Nutricional Complementar (BRASIL, 1998), um alimento é considerado rico em fibras quando possui uma quantidade maior a 6g/100g de alimentos sólidos e 3g/100ml de alimentos líquidos, por isso pode-se dizer que o açaí pasteurizado utilizado é classificado como alimento rico em fibras. Rogez (2000) pesquisou os teores de nutrientes de polpas oriundas de várias espécies de açaizeiro, verificou

aproximadamente 30% de fibras em média. Yuyama et al (2002), também verificou o teor de fibras do suco de açaí e encontrou um percentual de cerca de 6% em média. Contudo, sabe-se que esta informação está diretamente ligada à eficiência da etapa de filtração existente no processamento do açaí, logo o valor de fibra no produto açaí pode ser muito variável.

Os carboidratos foram calculados por diferença e incluem as fibras solúveis em água, apresentando um valor de 12,94%. Estudos demonstram que o açaí possui teor de carboidratos relativamente baixo, não sendo considerado um alimento fonte de hidratos de carbono (Rogez, 2000).

Com relação ao teor de antocianina observa-se uma elevada concentração deste polifenol no açaí, 4,2 mg/g de matéria seca. Kuskoski et al. (2006) obtiveram para a polpa fresca de açaí 0,3 mg/g. Iaderoza et al. (1992) fez a extração de antocianinas a partir dos frutos de *E. oleracea* e *E. edulis*, trabalhando com cromatografia em papel identificou a cianidina-3-glucosídeo e cianidina-3-rutinosídeo como as principais antocianinas em ambas as espécies, neste estudo, a quantidade de antocianinas encontradas em *E. oleracea* e *E. edulis* foi de 0,336 mg/g e 13,47mg/g de frutos, respectivamente. Nota-se que a base de cálculo utilizada pelos autores na literatura não é detalhada dificultando a comparação dos resultados.

4.2 Características microbiológicas

Os resultados das análises microbiológicas realizadas na polpa do açaí pasteurizado e congelado estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise microbiológica da polpa de açaí

Componente	Resultado
Bolores e Leveduras	4,1x10 ² UFC/g est.
<i>Salmonella sp.</i>	AUSÊNCIA / 25 g
Coliformes a 45°C	AUSÊNCIA

De acordo com os resultados obtidos nas análises microbiológicas realizadas na amostra de polpa de açaí, pode-se afirmar que a mesma apresenta qualidade microbiológica, referindo-se a ausência de *Salmonella sp.* e coliformes termotolerantes na amostra, já que a polpa fora pasteurizada.

A Instrução Normativa nº 62, de agosto/2003, estabelece um limite máximo de 2×10^3 UFC/g ou ml de bolores e leveduras para polpa conservada quimicamente e/ou que sofreu tratamento térmico. Desse modo, a amostra se enquadra nos limites preconizados pela Instrução Normativa para polpa de frutas, pois, apresentou $4,1 \times 10^2$ UFC/g de bolores e leveduras, sendo considerada segura para o consumo.

4.3 Avaliação da desidratação por atomização

4.3.1 Características do processamento

O atomizador utilizado apresentou boa funcionalidade levando em consideração a viscosidade e quantidade de fibras existente no produto utilizado. Em outros estudos da literatura envolvendo desidratação da polpa do açaí verificou-se que alguns equipamentos possuem dificuldade de processar tal produto, uma vez que, as fibras existentes na polpa, entopem as saídas do atomizador gerando uma menor vazão do produto.

O fluxo excessivo de alimentação de polpa de açaí durante o processamento resultava em perda de matéria-prima, pois a polpa depositava-se nas paredes do equipamento sem que a mesma fosse completamente desidratada, portanto foi estabelecida a vazão de média 3,7 g/min, que permitia uma menor perda de matéria-prima e uma secagem mais homogênea. Essa aderência provavelmente está relacionada à presença de açúcares na matriz, principalmente frutose e glicose, responsáveis pela caramelização do material (GOMES, 2009). Segundo Magalhães Netto (1997), a aderência pode ainda estar relacionada a uma mudança de estado físico do alimento devido à formação de materiais amorfos que acontecem durante a rápida remoção da água em processos de desidratação em spray dryer.

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados obtidos nos experimentos, em termos de rendimento e teor de antocianina, seguindo o planejamento experimental 2^2 com um ponto central.

Tabela 5 – Resultados da secagem por atomização

Temperatura (°C)	Maltodextrina (%)	Rendimento (%)	Antocianina (mg/g)
140	5,0	68,8	3,47
160	5,0	81,4	2,95
140	10,0	83,4	2,70
160	10,0	86,6	1,99
140	5,0	75,1	3,37
160	5,0	83,9	2,86
140	10,0	77,9	2,98
160	10,0	81,6	1,63
150	7,5	83,5	1,47
150	7,5	79,3	1,98
150	7,5	79,8	1,51

4.3.2 Avaliação dos Efeitos

Os resultados foram submetidos a uma análise estatística para avaliação da influência da temperatura e da concentração de maltodextrina sobre o rendimento da secagem e a qualidade do açaí em pó obtido, cujos resultados são mostrados nas Tabelas 6 e 7.

A um nível de significância de 5 % ($p < 0,05$) observa-se influência das duas variáveis isoladas sobre o rendimento, apesar de não haver influência da combinação destas. Pelos coeficientes estimados este efeito é positivo, ou seja, aumenta o rendimento quando é aumentada a temperatura ou a concentração de maltodextrina.

Com relação ao teor de antocianina no produto o efeito da temperatura é negativo, mas não é significativo neste nível de significância ($p < 0,05$), como também não é significativo o efeito da concentração de maltodextrina.

Tabela 6 – Estimativa dos efeitos das variáveis sobre o rendimento da secagem

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	(t)	(p)
Média	80,1118	0,90690		
TE	7,10000	2,12687	3,33824	0,01245
CM	5,07000	2,12687	2,38379	0,04861
TE x CM	-3,59000	2,12687	-1,68793	0,13528

Tabela 7 – Estimativa dos efeitos das variáveis sobre a qualidade do produto

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	(t)	(p)
Média	2,4455	0,19249		
TE	-0,77050	0,45144	-5,62524	0,1316
CM	0,83985	0,45144	-5,16072	0,1052
TE x CM	-0,25630	0,45144	-1,71667	0,5879

Essas observações também podem ser confirmadas por uma análise gráfica. O gráfico de Pareto (Figura 8) mostra a maior influência da temperatura sobre o rendimento, e nenhuma influência significativa das duas variáveis sobre o teor de antocianina (Figura 9).

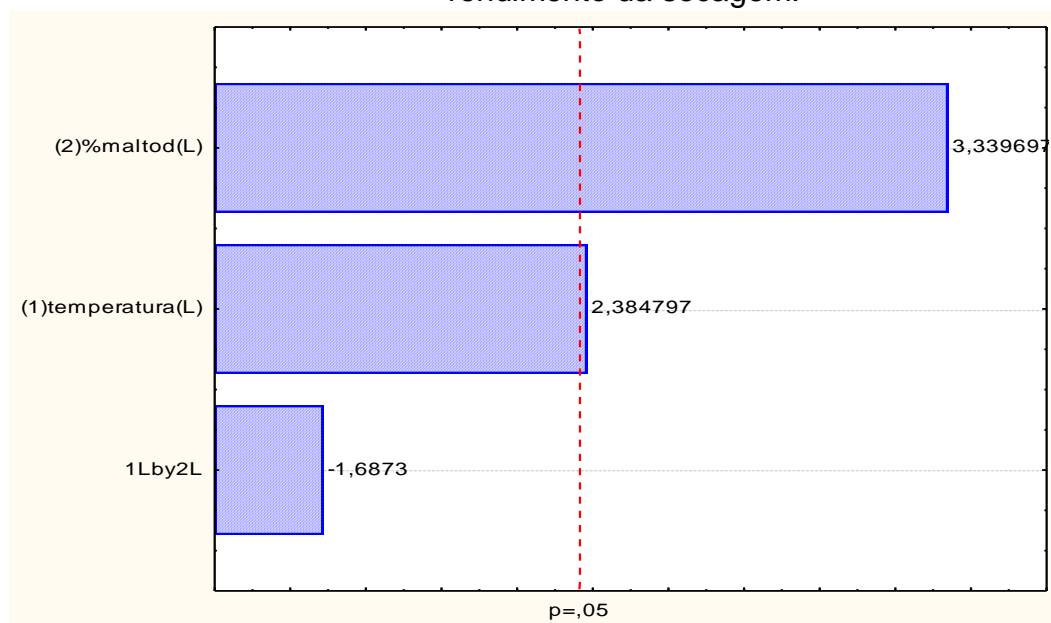
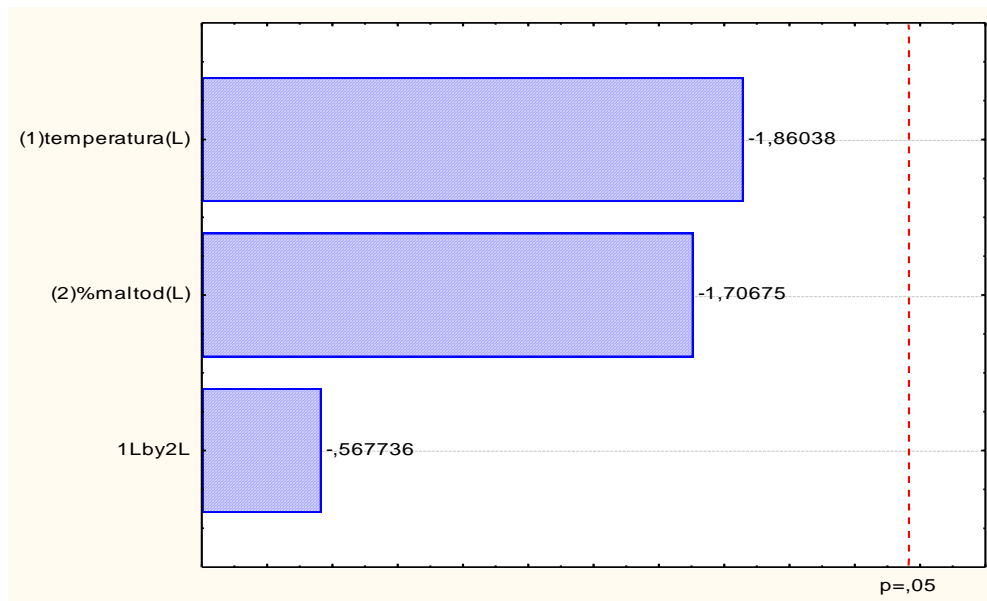
Figura 8 – Influência da temperatura e concentração de maltodextrina sobre o rendimento da secagem.

