

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCar
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS DO FRUTO DE AÇAÍ SOB
ARMAZENAMENTO REFRIGERADO**

Thais França Stefanini

Orientadores: Dr. José Dalton Cruz Pessoa
Dra. Cristiane Sanchez Farinas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

São Carlos
2010

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

S816af

Stefanini, Thais França.

Aspectos fisiológicos do fruto de açaí sob armazenamento refrigerado / Thais França Stefanini. -- São Carlos : UFSCar, 2011.

76 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

1. Biotecnologia. 2. *Euterpe oleracea*. 3. Respiração. 4. Congelamento. 5. Potencial de água. 6. Açaí - qualidade. I. Título.

CDD: 660.6 (20^a)

Thais França Stefanini

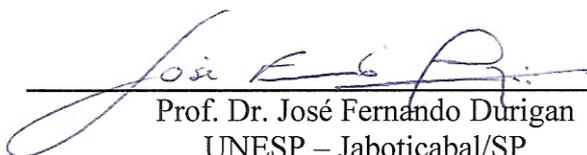
Dissertação de Mestrado submetida
à Coordenação do Programa de
Pós-Graduação em Biotecnologia,
da Universidade Federal de São
Carlos, como requisito parcial para
a obtenção do título de Mestre em
Biotecnologia

Aprovado em: 10/08/2010

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Dalton Cruz Pessoa (Orientador)
EMBRAPA



Prof. Dr. José Fernando Durigan
UNESP – Jaboticabal/SP



Profa. Dra. Cristina Paiva de Sousa
DMP - UFSCar

“O princípio é a metade do tudo.”

(Pitágoras)

“Nunca ande pelo caminho traçado, pois ele
conduz somente até onde os outros foram.”

(Alexandre Graham Bell)

“Não sei como pareço aos olhos do mundo, mas eu
mesmo vejo-me como um pobre garoto que
brincava na praia e se divertia em encontrar uma
pedrinha mais lisa uma vez por outra, ou uma
concha mais bonita do que de costume, enquanto o
grande oceano da verdade se estendia totalmente
inexplorado diante de mim.”

(Isaac Newton)

Dedico este trabalho a minha mãe Silvana
e ao meu pai Hugo

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela luz, pelos caminhos, por estar sempre ao meu lado, ouvindo as minhas preces, por me dar forças para encarar meus problemas, amigos para tornar meu caminho mais suave, uma família que me apóia, e por permitir a oportunidade de realizar este trabalho;

Agradeço aos meus pais, Silvana e Hugo, pelo amor incondicional, carinho, pelo suporte nas horas difíceis e pelas palavras de encorajamento. Aos meus irmãos, João e Victor, por entenderem os momentos de crises e nunca me abandonarem mesmo nas piores situações. Aos meus avós maternos, Adélia e Túlio pelo amor e sábios ensinamentos. À minha avó paterna, Ana, por olhar por mim de pertinho de Deus;

Ao Programa de Pós Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de São Carlos e à Embrapa Instrumentação Agropecuária pela infraestrutura;

Aos meus orientadores Dr. José Dalton Cruz Pessoa e Dra. Cristiane Sanches Farinas pelo auxílio, conhecimentos, oportunidades e suporte para o desenvolvimento desta dissertação;

Ao Dr. Adonai Gimenez Calbo pelos valiosos ensinamentos na montagem dos experimentos e na interpretação dos resultados;

Aos pesquisadores e equipe técnica do Laboratório de Agroindústria da Embrapa Amazônia Oriental. Especialmente ao “Seu Gilberto” e Dra. Maristela;

À equipe técnica da Embrapa Instrumentação Agropecuária, pela ajuda na montagem dos experimentos;

Aos membros da banca de qualificação, Dra. Cristina Paiva de Sousa, Dr. Marcos David Ferreira e Dr. Gustavo Henrique de A. Teixeira, pelas valiosas dicas;

Ao Dr. José Fernando Durigan e Dra. Cristina Paiva de Sousa por terem aceitado participar da banca examinadora da minha dissertação;

Aos senhores André e Bem Hur pelas amostras e conhecimentos sobre o fruto de açaí e pela ajuda durante minha viagem à Belém.

Ao pessoal do Laboratório de Inovação Pós-Colheita, Danieli, Cleia, Ana Lúcia, Diego, Alan, Karina, e aos que já saíram, Tatiane, Samuel, Raphael, Alexandre, Luis Fernando, pelas discussões e por transformarem a vida no laboratório em algo realmente divertido. Especialmente à Gisleide (Gisele) e Danicleide (Danieli), pelas fugas no fim da tarde para comer um pão de queijo e pela companhia nas noites de horas extras no laboratório.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para que este trabalho fosse realizado.

RESUMO

A polpa de açaí vem se destacando no mercado por apresentar alto valor calórico e atividade antioxidante, benéfica na prevenção de doenças. O crescimento de seu mercado o torna o centro das atenções, apresentando cada dia mais necessidades de estudos sobre armazenamento, transporte e beneficiamento do fruto de açaí. Assim este trabalho teve como objetivo estudar a fisiologia e o armazenamento do fruto de açaí através de medidas de respiração em função da temperatura e do teor de água, determinação do ponto de congelamento, potencial de água em função do teor de água, coesão do mesocarpo, cor do parênquima de reserva, pH, acidez titulável e antocianinas totais. A respiração em função da temperatura do fruto de açaí pode ser ajustada por uma curva de Arrhenius, com energia de ativação de $79,6 \text{ kJ.mol}^{-1}$. Os valores de Q_{10} para o fruto de açaí foram entre 2 e 3. O metabolismo do fruto de açaí respondeu exponencialmente à redução no teor de água. Foi encontrada temperatura de congelamento média de $-3,4^{\circ}\text{C}$ e máxima de $-1,8^{\circ}\text{C}$. O armazenamento no hidroconservador reduz a oxidação das antocianinas, devido à sua baixa temperatura. Porém os frutos armazenados no hidroconservador apresentaram possíveis sintomas de injúria por frio e anaerobiose, indicados pela presença de soluto aquoso proveniente dos frutos dentro das embalagens, redução da força de coesão do mesocarpo, alteração na cor do parênquima de reserva e variações na acidez titulável. O armazenamento em geladeira levou a uma rápida redução no teor de antocianinas totais. A permeabilidade da embalagem a gases atmosféricos utilizada possivelmente reduziu o processo de anaerobiose e a maior temperatura de armazenamento diminuiu os sintomas de injúria pelo frio, porém aumentou a perda de água dos frutos.

Palavras-chave: *Euterpe oleracea*, respiração, congelamento, potencial de água, qualidade, hidroconservador, coesão do mesocarpo.

PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF AÇAÍ BERRY IN COLD STORAGE

ABSTRACT

The açai berry market has been increasing due to its high calorie characteristic and antioxidant activity, that contributes to diseases prevention. The market growth makes it the center of attention, upcoming the necessity to study its storage, transportation and processing chain. So this study has the objective to analyze the physiology and storage conditions of the açai berry through measures of respiration, based on temperature and water content, freezing point detection, water potential due to water content function, cohesion of the mesocarp, color of the parenchymal reserve, pH level, acidity and contents of anthocyanins. The respiration based on the temperature of the açai berry can be fitted by Arrhenius' curve with activation energy of $79.6 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. Q_{10} values for the açai berry were between 2 and 3. The metabolism of the açai berry showed an exponential result related to the reduction in water content. The average freezing temperature was around $-3.4 \text{ }^\circ\text{C}$, and maximum of $-1.8 \text{ }^\circ\text{C}$. The hydroconservation storage reduces oxidation of anthocyanins, due to its low temperature. However, fruits stored in hydroconservation showed possible characteristics of freezing injury and anaerobic conditions, indicated by the presence of aqueous solution produced by the fruit inside the package, reducing the mesocarp cohesive force, changing the parenchyma's reserves colour and acidity variations. The refrigerator storage leads to a fast decrease in total anthocyanins. The gas permeability of the used packaging process reduces the anaerobic process, and its higher storage temperature decreases the symptoms of freezing injury, but increases fruit water loss.

Key-words: *Euterpe oleracea*, respiration, freezing, water potential, quality, hydroconservation, mesocarp cohesion

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	IV
RESUMO	V
PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF AÇAÍ BERRY IN COLD STORAGE	VI
ABSTRACT	VI
SUMÁRIO	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	XII
1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. O FRUTO DE AÇAÍ.....	16
2.1.1. <i>Anatomia do fruto</i>	16
2.1.2. <i>Qualidade do fruto</i>	18
2.1.3. <i>Pós-colheita</i>	19
2.1.4. <i>Processamento do fruto</i>	20
2.1.5. <i>Qualidade da polpa de açaí</i>	21
2.2. RESPIRAÇÃO DE FRUTOS.....	22
2.2.1. <i>Temperatura</i>	23
2.3. TEOR DE ÁGUA EM FRUTOS	25
2.3.1. <i>Potencial de água em tecidos orgânicos</i>	26
2.4. AVALIAÇÃO MECÂNICA DE FRUTOS	28
2.4.1. <i>Força de cisalhamento e torque</i>	29
2.4.2. <i>Ruptura</i>	30
2.5. HIDROCONSERVAÇÃO	32
2.6. ESPAÇO DE CORES CIELAB.....	32
3. RESPIRAÇÃO DO FRUTO DE AÇAÍ.....	34
3.1. INTRODUÇÃO	34
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
3.2.1. <i>As amostras</i>	34
3.2.2. <i>Determinação da respiração</i>	35
3.2.3. <i>Influência da temperatura</i>	36
3.2.4. <i>Influência do teor de água</i>	36
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
3.3.1. <i>Influência da temperatura</i>	36
3.3.2. <i>Influência do teor de água</i>	39