Figura 9 – Influência da temperatura e concentração de maltodextrina sobre o teor de antocianina no pó de açaí produzido



Vasconcelos et al. (2005), estudaram a influência da temperatura de secagem e da concentração de agente carreador nas características dos extratos de aroeira secos em spray dryer e observaram que os extratos processados sob a temperatura e concentração de agente carreador mais elevado apresentaram maior rendimento.

Toneli et al. (2008) estudou a secagem de insulina (spray drying), e em seus resultados verificou que a temperatura do ar de secagem exerceu influência significativa sobre o rendimento do processo. De acordo com o autor, esse resultado pode ser associado ao fato de o processo de transferência de calor e massa que ocorre durante a secagem ser mais eficiente quando realizado sob maiores temperaturas.

4.3.3 Características do açaí desidratado

As características do açaí desidratado por atomização com e sem maltodextrina e ainda por liofilização são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Características do açaí desidratado

Açaí desidratado	Lipídeo (%)	Antocianina (mg/g)	Rendimento (%)	Molhabilidade g/s
Com maltodextrina	32,6 ± 0,4	2,62± 0,2	71,95 ± 2,1	0,11 ± 0,0
Sem maltodextrina	41,8 ± 0,5	4,09 ± 0,0	78,61 ± 1,8	0,12 ± 0,0
Por liofilização	44,6 + 0,8	4,67+ 0,0	99,75 + 1,6	0,13 + 0,0

Quanto ao teor de lipídeo observa-se que a amostra de açaí liofilizado apresentou o maior valor de 44,6%, fato esse justificável pelas condições brandas de desidratação oriundas da liofilização. No entanto, observa-se que a desidratação por atomização favorece a degradação do lipídeo ainda mais na presença da maltodextrina.

Aquino et al. (2008), estudando a desidratação de gema de ovo por liofilização e spray drying, também verificou uma maior degradação de lipídeos nos produtos atomizados, concluindo que devido ao aquecimento da amostra, no método por spray drying, pode ocorrer uma maior propensão para oxidação lipídica, devido a alteração profunda da estrutura compartimentada, provocando a ruptura dos glóbulos de gordura, favorecendo a ação de enzimas lipolíticas (lipases), a eliminação de água e aumentando a exposição ao oxigênio. Esta perda pode ter sido ocasionada também pela adição de maltodextrina e pela aderência de gordura na parede da câmara de secagem, diminuindo o teor de gordura. Lannes e Medeiros (2003) também observaram este comportamento de redução do teor lipídico depois do processamento em spray dryer em achocolatado de cupuaçu.

Menezes, Torres e Srur, (2008) estudou o açaí liofilizado e encontrou percentuais de lipídeos de 40,75g por 100g de açaí em pó. Rogez (2000) e Menezes, Torres e Srur, (2008) encontraram valores de lipídeos, respectivamente, de 52,64 e 42,73g de lipídeos por 100g de matéria seca de polpa de açaí. Pena, Mendonça e Almeida (2010) analisaram açaí em pó e obtiveram 37,2% de lipídeos. Essas diferenças são consideradas naturais, quando a matéria-prima é de origem vegetal e decorrem da variedade da planta, da época da colheita dos frutos, do processamento industrial e/ou das condições de condicionamento e armazenamento, visando à sua conservação (NASCIMENTO et al., 2008).

Com relação ao teor de antocianinas totais, mais uma vez tem-se que a liofilização é o processo mais brando, pois favorece a manutenção das mesmas. No

entanto, nota-se que o valor encontrado de 4,67mg/g apresenta-se abaixo daquele obtido por Pena, Mendonça e Almeida (2010), que estudou pó de açaí obtido também em spray dryer com um teor de antocianina de 9,58 mg/g. Shauss et al. (2006), encontrou 3,1mg/g de peso seco de açaí liofilizado. A variedade do açaí, a região de origem, o período de colheita das espécies estudadas pode provavelmente estar provocando esta diferença.

A diminuição no rendimento das amostras de açaí atomizado com e sem maltodextrina, se deve provavelmente pelas perdas de pó que fica aderido no equipamento durante o processo, diferentemente da liofilização onde o rendimento é aproximadamente 100%. Resultados semelhantes foram encontrados por Righetto (2003) que obteve rendimento no processamento de diferentes formulações de encapsulados de 72 a 80% em relação ao teor inicial de sólidos, para os produtos atomizados e entre 98 e 100% para os liofilizados.

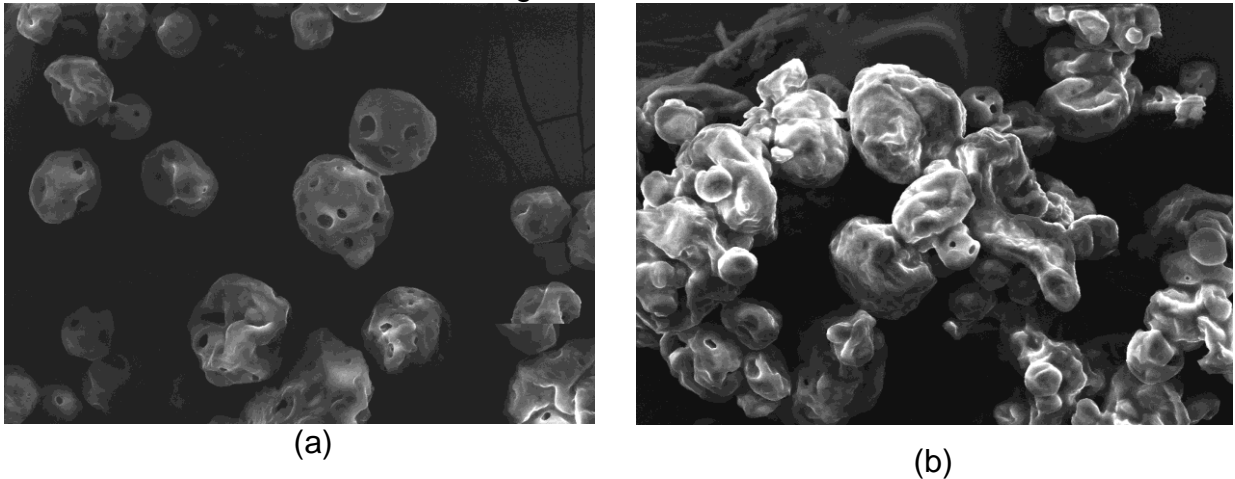
A boa molhabilidade é pré-requisito para uma ótima reconstituição do produto original a partir de pós, e está relacionada tanto à composição química do alimento, quanto aos fatores físicos, especialmente tamanho e forma das partículas e temperatura da água de reconstituição (LANNES; MEDEIROS, 2003). A molhabilidade de pós tende a diminuir com a presença dos componentes hidrofóbicos na superfície de partículas. Em pós produzidos em spray dryer, uma quantidade considerável de lipídeos livres localizam-se na superfície das partículas produzindo adesão entre as partículas, diminuindo a fluidez dos pós (KIM; CHEN; PEARCE, 2002, 2005; MARTINS; KIECKBUSCH, 2008).

De acordo com Schubert (1993), a reconstituição de um pó alimentício é conduzida em quatro etapas, não necessariamente seqüenciais: penetração do líquido dentro da estrutura do poro por capilaridade (molhabilidade), imersão das partículas ou porções do pó dentro do líquido (imersibilidade), dispersão do pó no líquido (dispersibilidade) e dissolução, caso as partículas sejam solúveis (solubilidade). As propriedades associadas a estas quatro etapas são denominadas propriedades de instantaneidade. Segundo o autor, para um pó com boas propriedades de instantaneidade, estes passos devem ocorrer em poucos segundos. Desta forma, pode-se dizer que as amostras de açaí liofilizado e atomizado com e sem maltodextrina apresentaram boa molhabilidade, visto que, apresentaram tempo de molhamento em alguns segundos.

4.3.4 Microscopia eletrônica de varredura

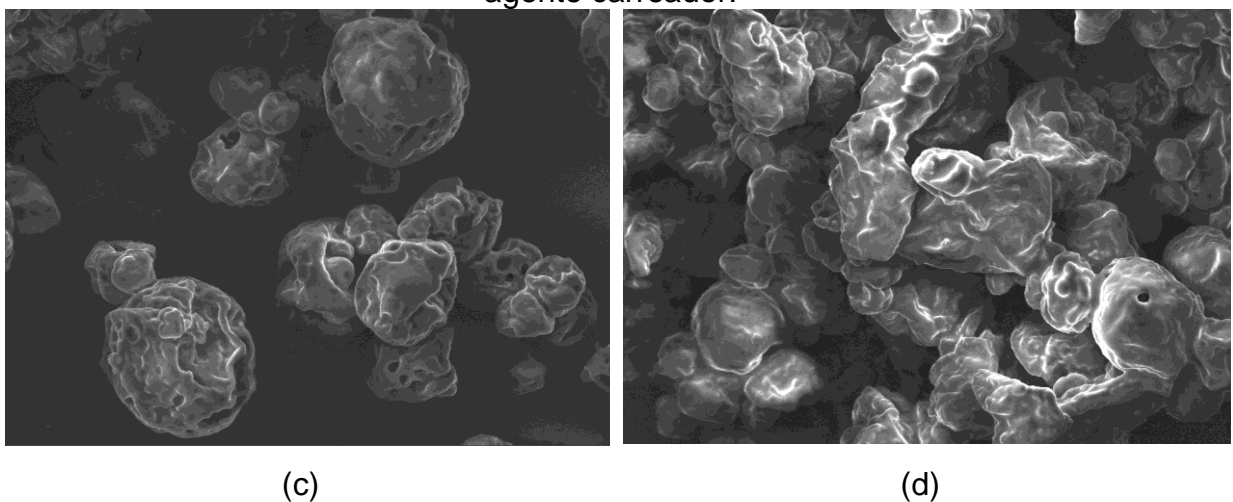
Na Figura 10 e 11 encontram-se as fotomicrografias do açaí desidratado por atomização. Observa-se que a maioria das microcápsulas apresenta formato esférico, característica dos produtos formados a partir do processo de desidratação por atomização, no entanto, apresentaram superfície predominantemente irregular com depressões e rugosidades. A esfericidade das partículas atomizadas também foi observada na atomização de suco de acerola (RIGHETTO; NETO, 2005).

Figura 10 - Morfologia das partículas de açaí desidratado por atomização sem agente carreador:



Legenda: (a) Microcápsulas de açaí “sem maltodextrina”; (b) Aglomerado de microcápsulas de açaí sem maltodextrina

Figura 11 - Morfologia das partículas de açaí desidratado por atomização com agente carreador:



(a) Microcápsulas de açaí com maltodextrina; (b) Aglomerado de microcápsulas de açaí com maltodextrina;

Segundo Thies (1995), as depressões que aparecem na superfície das microcápsulas são formadas devido à contração das partículas durante a secagem e o resfriamento. Além disso, a extensão das depressões observadas em microcápsulas produzidas pela atomização é função da natureza do agente carreador utilizado, sendo significativa naquelas que possuem cobertura de polissacarídeos.

Nota-se ainda que nas partículas formadas no processo, com e sem maltodextrina, tem-se a ocorrência de fragmentação de partículas, com presença de poros na superfície externa, principalmente no pó produzido sem maltodextrina.

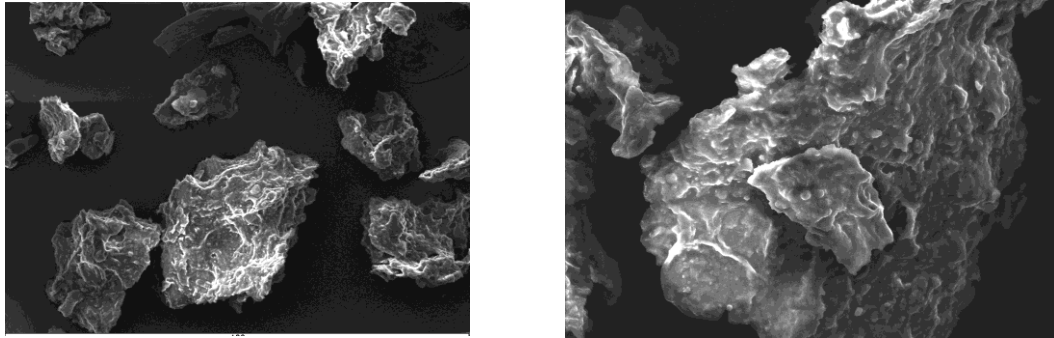
A ausência de rupturas ou quebras na superfície é um fator benéfico, para garantir a boa proteção e estabilidade do material ativo, pois a quebra de partículas poderá acarretar em perdas significativas de componentes voláteis. A presença de defeitos representa a falta de ajuste adequado da temperatura utilizada ao material encapsulado durante o processo de secagem. Desse modo pode-se atribuir a maior formação de superfícies rugosas à menores temperaturas de secagem (TONELI et al., 2008).

Cavalcanti-Mata, Medeiros e Duarte (2005), afirmam que, a retenção de voláteis e a proteção de um produto microencapsulado estão relacionados com a porosidade e por sua vez as propriedades de escoamento das microcápsulas estão ligadas à estrutura e à morfologia externa das partículas.

A Figura 12 mostra a fotomicrografia do açaí em pó liofilizado. Observa-se que não houve a formação de cápsulas, e sim a formação de partículas sem formato predominante, indefinidos e com formação de depressões em toda sua superfície.

A matriz das partículas liofilizadas apresentou-se em pedaços devido à moagem a que os produtos foram submetidos após a secagem. As características das partículas liofilizadas observadas neste estudo também foram as mesmas observadas por Righetto e Neto (2005) e Carlos, Resende e Cal-Vidal (2005) em amostras de sucos de frutas liofilizadas. Barreiros (2009) encontrou estruturas com aspecto semelhante no extrato de inulina liofilizado.

Figura 12 - Morfologia das partículas de açaí liofilizado



Aquino et al. (2008), estudando a desidratação de gema de ovo verificou que as partículas constituintes do pó liofilizado apresentaram formas irregulares e tamanhos variados e as partículas oriundas do processo de atomização produziu partículas globosas e esféricas com paredes formadas por uma matriz sólida sem poros.

4.4 Extração do óleo do açaí desidratado

4.4.1 Extração com CO₂ supercrítico

Na Tabela 9 são apresentados os resultados para a retenção de antocianina no açaí desengordurado na extração supercrítica e os rendimentos dessas extrações.

Tabela 9 – Retenção de antocianina no açaí desengordurado e rendimento da extração supercrítica

Açaí desidratado	Pressão (bar)	Tempo (min)	Antocianina (mg/g)*	Rendimento (%)**
Com maltodextrina	300	180	4,92 ± 0,6	96,2
	200	240	4,51 ± 0,6	66,1
Sem maltodextrina	300	180	4,43 ± 0,4	96,7
	200	240	4,75 ± 0,2	61,0
Por liofilização	300	180	8,61 ± 0,4	99,0
	200	240	8,31 ± 0,9	86,5

*Desvio relativo às triplicatas das análises; ** Rendimento extração

Observa-se que todas as extrações feitas à pressão de 300 bar resultaram em rendimento acima de 95 % e em menor tempo de extração, fato este esperado em virtude do aumento do poder de solvatação do CO₂ com o aumento da pressão. A maior retenção de antocianina é observada no açaí desidratado por liofilização, fato este alcançado em virtude das condições amenas de temperatura usada no processo.

4.4.1.1 Seleção da extração supercrítica

A cinética das extrações, percentagem de óleo acumulado versus tempo de extração, são mostrados nas Figuras 13, 14, 15, 16 e 17.

A influência da pressão na cinética de extração pode ser visualizada nas Figuras 13 (atomização com 5% de maltodextrina), 14 (liofilização) e 15 (atomização sem maltodextrina). Nota-se que em todos os casos a condição de pressão a 300 bar revela um comportamento cinético de extração superior àquele feito à 200 bar. Além disso, o tempo de extração dos ensaios realizados à 200 bar foi superior às extrações realizadas à 300 bar.

Figura 13- Comportamento da extração supercrítica de açaí desidratado com maltodextrina em dois níveis de pressão

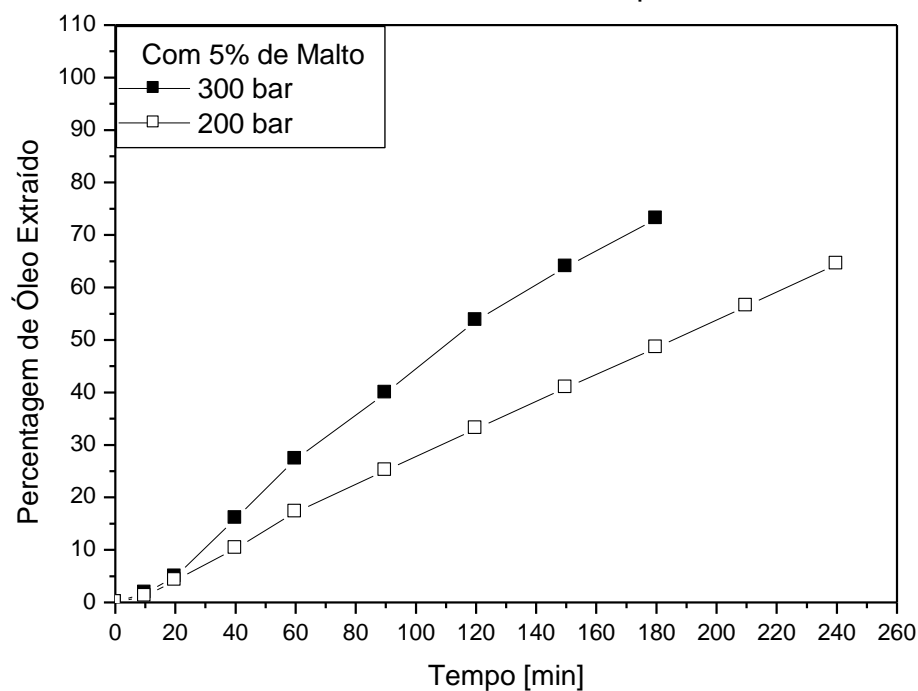


Figura 14 - Comportamento da extração supercrítica de açaí liofilizado em dois níveis de pressão

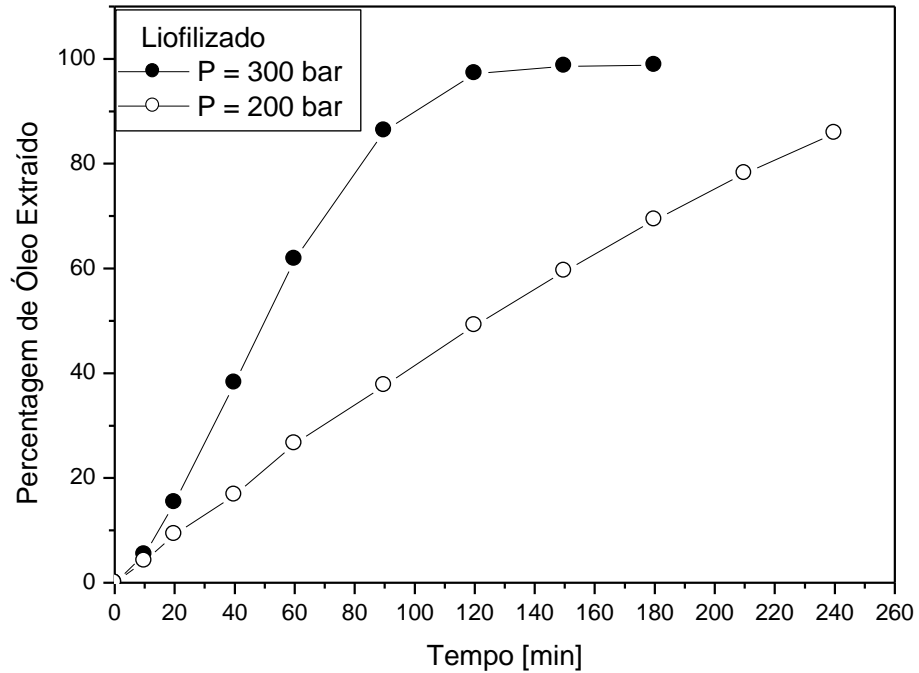
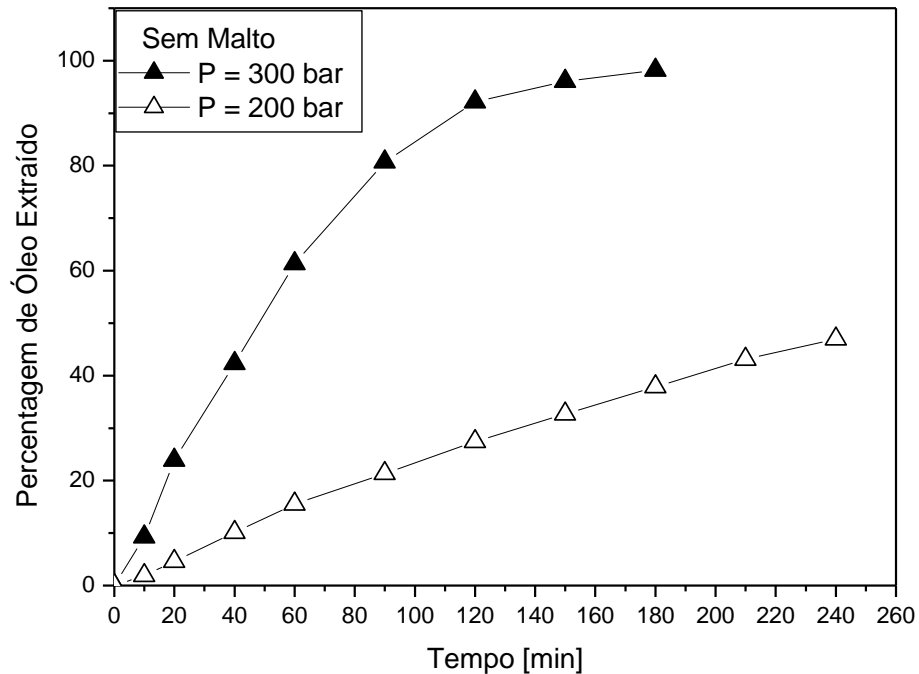


Figura 15 - Comportamento da extração supercrítica de açaí desidratado sem maltodextrina em dois níveis de pressão



A influência do tipo de desidratação do açaí pode ser visualizado nas Figuras 16 (extração a 300 bar) e 17 (extração a 200 bar). Observa-se que em todos os casos o

comportamento cinético da extração do óleo do açaí liofilizado é o que apresenta maiores percentuais de óleo extraído no decorrer do tempo.