3.4.	CONCLUSÕES	41
4.	CONGELAMENTO DO FRUTO DE AÇAÍ	42
4.1.	INTRODUÇÃO	42
4.2.	MATERIAIS E MÉTODOS	42
4.3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.4.	CONCLUSÕES	46
5.	ARMAZENAMENTO REFRIGERADO DO FRUTO DE AÇAÍ	47
5.1.	INTRODUÇÃO	47
5.2.	MATERIAIS E MÉTODOS	47
5.2.1.	<i>As amostras</i>	47
5.2.2.	<i>Despolpamento dos frutos</i>	48
5.2.3.	<i>Armazenamento</i>	48
5.2.4.	<i>Fluxograma dos experimentos</i>	48
5.2.5.	<i>Determinação do potencial de água</i>	50
5.2.6.	<i>Coesão do mesocarpo</i>	51
5.2.7.	<i>Cor do parênquima de reserva</i>	54
5.2.8.	<i>pH e acidez titulável</i>	54
5.2.9.	<i>Antocianinas totais</i>	54
5.3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5.3.1.	<i>Determinação do potencial de água</i>	56
5.3.2.	<i>Coesão do mesocarpo</i>	57
5.3.3.	<i>Cor do parênquima de reserva</i>	60
5.3.4.	<i>pH e acidez titulável</i>	63
5.3.5.	<i>Antocianinas totais</i>	66
5.4.	CONCLUSÕES	67
6.	CONCLUSÃO GERAL	69
	REFERÊNCIAS	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fruto de açaí cortado ao meio e sem indicar o epicarpo que não é visível a olho nu (Foto: José Dalton Cruz Pessoa).....	17
Figura 2: Corte histológico do fruto de açaí com aumento de 100 vezes, mostrando cada uma das camadas: 1-Epiderme, 2-Parênquima fenólico ou antocianínico, 3-Esclerênquima externo, 4-Parênquima interno de reserva, 5-Região do sistema vascular, 6-Endocarpo, 7-Endosperma. (Foto: Gisele Vieira Ribeiro).....	18
Figura 3: Forma manual de verificação da aderência do pericarpo no caroço. A seta indica o sentido da força realizada pelo polegar para retirar o pericarpo.....	19
Figura 4: Frutos de açaí em paneiros na feira do açaí em Belém – PA (Foto: Karina Eder)...	20
Figura 5: Despolpadora vertical de açaí (Foto: Geraldo James De Marchi).....	21
Figura 6: (a) Exemplo de aplicação da força de cisalhamento P e P' na placa A . (b) Força de cisalhamento P no interior da placa, na altura do corte B (BEER & JOHNSTON Jr.; 1989).....	29
Figura 7: Momentos de torção de um eixo circular (BEER & JOHNSTON Jr.; 1989).....	30
Figura 8: Diagrama de força x deformação em teste de compressão da laranja (SIGH & REDDY, 2006).....	31
Figura 9: Diagrama de tensão x deformação para casca do tomate em teste de tração (ANDREWS <i>et al.</i> , 2002).....	32
Figura 10: Esquema da variação de cores das coordenadas do espaço CIELAB.....	33
Figura 11: Esquema utilizado para a montagem do equipamento para a determinação da taxa de respiração do açaí.....	35
Figura 12: Respiração do fruto de açaí, em função da temperatura, (○) dados experimentais e (—) curva de ajuste pelo modelo de Arrhenius. (As barras indicam o desvio padrão).....	37
Figura 13: Valores de Q_{10} para frutos de açaí em diferentes intervalos de temperatura.....	39
Figura 14: Respiração do fruto de açaí em função do teor de água, (○) pontos experimentais e (—) ajuste exponencial.....	40
Figura 15: Curva de resfriamento e congelamento de um fruto de açaí, onde $R1$ indica o resfriamento do fruto a partir da temperatura ambiente, SR a temperatura de super-resfriamento, PC o ponto de congelamento, Pt o patamar de congelamento, e $R2$ a redução da temperatura do fruto congelado.....	43

Figura 16: Histograma do congelamento de frutos de açaí em cada intervalo de temperatura, durante o processo de resfriamento.....	44
Figura 17: Relação entre a temperatura de congelamento e a temperatura de super-resfriamento (\circ), com curva de ajuste pelo modelo de Boltzmann (—).....	45
Figura 18: Fluxograma dos experimentos realizados com os frutos armazenados em hidroconservador ($-1\text{ }^{\circ}\text{C}$).	49
Figura 19: Fluxograma dos experimentos realizados com os frutos armazenados em geladeira ($7\text{ }^{\circ}\text{C}$).	50
Figura 20: Disposição dos frutos de açaí cortados ao meio, no porta-amostras do medidor de potencial de água Decagon [®] modelo WP4-T.....	51
Figura 21: Esquema do medidor de coesão do mesocarpo de frutos do gênero <i>Euterpe</i>	52
Figura 22: Potencial de água em função do teor de água em frutos de açaí com 24 horas após a colheita (\square) e com 48 horas após a colheita (\circ) e as respectivas curvas provenientes da regressão linear do inverso do potencial.	56
Figura 23: Força de coesão do mesocarpo dos frutos armazenados em hidroconservador ($-1\text{ }^{\circ}\text{C}$). (As barras indicam o desvio padrão).....	58
Figura 24: Força de coesão do mesocarpo dos frutos armazenados em geladeira ($7\text{ }^{\circ}\text{C}$). (As barras indicam o desvio padrão).....	58
Figura 25: Variação na luminosidade L^* do parênquima de reserva do fruto de açaí armazenado. (As barras indicam o desvio padrão)	61
Figura 26: Variação na variável a^* do parênquima de reserva do fruto de açaí armazenado. (As barras indicam o desvio padrão).....	61
Figura 27: Variação na variável b^* do parênquima de reserva do fruto de açaí armazenado. (As barras indicam o desvio padrão).....	62
Figura 28: Variação no pH da polpa dos frutos durante o período de armazenamento em hidroconservador ($-1\text{ }^{\circ}\text{C}$).	63
Figura 29: Variação no pH da polpa dos frutos durante o período de armazenamento em geladeira ($7\text{ }^{\circ}\text{C}$).	63
Figura 30: Acidez titulável na polpa de frutos de açaí, em função do tempo de armazenamento em hidroconservador ($-1\text{ }^{\circ}\text{C}$). (As barras indicam o desvio padrão)	64
Figura 31: Acidez titulável na polpa de frutos de açaí, em função do tempo de armazenamento em geladeira ($7\text{ }^{\circ}\text{C}$). (As barras indicam o desvio padrão)	65
Figura 32: Teor de antocianinas totais na polpa de frutos de açaí, armazenados em hidroconservador ($-1\text{ }^{\circ}\text{C}$). (As barras indicam o desvio padrão)	66

Figura 33: Teor de antocianinas totais na polpa de frutos de açaí, armazenados em geladeira (7 °C). (As barras indicam o desvio padrão)..... 67

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Q_{10}	Coeficiente da temperatura de respiração
R_{Ti}	Taxa respiratória na temperatura T_i
M_u	Massa úmida
M_s	Massa de matéria seca
M_a	Massa da água contida no objeto de estudo
t	Teor de água com base na matéria seca
a_a	Atividade da água
P	Pressão de vapor da água no tecido
P_0	Pressão de vapor da água pura
μ_i	Potencial químico da substância i
a_i	Atividade da substância i
R_c	Constante universal dos gases ($8,314 \text{ mol}^{-1}\text{K}^{-1}$)
T	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
Ψ	Potencial de água
μ_W	Potencial químico da água de um sistema
μ^*_W	Potencial químico da água pura em pressão atmosférica e na mesma temperatura do sistema
V_W	Volume molar parcial da água ($18 \text{ cm}^3/\text{mol}$)
Ψ_m	Potencial mátrico
Ψ_{Ω}	Potencial osmótico
Ψ_p	Potencial de turgescência
τ	Torque (Nm)
F	Força (N)
d	Distância entre o ponto de aplicação da força e o ponto de rotação
L^*	Variável de luminosidade do CIELab
a^* e b^*	Variáveis de cor do CIELab
R	Respiração
C	Concentração de CO_2
C_{Amb}	Concentração de CO_2 do ar
Φ	Fluxo de ar
m	massa dos frutos

E_a	Energia de ativação da equação de Arrhenius
A	Fator pré-exponencial da equação de Arrhenius
R_0	Deslocamento vertical da curva de Arrhenius
y	Variável dependente no modelo de Boltzmann
x	Variável independente no modelo de Boltzmann
F_c	Força de coesão dos tecidos do fruto
ρ	Densidade do líquido do reservatório graduado
V	Volume adicionado ao recipiente
M_R	Massa do recipiente
R_{rol}	Raio da roldana
r	Raio do contato entre o fruto e a superfície
V_{NaOH}	Volume de hidróxido de sódio gasto na titulação
M	Molaridade da solução de hidróxido de sódio
PM	Peso molecular do ácido cítrico (192 g)
n	Número de hidrogênios ionizáveis ($n = 3$ para o ácido cítrico),
v	Volume de água adicionado no despulpamento dos frutos
V_{am}	Volume da amostra
m	Massa dos frutos
$\lambda_{vis-max}$	Absorbância máxima no espectro visível
λ_{700nm}	Absorbância em 700 nm
A_d	Diferença na absorvidade em $pH = 1,0$ e $pH = 4,5$
C_{ant}	Concentração de antocianinas totais
MM	Massa molecular da cianidina-3-glicosídeo (449,2 g/mol)
ϵ	Absortividade molar da cianidina-3-glicosídeo (26.900)
FD	Fator de diluição
a e b	Parâmetros de ajuste

1. INTRODUÇÃO

O mercado alimentício é um setor que está em constante desenvolvimento buscando atender as demandas de consumidores cada vez mais exigentes por variedades e qualidade. Além disso, as mudanças nas características da sociedade tornam cada vez maior a procura por alimentos prontos ou semi-prontos. Nesta categoria inclui-se as polpas de fruta, como alimento saudável, saboroso e fácil de preparar. Entre essas, a polpa de açaí vem se destacando no mercado por apresentar alto valor calórico e atividade antioxidante, benéfica na prevenção de doenças.

Com o mercado em expansão, as agroindústrias de despulpamento do açaí aumentam sua produção com o desafio de manter a qualidade do produto. Como as melhores polpas são provenientes dos melhores insumos, busca-se aperfeiçoar as técnicas de plantio, colheita, armazenamento e transporte dos frutos.

Grande parte dos frutos de açaí provém do extrativismo realizado por ribeirinhos ao longo da bacia amazônica. As condições precárias de transporte até os centros urbanos (onde estão instaladas as agroindústrias) e armazenamento, tendem a gerar perdas pós-colheita e redução na qualidade dos frutos até o destino final. Isto afeta seu preço de mercado, com perdas financeiras para o produtor ou coletor, que não obtém remuneração adequada. A indústria terá frutos com menor rendimento e que precisam ser processados no mesmo dia, o que implica em horas extras e em ritmo de trabalho irregular.