Figura 16 – Comportamento da extração supercrítica a 300 bar de açaí desidratado sob diferentes condições

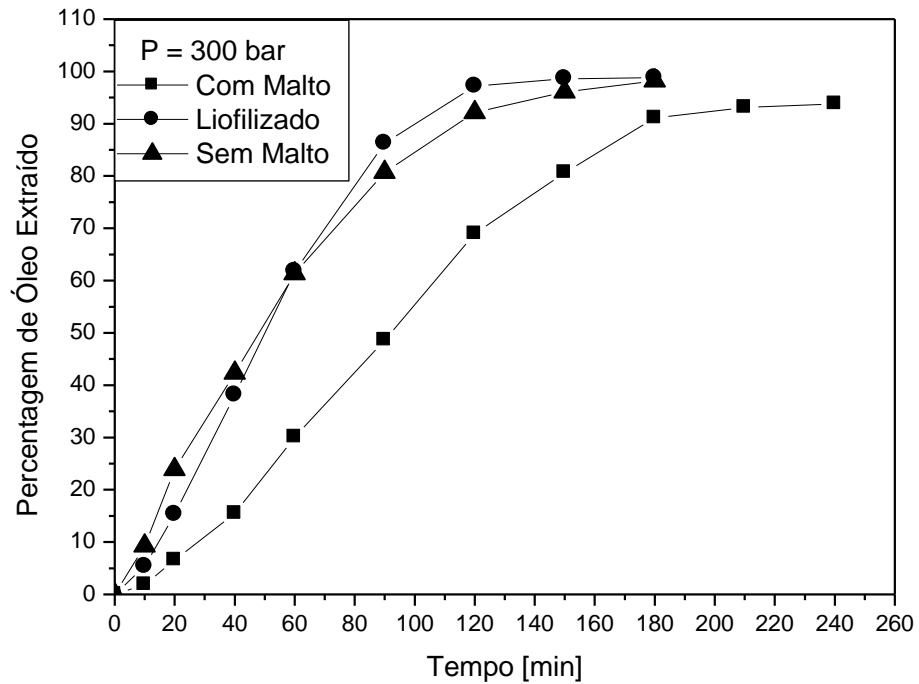
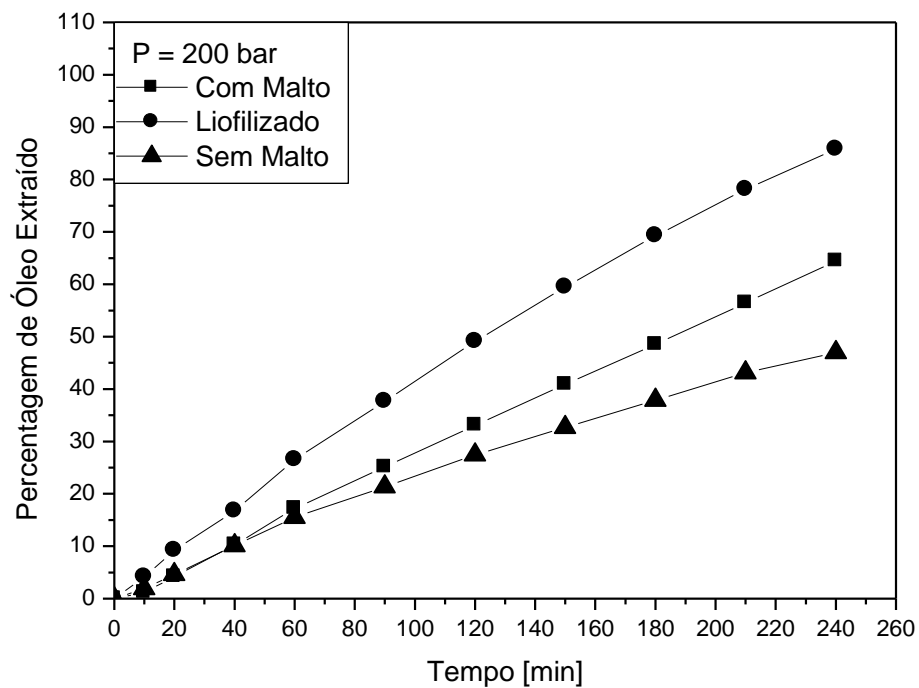


Figura 17 - Comportamento da extração supercrítica a 200 bar de açaí desidratado sob diferentes condições



França et al. (1999), estudaram o efeito da pressão, da temperatura e da vazão de solvente sobre o rendimento de extração de óleo de buriti. Foi reportado que o aumento da pressão de 20 para 30 MPa aumenta significativamente o rendimento de extração de óleo a 40°C.

Friedrich, List e Heakin (1982) mostraram que a solubilidade do óleo de soja em CO₂ supercrítico varia de acordo com a variação da pressão e temperatura do sistema. Com o aumento da pressão, evidenciou-se um aumento da solubilidade, enquanto que, com o aumento na temperatura, nem sempre ocorreu um aumento de solubilidade, só podendo ser verificada esta relação a altas pressões (>6000psig). Este resultado está de acordo com as experiências semelhantes realizadas com óleo de maracujá por França (1994). Tsekanskaya et al. (1992) explicam que o motivo pelo qual a temperatura algumas vezes aumenta a solubilidade do óleo se deve ao aumento da pressão de vapor do óleo.

Povh et al. (2001) também verificaram esse comportamento na extração de oleoresina de camomila. Os resultados mostraram que o rendimento aumentou com a pressão (100-120bar) e com o aumento de temperatura (30 e 40°C).

Quanto a análise da retenção de antocianina no açaí desengordurado com CO₂ supercrítico, pode-se analisar os resultados na Tabela 9 onde é verificado que a maior concentração de antocianina, 8,61mg/g, foi obtida no açaí liofilizado submetido à extração a 300 bar.

Diante do exposto a extração supercrítica selecionada para a obtenção de dados para a análise estatística foi à pressão de 300 bar usando o açaí liofilizado como método de desidratação.

4.4.1.2 Características do pó desengordurado

As características dos produtos do açaí em pó desengordurado percentual de lipídeos, atividade de água do produto e molhabilidade estão descritas na Tabela 10.

Nota-se que o percentual de lipídeos no açaí desengordurado com CO₂ supercrítico diminui com o aumento da pressão, o que pode ser explicado pelo aumento da densidade do CO₂ e, conseqüentemente, pelo aumento do poder de solvatação do CO₂.

Tabela 10 - Características do açaí desengordurado com CO₂ supercrítico

Açaí desidratado	Pressão (bar)	Lípideo (%)	Atividade de água (a_w)	Molhabilidade (g/s)
Com maltodextrina	300	0,8 ± 0,3	0,383 ± 0,0	0,052 ± 0,0
	200	9,67 ± 0,6	0,391 ± 0,0	0,009 ± 0,0
Sem maltodextrina	300	1,06 ± 0,1	0,296 ± 0,0	0,064 ± 0,0
	200	11,81 ± 0,6	0,276 ± 0,0	0,051 ± 0,0
Por liofilização	300	1,15 ± 0,7	0,386 ± 0,0	0,063 ± 0,0
	200	4,53 ± 0,4	0,294 ± 0,0	0,036 ± 0,0

Obs: O desvio corresponde às triplicatas das análises

A atividade de água de um alimento superior a 0,90 permite o crescimento de bactérias; valores superiores a 0,80 permitem o crescimento de fungos em geral; e superiores a 0,61 permitem o crescimento de fungos xerófilos. As amostras produzidas pela extração com CO₂ supercrítico apresentam faixa de a_w de 0,2 a 0,4. Estes resultados estão bem abaixo do valor 0,60 que representa o limite recomendado para atividade de água de produtos desidratados. A remoção de água até níveis de atividade de água de 0,60 elimina a possibilidade de crescimento de microrganismos, além de reduzir as atividades das reações deterioradoras dos alimentos (TEIXEIRA NETO; VITALLI, 1996).

Quanto à análise de molhabilidade, todos os produtos apresentaram resultados satisfatórios, em virtude do tempo necessário para que as amostras de pó ficassem completamente submersas, após serem colocadas sobre a superfície da água, que foi de alguns segundos.

A retenção de antocianina no açaí após o seu desengorduramento com CO₂ supercrítico pode ser visualizada na Tabela 11.

Tabela 11 - Teores de antocianina do açaí antes e após a extração com fluido supercrítico

Açaí desidratado	Antocianina antes da extração* (mg/g)	Pressão (bar)	Antocianina após a extração (mg/g)
Com maltodextrina	3,89 ± 0,3	300	4,92 ± 0,6
		200	4,51 ± 0,6
Sem maltodextrina	7,04 ± 0,1	300	4,43 ± 0,4
		200	4,75 ± 0,2
Por liofilização	8,42 ± 0,1	300	8,61 ± 0,4
		200	8,31 ± 0,9

* Valor calculado excluindo-se as respectivas quantidades de lipídeos

Obs: os desvios correspondem a triplicata das análises

Observa-se que a extração do óleo de açaí desidratado por CO₂ supercrítico é vantajosa, pois, não favoreceu a perdas de pigmento antociânico durante o processo de desengorduramento, visto que, o teor de antocianina encontrado na matéria prima antes da extração é semelhante ao encontrado no açaí desengordurado por CO₂ supercrítico. No entanto, este comportamento não foi observado quando se utilizou o açaí desidratado sem maltodextrina. Fato este que necessita ser mais investigado, pois a pressão não deveria degradar a antocianina. A condição de temperatura constante de 50°C se mostrou adequada para a manutenção da antocianina.

As Tabelas 12 e 13 mostram os valores resultantes da análise de cor do açaí antes e após o seu desengorduramento.

Tabela 12 - Valores médios dos parâmetros L^* , a^* , b^* , ΔE , H° e C de açaí desidratado por cada tratamento antes da extração com CO_2

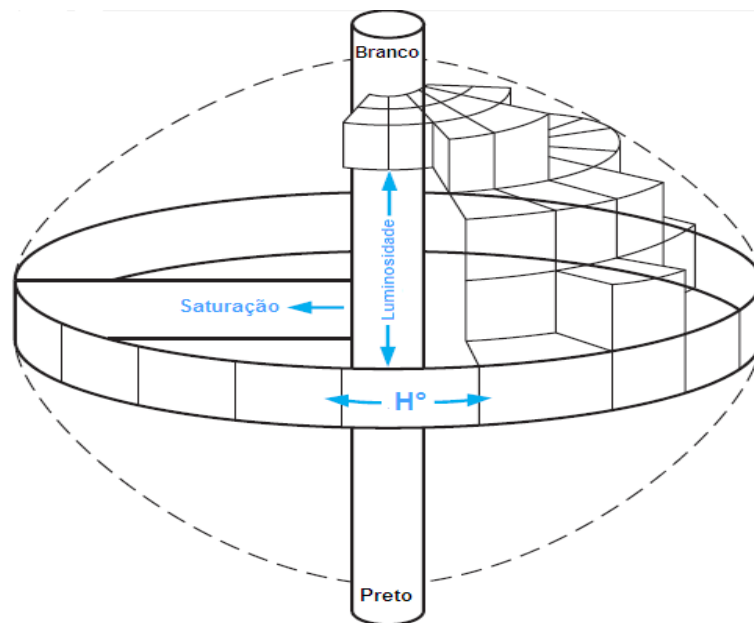
Açaí desidratado	Antes da extração CO_2					
	L^*	a^*	b^*	ΔE	H°	C
Com maltodextrina	30,63±0,1	4,03±0,0	1,87±0,0	30,95±0,0	24,91±0,2	4,44±0,0
Sem maltodextrina	30,51±0,0	4,18±0,0	2,12±0,0	30,87±0,0	26,89±0,0	4,68±0,0
Por Liofilização	30,54 ±0,2	3,02±0,1	1,15±0,0	30,74±0,2	20,91±0,2	3,24±0,1

Tabela 13 - Valores médios dos parâmetros L^* , a^* , b^* , ΔE , H° e C de açaí desidratado por cada tratamento depois da extração com CO_2 em duas condições de pressão (200 e 300 bar)

Açaí desidratado	P (bar)	Depois da extração CO_2					
		L^*	a^*	b^*	ΔE	H°	C
Com maltodextrina	300	45,16±0,2	9,92±0,0	3,88 ±0,0	46,4 ±0,1	21,37±0,2	10,65±0,0
	200	36,87±0,2	8,77±0,1	3,3 ±0,0	36,04±0,2	20,61±0,2	9,37±0,1
Sem maltodextrina	300	39,61 ±0,0	10,01 ±0,2	2,95 ±0,0	40,97±0,0	16,40±0,3	10,44±0,0
	200	35,79±0,3	7,6 ±0,2	3,15 ±0,0	36,73±0,4	22,50±0,3	8,23±0,2
Por Liofilização	300	40 ±0,0	9,32 ±0,0	3,83 ±0,0	41,08±0,0	5,08±0,1	9,35±0,0
	200	37,27±0,3	8,12 ±0,1	1,25 ±0,0	38,16±0,3	8,75±0,1	8,21 ±0,1

A cor consiste na percepção visual que resulta da detecção da luz após interação com um objeto e pode variar em três dimensões (Figura 18): tonalidade cromática ou ângulo de Hue (H°); luminosidade ou brilho e Cromo ou saturação.

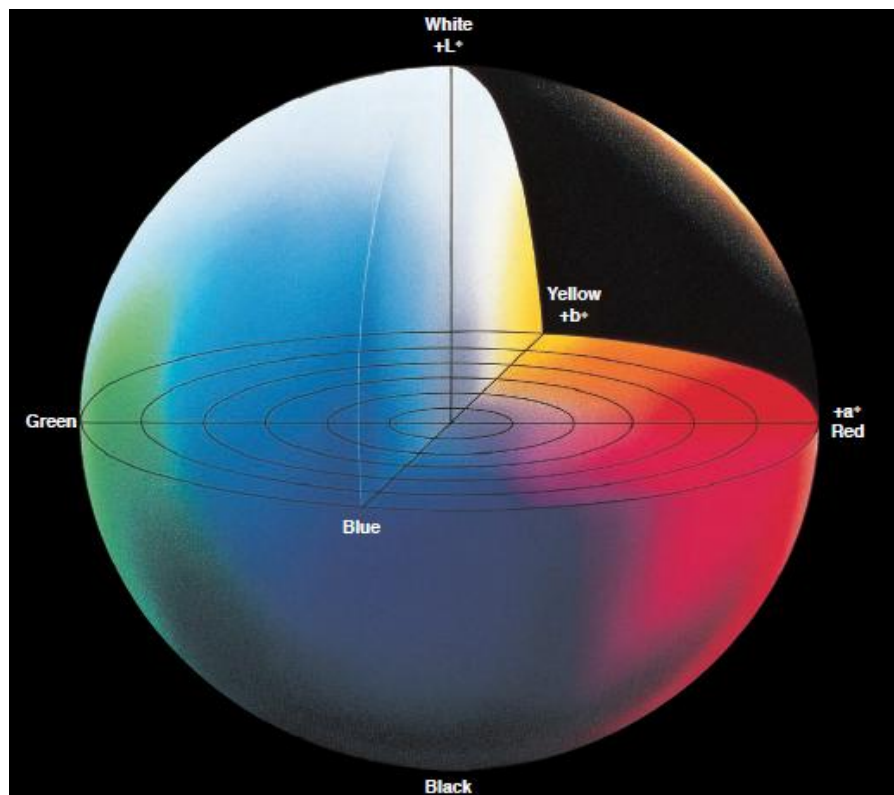
Figura 18 – Representação tridimensional do espaço de cor



O ângulo de cor é um atributo no qual se identificam as cores (violeta, azul, amarelo, laranja, vermelho e púrpura). O ângulo de cor pode variar entre 0° e 360° , sendo que o 0° corresponde a cor vermelha, 90° ao amarelo, 180° ao verde e 270° ao azul. De acordo com o sistema CIELAB representado graficamente na Figura 16, se o ângulo hue ou h° , estiver entre 0 e 90° quanto maior ele for, mais amarelo é o produto, e quanto menor ele for mais vermelho é o produto. Já a luminosidade é o atributo em que é descrita a relação entre a luz refletida ou absorvida e caracteriza a cor como mais clara ou mais escura (de preto a branco). O parâmetro Cromo define a intensidade de cor, assumindo valores próximos a zero para cores neutras e próximo de 60 para cores fortes, vívidas (TUNICK, 2000).

Medidas de cor implicam a mensuração de três parâmetros independentes L^* , a^* e b^* , onde L^* representa a luminosidade da superfície, e determina a posição do ponto sobre o eixo vertical que varia entre 0 (preto) a 100 (branco). O parâmetro a^* quantifica a cor vermelha ($a^* > 0$) e verde ($a^* < 0$) da amostra e b^* registra o amarelo ($b^* > 0$) ou azul ($b^* < 0$) (Figura 19).

Figura 19 - Representação gráfica do espaço de cor CIELAB

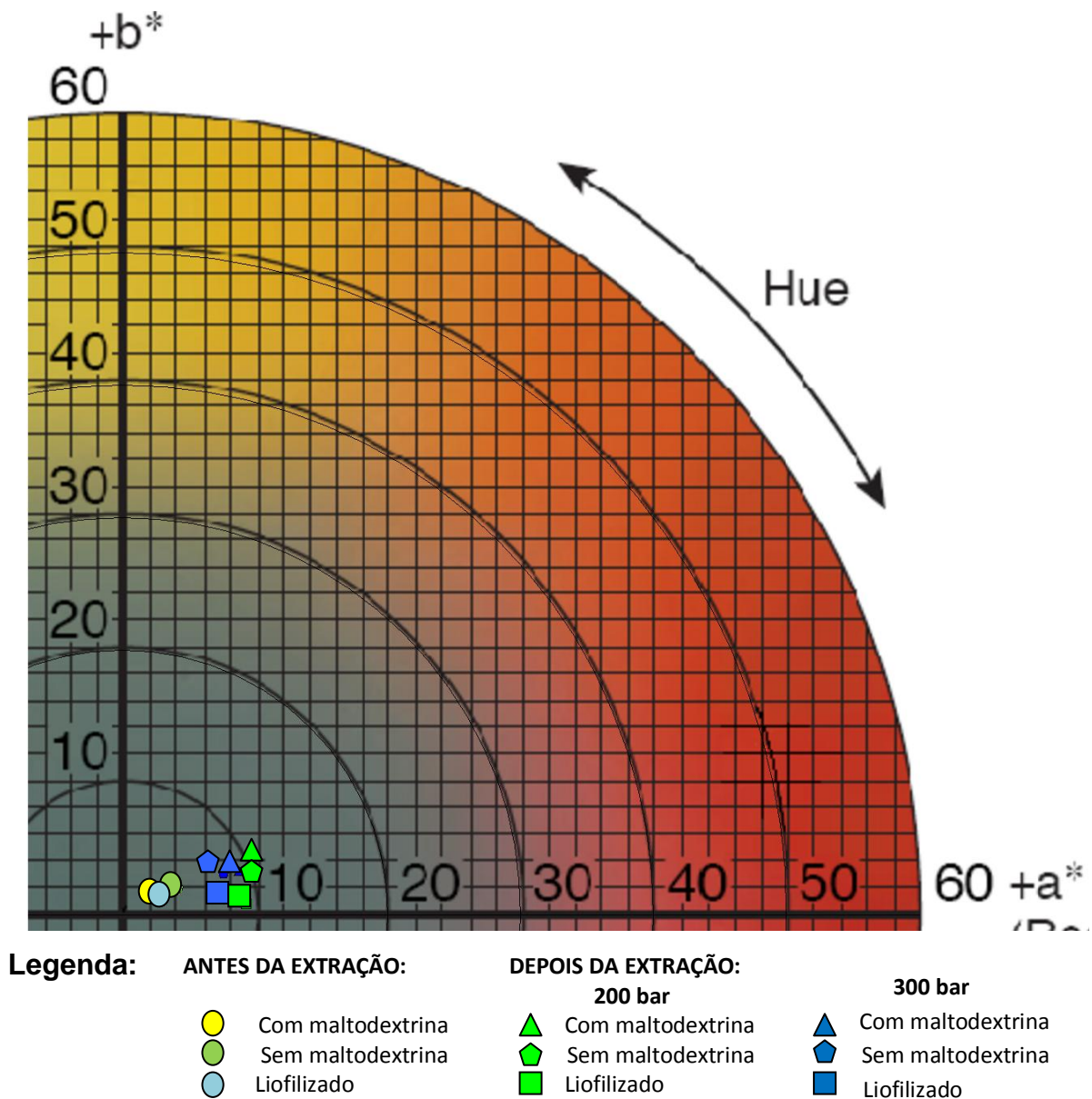


Segundo os resultados das Tabelas 12 e 13 ocorreu variação de cor (ΔE) do açaí desidratado para o açaí desidratado e desengordurado, esta variação foi maior na extração lipídica a 300bar. O parâmetro L^* apresentou-se aumentado para todas as amostras desengorduradas, sugerindo que a retirada da fração lipídica contribui para a produção de amostras com tonalidades mais claras. O ângulo de hue (h°) apresentou diminuição em todas as amostras, definindo uma tonalidade avermelhada, pois os valores apresentam-se abaixo de 90° , principalmente na amostra liofilizada. Segundo os resultados do Croma a cor se torna mais intensa no açaí desengordurado, entretanto permaneceu próximo da tonalidade acinzentada.