Os estudos em pós-colheita e fisiologia do fruto de açaí são escassos. Portanto trata-se de um fruto com amplo campo para estudo. O crescimento de seu mercado o torna o centro das atenções, apresentando cada dia mais necessidades de estudos sobre armazenamento, transporte e beneficiamento. Áreas como a determinação do ponto de congelamento do fruto, alterações de suas características físico-químicas durante armazenamento prolongado, variações no teor de antocianinas com diferentes métodos de armazenamento, ou mesmo a determinação do comportamento respiratório do fruto, em função da temperatura, ainda se encontram em aberto para estudos.

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de preencher algumas destas lacunas do conhecimento sobre o fruto de açaí. O estudo foi dividido em três partes: avaliação da respiração, determinação do ponto de congelamento e armazenamento refrigerado do fruto de açaí.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o açaí (fruto, polpa e processamento) e pós-colheitas de frutos. O Capítulo 3 trata do comportamento respiratório do fruto de açaí em função da temperatura e do teor de água. O congelamento do fruto é estudado no Capítulo 4, onde, entre outras coisas, é determinada a sua temperatura de congelamento. No Capítulo 5, o fruto de açaí foi armazenado em duas condições (geladeira e hidroconservador) e avaliadas as seguintes características físico-químicas: potencial de água, coesão do mesocarpo, cor do parênquima de reserva, pH, acidez titulável e teor de antocianinas totais. Para a medida de coesão do mesocarpo foi desenvolvido um equipamento denominado “Medidor de Coesão do Mesocarpo de Frutos do Gênero *Euterpe*”.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O Fruto de Açaí

Grandes populações de *Euterpe oleracea* podem ser encontradas ao longo das áreas periodicamente alagadas dos rios da bacia Amazônica. Essa espécie, por alguns anos, foi desordenadamente explorada para a extração do palmito. Porém, seu fruto é um importante e tradicional item na alimentação das populações ribeirinhas (MURRIETA *et al.*, 1999). Muitos esforços têm sido feitos para viabilizar a exploração sustentável das populações nativas de açaizeiro (NOGUEIRA, 2000; NOGUEIRA & CONCEIÇÃO, 2000; FRECKLETON *et al.*, 2003).

Pesquisas sobre a composição química da bebida de açaí (COSTA & TAVARES, 1936; AGUIAR *et al.*, 1980; LEHTI, 1993; AGUIAR, 1996) internacionalizaram o interesse neste fruto. Um dos motivos foi a presença de polifenóis como as antocianinas, pigmentos naturais antioxidantes (ROGEZ, 2000; BOBBIO *et al.*, 2002; GALLORI *et al.*, 2004; KUSKOSKI *et al.*, 2006; SCHAUSS *et al.*, 2006; SPADA *et al.*, 2008). Sua bebida é rica em vitaminas A, B, C e E, e também altamente calórica, com uma média de 256 kcal em 100g de polpa (LUBRANO *et al.*, 1994; LUBRANO *et al.*, 1997).

Além da alimentação, algumas substâncias presentes no açaí podem ter outras aplicações industriais e na saúde, como, por exemplo, a utilização dos polifenóis na redução da proliferação das células HL-60 responsáveis pela leucemia (POZO-INSFRAN *et al.*, 2006). Em outras aplicações, as antocianinas podem ser utilizadas como pigmento de iogurte (COÏSSON *et al.*, 2005), agente contrastante oral em exames por ressonância magnética (MRI) (CÓRDOVA-FRAGA *et al.*, 2004) e vasodilatador (ROCHA *et al.*, 2007).

2.1.1. Anatomia do fruto

O fruto do açaizeiro possui forma esférica, de superfície lisa e cor violeta, quase preta, quando maduro. Existem divergências sobre algumas características do fruto, provavelmente por se tratarem de frutos originários de diferentes áreas do país, ou colhidos em diferentes épocas do ano. Paula (1975) diz que os frutos possuem massa entre 2,6 g e 3,0 g e polpa com cerca de 1 mm de espessura. Pessoa & Silva (2007) afirmam que a massa média do fruto é de 1,46 g e que a polpa representa apenas 25 % dessa massa. Rogez (2000) indica diâmetro do fruto entre 1 cm e 2 cm, peso médio entre 0,8 g e 2,3 g e polpa com espessura de 1 mm a 2 mm, representando 12 % da massa do fruto.

A estrutura do fruto pode ser dividida em epicarpo (ou epiderme), mesocarpo, endocarpo, endosperma e embrião. A bebida de açaí é feita a partir do epicarpo e mesocarpo. O fruto de açaí quando cortado ao meio e exposto suas diferentes estruturas é apresentado na Figura 1. O epicarpo não é indicado, pois, por ser muito fino, não é visível a olho nu.