Os resultados de L^* para o açaí antes da extração lipídica foram semelhantes aos resultados de Tonon (2009), em amostras de açaí desidratado por spray drying utilizando fécula de mandioca e maltodextrina a 10%. Entretanto, Ersus e Yadurgel (2007) utilizaram amostras de antocianinas extraídas da cenoura preta e encapsuladas com maltodextrina (10E e 20E) e obtiveram valores superiores, indicando que o produto deles apresentou uma coloração mais clara, o que pode ser atribuído à presença de agente carreador (14%) usado no trabalho citado.

Na figura 20 observa-se a localização, segundo os valores obtidos nos parâmetros ângulo de cor e Croma, da coloração das amostras antes e depois da extração lipídica por CO₂ supercrítico.

Figura 20 - Localização no diagrama de cromaticidade dos parâmetros Ângulo de cor e Croma da coloração das amostras antes e depois da extração lipídica por CO₂ supercrítico.



4.4.1.3 Características do óleo obtido por extração supercrítica

O óleo resultante da extração com CO₂ supercrítico a 300 bar a partir do açaí desidratado por liofilização foi analisado quanto ao seu índice de acidez e perfil de ácidos graxos.

Os valores de índice de acidez (Tabela 14) no óleo de açaí apresentaram-se entre 0,2 a 1,39% e estão dentro da faixa aceitável pela legislação internacional de óleos e gorduras para azeites virgens. Para azeite de oliva, o índice de acidez recomendado é de até 4 mg KOH/g, enquanto para o azeite de palma admite-se valores até 10 mg KOH/g (CODEX, 1993). Os resultados assemelham-se aos valores obtidos para o óleo de abacate que apresenta índice de acidez na faixa de 0,4 a 1,3 mg de KOH/g (SALGADO et al., 2008).

Tabela 14 – Acidez do óleo de açaí de amostras de açaí desidratado por diferentes métodos extraído por CO₂ supercrítico em duas condições de pressão

Açaí desidratado	Pressão (bar)	Índice de Acidez (mg de KOH/g)
Com maltodextrina	300	1,06± 0,1
	200	0,2 ± 0,0
Sem maltodextrina	300	1,39 ± 0,0
	200	0,73 ± 0,0
Por liofilização	300	0,93 ± 0,1
	200	0,64 ± 0,0

Observa-se na Tabela 15 um elevado teor de ácido graxos insaturados (mais de 70 %), composto por 61,2 % de monoinsaturados e 21,65 % de poliinsaturados.

Tabela 15 – Perfil de ácidos graxos em óleo de açaí liofilizado extraído por CO₂ supercrítico

Nome	Concentração (%)
C16:0 palmítico	24,14
C16:1 palmitoléico	3,64
C18:0 esteárico	1,71
C18:1 oléico	58,20
C18:2 linoléico	10,74
C18:3 linolênico	0,91
C20:0 Aracdônico	0,66
TOTAL	100

Menezes, Torres e Srur, (2008) referem concentrações dos ácidos graxos do óleo da polpa de açaí liofilizada e o maior teor recai sobre o ácido oléico (C18:1) com 52,70%, seguido do palmítico (C16:0) com 25,56%. Resultados semelhantes foram observados por Shauss et al. (2006), que avaliaram açaí liofilizado e encontraram 56,2% de C18:1, 24,1% de C16:0 e 12,5% de C18:2.

O óleo de açaí tem percentual semelhante ao do óleo de abacate, verificando um estudo realizado por Salgado et al. (2008) que obteve 22,4% de C16:0, 55,81% de C 18:1 e 15,3% de C18:3.

O uso de matérias-primas ricas em ácidos graxos monoinsaturados e poliinsaturados é de grande interesse para as indústrias de alimentos e bebidas que buscam alternativas para elaboração de produtos mais saudáveis (HORNSTRA, 1999). No entanto, a presença desse material torna o produto com alto valor calórico, o que atualmente vem sendo uma preocupação em alguns países, pois essa característica pode contribuir para o acréscimo de população obesa no mundo.

O óleo de açaí tem composição química semelhante ao óleo de oliva e ao óleo de abacate, com grande quantidade de ácidos graxos monoinsaturados e poliinsaturados, os quais são recomendados para prevenção de doenças cardiovasculares. Classificado como óleo comestível com alto valor agregado, o óleo de açaí pode ser uma alternativa ao uso dos óleos de oliva e abacate (NASCIMENTO, et al, 2008).

4.4.1.4 Extração por prensagem e com etanol

As extrações realizadas dentro das condições limitantes de pressão da prensa de bancada não tiveram sucesso, uma vez que, não foi possível a extração de óleo, de nenhuma das amostras desidratadas. Dessa forma, a mesma foi desprezada.

Os resultados da extração com etanol em aparelho Soxhlet estão apresentados na Tabela 16. Os desvios apresentados são correspondentes às triplicatas das respectivas extrações.

Tabela 16 – Características da extração com etanol

Açaí desidratado	Rendimento da extração (%)	Antocianina depois da extração (mg/g)	Antocianina antes da extração (mg/g)
Com maltodextrina	89,2 ± 0,2 ^b	3,67 ± 0,7 ^a	3,89
Sem maltodextrina	99 ± 0,1 ^a	2,62 ± 0,5 ^a	7,04
Por liofilizado	99 ± 1,4 ^a	6,39 ± 0,4 ^b	8,42

Obs: Média seguida da mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tuckey ($p < 0,05\%$)

Observa-se um elevado rendimento das extrações, que chega a 99%, com exceção do rendimento da extração a partir do açaí desidratado com maltodextrina, fato este esperado, pois a presença do agente carreador é excluída nas demais desidratações.

Da mesma forma que ocorreu no desengorduramento com CO₂ supercrítico, a matriz sem maltodextrina foi a que apresentou maior instabilidade na retenção da antocianina. Diante desse resultado pode-se, preliminarmente, concluir que na desidratação por atomização a antocianina é protegida pelo agente carreador e, no caso da liofilização a antocianina fica protegida pelas condições amenas de temperatura usada no processo. No entanto, mais uma vez, há necessidade de estudo detalhado para a investigação desse comportamento.

Segundo os resultados obtidos, o açaí liofilizado apresentou melhor desempenho relacionado ao rendimento do óleo e à retenção de antocianina, nas

extrações lipídicas, por CO₂ supercrítico e por etanol, quando comparado ao desempenho das outras amostras (açai atomizado com e sem maltodextrina). Apresentando alto rendimento do óleo, acima de 95% e com menores perdas de antocianina até o produto desengordurado final.

Na Tabela 17 observam-se os resultados referentes ao rendimento e a retenção de antocianina do açai liofilizado em processos de extração lipídica com o solvente etanol e por CO₂ supercrítico.

Tabela 17 – Rendimento da extração e Antocianina do pó desengordurado de açai liofilizado submetido a extração lipídica e por solvente etanol e por CO₂ supercrítica.

Tipo de extração	Rendimento da extração (%)	Antocianina depois da extração (mg/g)
Etanol	99 ± 1,4 ^a	6,39 ± 0,4 ^a
CO ₂ supercrítico	96,76 ± 0,7 ^a	8,96 ± 0,6 ^b

Obs: Média seguida da mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tuckey ($p < 0,05\%$)

A extração de óleo de açai desidratado por liofilização utilizando etanol não apresentou diferença significativa da extração utilizando CO₂ supercrítico, apresentando rendimento próximo de 100%. Freitas et al. (2007) extraíram óleo de castanha-do-Brasil com etanol, afirmam que os óleos, em geral, tem baixa solubilidade em etanol a 65°C e além disso, concluíram que o percentual de óleo elevado na matéria rima e a presença de água na amostra e no solvente reduz sensivelmente a solubilidade do óleo em etanol.

As antocianinas são muito solúveis em água, sendo extraídas frequentemente a partir do uso de água e etanol (LEE; HONG, 1992). Estes pigmentos são solúveis em solventes polares, normalmente são extraído utilizando-se soluções alcoólicas de metanol ou etanol, entretanto, na análise de alimentos a solução de metanol deve ser substituída por etanol, devido à toxicidade do metanol (FRANCIS, 1989).

Nesse caso, a extração de lipídeos no Soxhlet utilizando como solvente o etanol, extrai não só lipídeos, mas parte das antocianinas presentes no pó. Valduga et al. (2008), realizaram a extração de antocianina de bagaço de uva, com êxito, utilizando etanol como base da solução extratora, em temperatura de 15°C. Gamarra et al. (2009) também realizaram a extração de antocianina do grão de milho roxo,

utilizando o solvente etanol. Embora isto aconteça, observa-se na Tabela 17 que a retenção de antocianina ocorreu com perdas de cerca de 5 %, 62 % e 24 % para o açaí desidratado com maltodextrina, sem maltodextrina e por liofilização, respectivamente. Rockenbach et al. (2008), corroboram que a extração de antocianina com acontece de forma eficiente com solvente etanol (50 e 70%).

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos no planejamento experimental, a retenção de antocianinas não foi influenciada pela concentração de maltodextrina. Isso sugere que o uso de concentrações menores poderia resultar em produtos com maior teor de antocianinas por estarem menos “diluídos”.