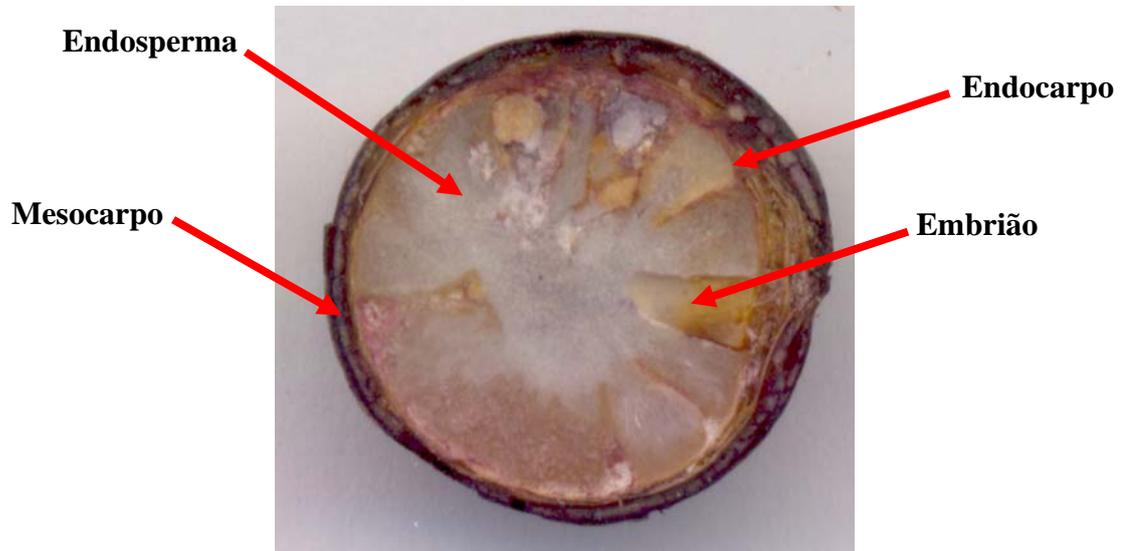


Figura 1: Fruto de açaí cortado ao meio e sem indicar o epicarpo que não é visível a olho nu (Foto: José Dalton Cruz Pessoa).

A seção transversal do fruto é apresentada na Figura 2, onde se observa, do exterior para o interior: (1) epiderme unisseriada, coberta por uma fina camada de cutícula; (2) parênquima fundamental externo, fenólico ou antocianínico (0,13 mm) e constituído de pelo menos dez camadas de células; (3) camada externa de esclerênquima (0,3 mm), constituída por paredes secundárias grossas; (4) parênquima interno (0,31 mm), cujas células acumulam lipídios; (5) região onde se situa o sistema vascular (0,3 mm), constituído por monostelos; e (6) endocarpo, que contém o (7) endosperma em seu interior, onde predominam células com paredes muito espessas (PESSOA *et al.*, 2006; RIBEIRO *et al.*, 2008; RIBEIRO, 2010).

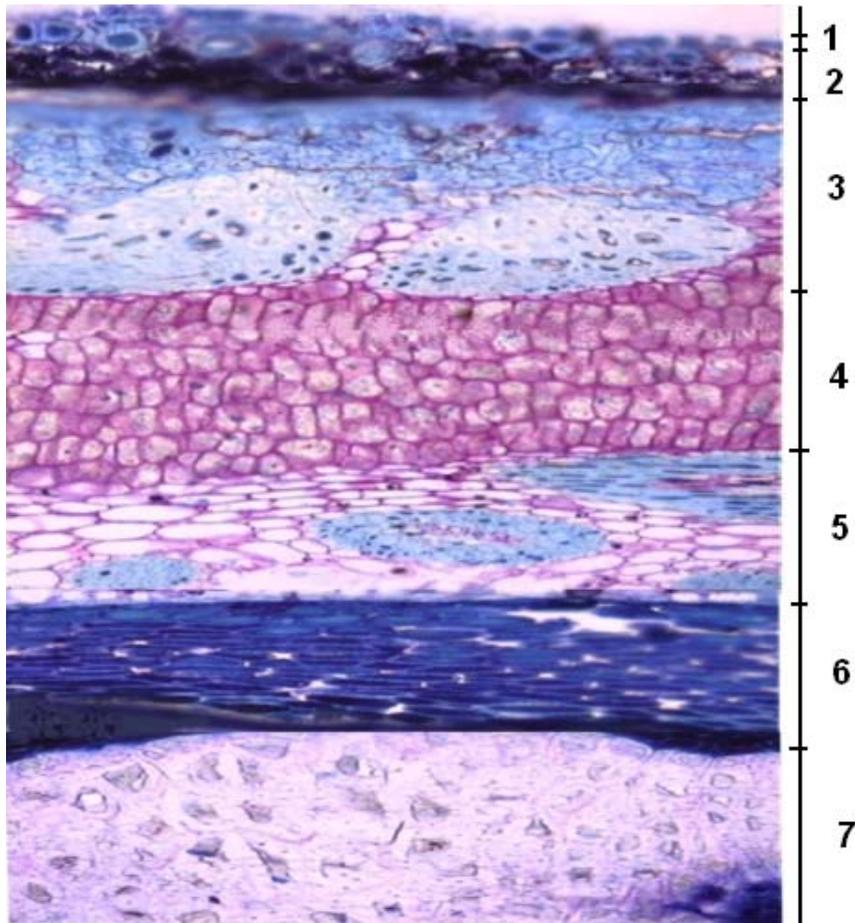


Figura 2: Corte histológico do fruto de açaí com aumento de 100 vezes, mostrando cada uma das camadas: 1-Epiderme, 2-Parênquima fenólico ou antocianínico, 3-Esclerênquima externo, 4-Parênquima interno de reserva, 5-Região do sistema vascular, 6-Endocarpo, 7-Endosperma. (Foto: Gisele Vieira Ribeiro).