A temperatura do ar de entrada e a concentração de maltodextrina apresentou um efeito positivo sobre o rendimento, indicando que, o uso de temperaturas mais elevadas e maiores concentração de maltodextrina resultaram em processos com maior rendimento.

O açaí liofilizado apresentou maior teor de lipídeos e antocianina e maior rendimento do pó, o que pode ser explicado pelas condições brandas do processo de liofilização. As amostras atomizadas com e sem maltodextrina apresentaram degradação do lipídeo e antocianina e menor rendimento, ocasionadas pelas perdas de pó durante o processo de atomização. Todas as amostras desidratadas apresentaram boa molhabilidade.

As extrações realizadas à pressão de 300bar resultaram em rendimento acima de 95%, menor tempo de extração e comportamento cinético de extração superior àquele feito à 200bar. A maior retenção de antocianina e os maiores percentuais de óleo extraído no decorrer do tempo são observados no açaí desidratado por liofilização.

O açaí desidratado por atomização sem maltodextrina apresentou maiores perdas de antocianina, tanto na extração no Soxhlet com etanol, quanto com CO₂ supercrítico, podendo-se concluir que na desidratação por atomização a antocianina é protegida pelo agente carreador e, no caso da liofilização a antocianina fica protegida pelas condições amenas de temperatura usada no processo. As amostras produzidas pela extração com CO₂ supercrítico apresentam faixa de atividade de

água abaixo do valor 0,60, boa molhabilidade e mudança na coloração apresentando-se menos intensa.

O óleo obtido por extração supercrítica a partir de açaí liofilizado apresentou índice de acidez abaixo de 1mg de KOH/g, perfil lipídico com cerca de 56% de ácido oléico e 11% de ácido linoléico, sendo classificado como óleo comestível, o que o torna uma alternativa de consumo para a prevenção de doenças cardiovasculares, em detrimento dos óleos oliva e abacate.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.A.C.C. (American Association of Cereal Chemists) **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10^a ed. St. Paul: Approved Methods Committee, v1 e 2. 2000.

ABRAHAM, G. et al. Water accumulation in the alcohol extraction of cottonseed. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v70, n2, p207-210, 1993.

ALEXANDRE, D.; CUNHA, R.L.; HUBINGER, M.C. Conservação do açaí pela tecnologia de obstáculos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v24, n1, jan/mar. 2004.

AL-JABARI, M. Kinetics models of supercritical fluid extraction. **Journal of Separation Science**. v25, p 477-489, 2002.

ALVES, C.C.O. et al. Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenóides de pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) liofilizada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v28, n4, p 830-839, Out/Dez. Campinas, 2008.

AMRANI, M.; BRIGUI, J. Impact du procédé de lyophilisation sur la qualité des fraises. **Ingeniería e Investigación**, v27, n2, Mai/Ago. 2007.

ANJO, D.F.C. Alimentos funcionais em angiologia e cirurgia vascular. **Jornal Vascular Brasileiro**. v3, n2, p145-154. 2004.

AOAC INTERNATIONAL. **Official methods of analysis of AOAC International**. Washington: AOAC International, 2002.

AOCS. American Oil Chemists Society. **Official methods and recommended practices of the AOCS**. Champaign: A.O.C.S., 1998.

AQUINO, J.S. et al. Análise dos constituintes de gema de ovo de avestruz desidratada por meio de duas metodologias de secagem. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v3, n67, p190-195, 2008.

ARAÚJO, M.E. et al. Extração supercrítica de pupunha (*Guilielma speciosa*) óleo em um leito fixo por meio dióxido de carbono. **Revista Brasileira de Engenharia Química**. v17, n3, São Paulo. 2000.

ASKAR, A.; TREPTOW, H. Quality assurance in tropical fruit processing. **New York: Springer-Verlag**, p 231,1993.

AZEREDO, H.M.C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de Alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v16, n1, p89-97, 2005.

BARREIROS, A.C.B.V. **Inulina como Agente Encapsulante de Compostos Bioativos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Alimentar - Qualidade e Segurança Alimentar). Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 2009

BHANDARI, B.R.; HOWES, T. Relating the stickiness property of foods undergoing drying and dried products to their surface energetics. **Drying Technology**, v234, p781-797. 2005.

BOSS, E.A. Análise do desempenho de plantas de extração de óleo convencionais e de processos supercríticos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Campinas, 2000.

BOSS, E.A.; MACIEL FILHO, R.M.; TOLEDO, E.C.V. Freeze drying: real time model and optimization. **Chemical Engineering and Processing**. v43, p 1475-1485, 2004.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Instrução Normativa Nº 62, DE 26/08/2003. Oficializa os Métodos Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para Controle de Produtos de Origem Animal e Água. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 18 set. 2003, Seção 1, p. 14.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Portaria nº 27 de 13/01/1998** – Regulamento Técnico Referente à Informação Nutricional Complementar. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. 15 abr. 1999, Seção 1, p 96.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Instrução Normativa nº01 de 07/01/2000. Aprovar o Regulamento Técnico Geral para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para polpa de fruta. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 10 jan. 2000. Seção 1, p. 54.

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.

CANO-CHAUCA, M. et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v5, n4, p420-428, 2005.

CARLOS L.A.; RESENDE J.V.; CAL-VIDAL J. Redução da higroscopicidade de pós liofilizados pela indução da cristalização em soluções-modelo de açúcares constituintes de frutas. **Brazilian Journal Food Tecnology**. v8: p163-73. 2005.

CAVALCANTE, P.B. **Frutos Comestíveis da Amazônia**. 5 ed. Belém-Pará: CEJUP-MPEG, 1998.

CAVALCANTI-MATA, M.E.R.M.; MEDEIROS, S.S.A.; DUARTE, M.E.M. Microencapsulamento do umbu em pó com diferentes formulações de maltodextrina: estudo do tamanho das partículas por microscopia eletrônica. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. v7, n1, p59-70, Campina Grande, 2005

CLIFFORD, M.N. Anthocyanins nature, occurrence and B dietary burden. **J. Science Food Agriculture**. v69, n3, p385-391, Londres, 2000.

CLIFFORD, M.N. Fundamentals of supercritical Fluids. Oxford University Press: New York, E.U.A. 210p, 1999.

CODEX Alimentarius Commission. **Proposed draft standard for named vegetables oils** CX 1993/16: issue by the Joint FAO/WHO food standard program. Roma, 1993.

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES. Méthode d'analyse communautaire à utiliser pour la détermination de la teneur en acid érucique, en ce qui concerne les graines prises en charge par les organismes d'intervention. **Official Journal of the European Communities** L12, p.12

CUPPARI, L. **Guia de Nutrição: nutrição clínica no adulto**. Barueri, SP: Manole, 2002.

DEL VALLE, J.M; AGUILERA, J.M. High pressure CO₂ extraction: fundamentals and applications in the food industry. **Food Science and Technology International**, n5, p1-24, 1999.

DEL-VALLE, E.M.M. Cyclodextrins and their uses: a review. **Process Biochemistry**, Amsterdam, v.39, p.1033-1046, 2004.

DIB TAXI, C.M.A. et al. Study of microencapsulation of camu (Myrciaria dubia) juice. **Journal of Microencapsulation**, Inglaterra, v20, n4, p443-448, 2003.

ERSUS, S.; YURDAGEL, U. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray dryer. **Journal of Food Engineering**, v80, n3, p805. 2007.

FIGUEROLA, F. et al. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. **Food Chemistry**, v91, p395-401, 2005.

FRANÇA, L. F. Estudo da Solubilidade do Óleo de Maracujá em CO₂ Supercrítico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Brasil, n14 (Supl.) p174-177, dez. 1994.

FRANÇA, L.F.; MEIRELES, M.A. **Cinética da extração de óleo da polpa do tucumã (*Astrocaryum vulgare*, Mart.) com CO₂ supercrítico**. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS. Bahía Blanca, Argentina, 1998. Anais. Bahía Blanca, 1998

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**, v14, p247-256, 1999.

FRANCIS, F.J. Food colorants: anthocyanins. **Critical Review of Food Science and Nutrition**, v28, p273-314, 1989.

FREITAS, L.S. et al. Extraction of Grape Seed Oil Using Compressed Carbon Dioxide and Propane: Extraction Yields and Characterization of Free Glycerol Compounds. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**. v56, p2558–564, 2008.

FREITAS, S.P. et al. **Extração de cafés com etanol comercial: avaliação da composição em ácidos graxos**. In: Seminário Latino Americano Y Del Caribe de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Montevideu- Uruguai.13^o, 2004.

FREITAS, S.P. et al. Extração e fracionamento simultâneo do óleo de castanha-do-brasil com etanol. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v27(supl.), p14-17, ago. 2007.

FRIEDRICH, J.P; LIST, G.R.; HEAKIN, A.J. Petroleum-Free Extraction of Oil from Soybeans with Supercritical CO₂. **Journal of the American Oil Chemist's Society**, U.S.A., 59 (7): 288-292, 1982.

GABAS, A.L. et al. Effect of maltodextrina and Arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**. v82, n2, p246–252. 2007.

GALLORI, S. et al. Polyphenolic Constituents of Fruit Pulp of *Euterpe oleracea* Mart. (Acai palm). **Chromatographia**, v59, n11/12, Jun. 2004.

GAMARRA, F.M.C. et al. Extração de corantes de milho (*Zea mays* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v29, n1, p 62-69, jan.-mar. 2009.

GOMES, F.S. **Concentração de licopeno de suco de melancia através de processos de separação por membranas**. 2009. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2009.

GUIMARÃES, L.A.C. **O açaí já “parou” o carioca? Estudo qualitativo do consumo da polpa de açaí na cidade do Rio de Janeiro**. Belém. NAEA, v2, n1, dez. 1999.

GUNSTONE, F.D. Vegetable oils. In: SHAHIDI, F (Ed.). **Bailey's Industrial Oil & Fat Products**. New Jersey: Wiley-Interscience, v1, 6^a ed., 2005.

HALLIWELL, B.; WHITEMAN, M. Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean? **British Journal of Pharmacology** . v142, p231–255. 2004.

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**, London, v98, n1, p136-148, 2006.

HLA, P.K.; HOGEKAMP, S. Wetting behaviour of instanzed cocoa beverage powders. **International Journal of Food Science and Technology**, v34, n4, p335-342, 1999.

HOMMA, A.K.O. & FRAZÃO, D.A.C. O despertar da fruticultura Amazônica **Fruticultura em revista**. p16-20, Belém/PA, Nov., 2002.

HORNSTRA, G. Lipids in functional foods in relation to cardiovascular disease. **Fett/Lipid**, Berlin, v101, n12, p456- 466, 1999.