2.1.2. Qualidade do fruto

Qualidade é, geralmente, definida como todas as características de um alimento e não apenas suas características sensoriais, que levam à satisfação do consumidor. Importantes critérios de qualidade incluem cor, tamanho e formato; condições e ausência de defeitos; textura; sabor e valor nutricional (WILLS *et al.*, 1998).

As indústrias de extração de polpa de açaí apresentam métodos rudimentares para controle de qualidade e seleção da matéria prima. Geralmente o controle de qualidade é feito através da análise de três parâmetros principais: cor, odor e coesão do mesocarpo, sendo aferidos de forma visual, olfativa e pelo toque, respectivamente. A cor violácea característica do fruto é proveniente das antocianinas, que mudam para uma cor marrom após sua oxidação. O fruto fresco tem um perfume característico que muda para um cheiro desagradável se mantido em condições inadequadas de armazenamento. A coesão é avaliada aplicando com as mãos uma força de cisalhamento entre o indicador e o polegar (Figura 3). Se o mesocarpo se

soltar “fácilmente” o fruto é considerado bom. Para estas aferições não é utilizado nenhum tipo de aparelho ou método normalizado, implicando em análise e julgamento subjetivo (ROGEZ, 2000).

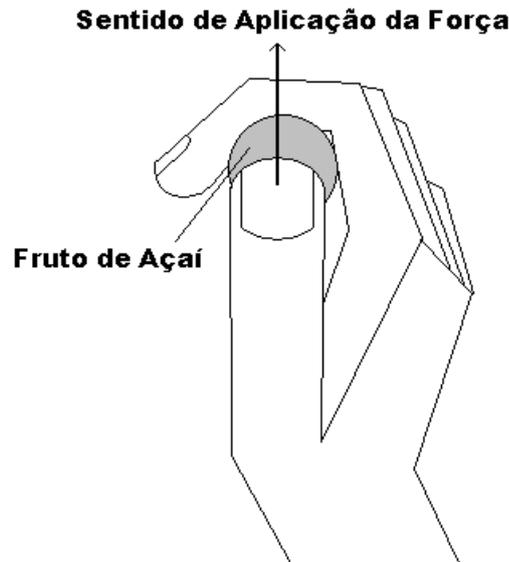


Figura 3: Forma manual de verificação da aderência do pericarpo no caroço. A seta indica o sentido da força realizada pelo polegar para retirar o pericarpo.

2.1.3. Pós-colheita

Aproximadamente 70 % do fruto de açaí produzido é proveniente da extração realizada por pequenos lavradores ao longo das margens dos rios da bacia Amazônica e na ilha de Marajó (HIRAOKA, 1995; ROGEZ, 2000; PESSOA & SILVA, 2007). Seu transporte ainda é realizado, do produtor para a indústria, em canoas e a temperatura ambiente. O fruto é armazenado e transportado em paneiros (Figura 4), que são recipientes feitos de fibras naturais, e mantidos à sombra, como forma de preservação (ROGEZ, 2000). Para longas viagens, os frutos são armazenados nos paneiros ou caixas plásticas e mantidos entre camadas de gelo (PESSOA & SILVA, 2007). Parte dos frutos fica submersa no gelo derretido e a ausência de fluxo de ar gera grandes gradientes de temperaturas.

Em ambos os casos, a vida útil do fruto não ultrapassa 5 dias e essa limitação tem conseqüências sociais e econômicas, pois pequenos produtores que vivem longe das agroindústrias, geralmente instaladas próximas a um grande centro urbano, não conseguem um preço razoável pela sua produção, pois os frutos chegam ao destino com qualidade prejudicada. A indústria fica sem frutos de qualidade e não possuirá um fornecimento regular

ao longo do ano, pois não há um método de armazenamento que atenda à demanda da entressafra.



Figura 4: Frutos de açaí em paneiros na feira do açaí em Belém – PA (Foto: Karina Eder).

2.1.4. Processamento do fruto

As etapas do processamento do fruto de açaí são: seleção, sanitização, hidratação e despulpamento, seguido de pasteurização. Durante a etapa de seleção são retirados os frutos verdes ou impróprios para o processamento, além de serem retiradas impurezas menores, como restos de sépalas, fragmentos de ráquulas, insetos e terra. Os frutos selecionados são sanitizados em solução de hipoclorito de sódio a 20 mg/L, por cerca de 20 minutos (COHEN & ALVES, 2006).

Na etapa de hidratação os frutos são submersos em água à temperatura ambiente, ou a 40 °C, por um período de tempo que varia com a origem dos frutos. Pessoa & Silva (2007) recomendam tempo de hidratação de 30 minutos, em água à temperatura ambiente. A hidratação é importante, pois permite o amolecimento da polpa, facilitando o despulpamento (ROGEZ, 2000; PESSOA & SILVA, 2007).

O despulpamento pode ser feito por batelada em despulpadora vertical (Figura 5), ou em processo contínuo em despulpadora horizontal, sendo que em ambos os casos a despulpadora consiste em um cilindro com pás giratórias. Com a adição de frutos e água

forma-se uma emulsão, que passa por uma peneira e está pronta para o consumo ou para a pasteurização e comercialização.

As características físico-químicas da bebida dependem da quantidade e do fluxo de água adicionada (ROGEZ, 2000; COHEN & ALVES, 2006). Bebidas com 19 % de matéria seca ou mais apresentam gosto amargo, provavelmente causado pela extração de partes do caroço (TOAIARI *et al.*, 2005).