HRON, R.J.; KOLTUN, S.P. An aqueous ethanol extraction process for cottonseed oil. **Journal of the American Oil Chemist's Society**, v61, n9, p1457-1460, 1984.

HUIE, C.W. Ar review of model sample-preparation techniques for the extration and analisys of medicinal plants. **Analytical and Bioanalytical chemistry**. v373, p23-30. 2002.

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

IADEROZA, M. et al. Anthocyanins from fruits of açai (*Euterpe oleracea*, Mart) and juçara (*Euterpe edulis* Mart). **Tropical Science**, v32, p41-46, 1992.

INSFRAN, D.; BRENES, C.; TALCOTT, S. Phytochemical composition and pigment stability of açai (*Euterpe oleracea* Mart.). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, n52, p1539-1545. 2004.

KIM, E.H.J., CHEN, X.D., PEARCE, D. Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v26, p197–212, 2002.

KIM, E.H.J.; CHEN, X.D.; PEARCE D. Effect of surface composition on the flowability of industrial spray-dried dairy powders **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v46, p182–187, 2005.

KUK, M.S. e HRON, R.J. Cottonseed extraction with new solvent system: Isohexane and alcohol mixtures. **Journal of the American Oil Chemist's Society**. v75, p927-930, 1998.

KUSKOSKI, E. M. et al. Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. **Ciência Rural**, v36, n4, p1283-1287, jul-ago, 2006.

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

LANNES, S.C.S.; MEDEIROS, M.L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray-dryer. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v39, n1, p115-123, 2003.

LEE, H.S.; HONG, V. Chromatographic analysis of anthocyanins. **Chromatography**, v.624, p.221-234, 1992.

LIMA, F.E.L. et al. Ácidos graxos e doenças cardiovasculares: uma revisão. **Revista de Nutrição**. v13 n2, Campinas Mai/Ago. 2000.

MACHMUDAH, S. et al. Supercritical CO₂ extraction of nutmeg oil: experiments and modeling. **Journal of Super critical Fluids**. n39, p30–39, 2006.

MAGALHÃES NETO, F. Influência da atividade de água na temperatura vítrea. In; JARDIM, D.C.P; GERMER, S.P.M. **Atividade de água em alimentos**. Campinas. Ital, 1997, p4, 1997.

MAHAN, L.K; ESCOTT-STUMP, S.K. **Alimentos, Nutrição E Dietoterapia**. 10^o Ed. São Paulo: Roca, 2002.

MARTINS, P.C.; KIECKBUSCH, T.G. Influence of a lipid phase on steam jet agglomeration of maltodextrin powders. **Powder Technology**. n185, p258–266, 2008.

MASTERS, K. **Spray Drying Handbook**, 4^o Ed. New York. 1985.

MAUL, A.A. Fluidos Supercríticos - Situação Atual e Futuro da Extração Supercrítica. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Ano II, n11, p42-46, 2000.

MENDONÇA, M.S; ARAÚJO, M.G.P. A semente de bacaba (*Oenocarpus bacaba* mart arecaceae): aspectos morfológicos. **Revista Brasileira de Sementes**, v21, n1, p122-124, 1999.

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

MONTEIRO, S. Açaí de fruta exótica a vedete de consumo. **Frutas & Derivados**, ano 1, Ed. 2, p. 29-32, jun. 2006.

MORAES, F.P.; COLLA, L.M. Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação e benefícios à saúde. **Revista Eletrônica de Farmácia**. v3, n2, p109-122, 2006.

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

NASCIMENTO, M.J. **Mercado e comercialização de frutos de açaí**. Belém: UFPA, 1992.

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**, Jaboticabal - SP, v30, n2, p498-502, Jun. 2008.

NASCIMENTO, W.M.O; CÍCERO, S.M.; NOVENBRE, A.D.L.C. Conservação de sementes de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n 1 p.24-33, 2010.

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

NOGUEIRA, O.L.; CALZAVARA B.B.G.; MULLER C.H.; MOREIRA D.A. Manejo de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) cultivados em latossolo na Amazônia. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v20, n1, p53-59, abr, 1998.

OLIVEIRA, E.L.G.; SILVESTRE, A.J.D.; SILVA, C.M. Review of kinetic models for supercritical fluid extraction. **Chemical Engineering Research and Design**. n89, p1104–1117. 2011.

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

ORDÓÑEZ, J.A. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. v1. Porto Alegre: ARTMED, 2005.

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

PENA, R.S.; MENDONÇA, N.B.; ALMEIDA, M.D.C. comportamento higroscópico do açaí em pó. **Revista brasileira de produtos agroindustriais**. Campina Grande, v.12, n.2, p.153 2010

PEREDA, J.A.O. Tecnologia de alimentos. Porto Alegre - RS: ArtMed, 2005

PEREIRA, E.A.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F. de. Massa específica de polpa de açaí em função do teor de sólidos totais e da temperatura. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v6, n3, Campina Grande Set./Dez. 2002.

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

POVH, P. N.; MEIRELES, M. A. A.; MARQUES, M. O. M. Supercritical CO₂ Extraction of Essential Oil and Oilresin from Chamomile (*Matricaria recutia* [L.] Rauschert), In: Proceedings of the 2nd International Meeting on High Pressure **Chemical Engineering**, Hamburgo. 2001.

RÉ, M.I. Microencapsulation by spray drying. **Drying Technology**, v16, n6, p1195-1236, 1998.

REVERCHON, E. Supercritical fluid extraction and fractionation of essential oils and related products. **Journal of Supercritical Fluids**. v10, p1-37, 1997.

RIGHETTO, A. M.; NETTO, F. M. Effect of encapsulating materials on water sorption, glass transition and stability of juice from immature acerola. **International Journal of Food Properties**, v8, n2, p337. 2005.

RIGHETTO, A.M. **Caracterização físico-química e estabilidade de suco de acerola verde microencapsulado por atomização e liofilização**. Tese (doutorado)– Faculdade de Engenharia de Alimentos Campinas, Universidade Estadual de Campinas SP: [s.n.], 2003.

RITTNER, H. **Óleo de mamona e derivados**. São Paulo: H. Rittner, 559 p. 1996.

ROBERFROID, M. Functional food concept and its application to prebiotics. **Digestive and Liver Disease**. v34, n2, p105-10, 2002.

ROCKENBACH, I.I. et al. Influência do solvente no conteúdo total de polifenóis, antocianinas e atividade antioxidante de extratos de bagaço de uva (*Vitis vinifera*) variedades Tannat e Ancelota. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. n.28, p.238-244, dez. 2008.

ROGEZ, H. **Açaí: preparo, composição e melhoramento da conservação**. Belém: Universidade Federal do Pará, 2000.

SAGRI, Secretaria de agricultura do estado do Pará. **Evolução da Produção agrícola do estado do Pará de 2003 até 2009**. Disponível em: <http://www.sagri.pa.gov.br/?q=node/124>. Em :17/12/2010.

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

SALGADO, J.M. et al. O óleo de abacate (*Persea americana* Mill) como matéria-prima para a indústria alimentícia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v28 suppl.0 Campinas, Dez. 2008

SANABRIA, N.; SANGRONIS, E. Caracterización del açai o manacá (*Euterpe oleracea*, Mart.): um fruto del Amazonas. **Archivos Latinoamericanos de nutrición**, v57 n1, p1-6, 2007.

SANGRONIS E. et al. Manaca, Batata y Ñame: Posibles Sustitutos del Trigo en Alimentos para dos Etnias del Amazonas Venezolano. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**. v56, n1 Caracas, Mar. 2006.

SCHAUSS, A. et al. Phytochemical and nutrient composition of the freeze-dried amazonian palm berry, *Euterpe oleracea* Mart. (Acai). **Journal Agricola Food Chemistry**. v54, p8598-8603, 2006.

SCHUBERT, H. Instantization of powdered food products. **International Chemical Engineering**, v33, n1, p28-45, 1993.

SGARBIERI, V.C.; PACHECO, M.T.B. Revisão: Alimentos funcionais fisiológicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v2, n1 e 2, p7-19, 1999.

SILVA, A.E.; SILVA, L.H.M.; PENA R.S. Comportamento higroscópico do açai e cupuaçu em pó. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**. v28, n4, Out /Dez. 2008.

SILVA, M.T.C.; TURATTI, J.M. Extração de óleo de soja com etanol. **Coletânea Ital**. v21, n1, p73-89, 1991.

TANGO, J.S.; CARVALHO, C.R.; LIMONTA, S.N.B. Caracterização física e química de frutos de abacate visando a seu potencial para extração de óleo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v26, n1, p17-23, 2004.

TEIXEIRA NETO, R.O.; VITALI, A.A. **Reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados**. 2. ed. (Manual técnico) n6, Campinas: ITAL, 74 p. 1996.

THIES, C. **How to make microcapsules**. St Louis, Missouri: Lecture and Laboratory, 1995.

TONELI, J.T.C.L. et al. Efeito da umidade sobre a microestrutura da inulina em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v28 n1, Campinas, Jan./Mar. 2008

TONON, R.V.; BRABET, C.; HUBINGER, M.D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**. v88, n3, p411-418, 2008.

TONON, R.V.; BRABET, C.; HUBINGER, M.D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açai em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v29, n2, p444-450, Abr./Jun. 2009.

TONON, R.V. **Secagem por atomização do suco de açaí: Influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, 2009.

TSEKHANSKAYA, Y.V., IOMTEV, M.B., MUSHKINA, E.V.. Solubility of diphenylamine and naphthalene in carbon dioxide under pressure. **Journal of Physical Chemistry**, Russia (English), 36:1177, 1992.

TUNICK, M. H. Rheology of dairy foods that gel, stretch, and fracture. **Journal Dairy Science**, Champaign, v83, n8, p1892-1989, 2000.

VALDUGA, E. et al. Extração, Secagem por atomização e microencapsulamento de antocianinas do bagaço da uva "Isabel" (*Vitis labrusca*). **Ciência e Agrotecnologia**. v32, n5, p1568-1574. 2008.

VAN SOEST, P.J., Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. III. Study of effects of heating and drying on yield of fibre and lignin in forages. **Journal of the American Oil Chemist's Society**. v48, p785–790.1965.

VASCONCELOS, E.A.F et al. Influência da temperatura de secagem e da concentração de Aerosil[®]200 nas características dos extratos secos por aspersão da *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**. v15, n3: 243 2005

WAITZBERG, D. L. **Nutrição enteral e parenteral na prática clínica**. 4^a ed. São Paulo: Atheneu, 2004.

YUYAMA, L.K.O. ET al. Quantificação de fibra alimentar em algumas populações de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal), camu-camu (*Myrciaria dubi* (H.B.K) Mc Vaugh) e açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Acta Amazonica**, v32, n3, 2002.