Figura 5: Despolpadora vertical de açai (Foto: Geraldo James De Marchi).

No despulpamento dos frutos a ruptura do mesocarpo ocorre no parênquima de reserva, deixando os monostelos (fibras) expostos, porém aderidos ao endocarpo (RIBEIRO, 2010).

Existem alguns estudos sobre o processo de hidratação do fruto de açai (ROGEZ, 2000; PESSOA & SILVA, 2007) e seu efeito no despulpamento (RIBEIRO, 2010), porém não foi encontrado nenhum trabalho sobre a coesão do mesocarpo do fruto.

2.1.5. Qualidade da polpa de açai

Existem muitos estudos sobre a composição química da polpa de açai (COSTA & TAVARES, 1936; AGUIAR *et al.*, 1980; LEHTI, 1993; AGUIAR, 1996; ROGEZ, 2000;

YUYAMA *et al.*, 2002; SCHAUSS *et al.*, 2006; MENEZES *et al.*, 2008), sendo identificado que a cor característica da bebida é decorrente da presença de antocianinas (cianidina-3-glicosídeo e cianidina-3-rutinosídeo), que são polifenóis com alta atividade antioxidante (BOBBIO *et al.*, 2000; ROGEZ, 2000; BOBBIO *et al.*, 2002; GALLORI *et al.*, 2004; POZO-INSFRAN *et al.*, 2004; HASSIMOTTO *et al.*, 2005; KUSKOSKI *et al.*, 2006; ALBARICI *et al.*, 2007; SCHAUSS *et al.*, 2006; SPADA *et al.*, 2008; TONON *et al.*, 2008; PACHECO-PALENCIA & TALCOTT, 2010).

Além disso, podem ser encontrados alguns estudos sobre a contaminação microbiológica da polpa de açaí (ALEXANDRE, 2002; MENEZES, 2005; SOUZA *et al.*, 2006; POMPEU *et al.*, 2009), e sobre as suas características físico-químicas, tais como pH e acidez titulável (ROGEZ, 2000; ALEXANDRE, 2002; MENEZES, 2005; SOUZA *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2008).

Portanto, avaliações da qualidade da bebida de açaí incluem medidas de pH, acidez titulável e quantificação das antocianinas totais, sendo que a Instrução Normativa nº 01 de 07/01/2000, do MAPA (BRASIL, 2000) determina que o pH da bebida deve estar entre 4,00 e 6,20, e que a acidez total (ou titulável) é dependente da densidade da polpa, mas para a polpa mais densa (grosso) seu limite máximo é de 0,45 g de ácido cítrico em 100 g de polpa.

2.2. Respiração de Frutos

Após a colheita do fruto, a respiração se torna o seu principal processo biológico. Os frutos têm vida independente e utilizam suas próprias reservas de substratos (amido, açúcares, gorduras, ácidos orgânicos e outros nutrientes) acumulados durante o seu crescimento e maturação, levando a uma depressão progressiva em suas reservas de matéria seca (CHITARRA & CHITARRA, 1990; SALISBURY & ROSS, 1992). Em geral, existe uma relação inversamente proporcional entre a taxa de respiração e a vida pós-colheita de vegetais frescos. Quanto maior a taxa respiratória, menor a vida pós-colheita do vegetal (KADER & SALTVEIT, 2003).

A respiração celular é comumente expressa em termos de oxidação de um açúcar de 6 carbonos. A Equação 1 representa uma reação duplo redox, na qual a glicose ($C_6H_{12}O_6$) é completamente oxidada em gás carbônico (CO_2) e o oxigênio (O_2) é reduzido em água (H_2O). A mudança de energia livre padrão para estas reações libera 2880 kJ (686kcal) por mole (180 g) de glicose oxidada (SALISBURY & ROSS, 1992).



Equação 1

2.2.1. Temperatura

A principal técnica de conservação dos frutos é a redução da temperatura de armazenamento, que é o fator que mais influencia na taxa respiratória (PETRACEK *et al.*, 2002; KADER & SALTVEIT, 2003; NUNES & EMOND, 2003; BHANDE *et al.*, 2008). De modo geral, quanto menor a temperatura de armazenamento, maior será a vida útil do fruto, porém existe uma temperatura ideal para a manutenção de cada tipo de fruto, para que o mesmo conserve ao máximo sua qualidade. Temperaturas muito inferiores ou muito superiores à ideal podem acarretar injúrias, ou seja, lesões fisiológicas (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

Injúrias por frio (*chilling*) têm sido observadas em tecido de plantas e em frutos, especialmente naqueles de origem tropical ou sub-tropical. Essas injúrias são resultado da exposição dos tecidos susceptíveis a temperaturas, geralmente, abaixo de 15 °C, embora a temperatura crítica, na qual os sintomas de *chilling* surgem, varia para cada produto (CHITARRA & CHITARRA, 1990; WILLS *et al.*, 1998). Alguns de seus sintomas estão relacionados a alterações das taxas respiratórias, da cor e do sabor, ao extravasamento de solutos e à perda da integridade da membrana celular (CHITARRA & CHITARRA, 1990; WILLS *et al.*, 1998; CARMO, 2004).

Outro ponto da redução da temperatura é o congelamento do fruto. O congelamento de tecidos orgânicos ocorre com a formação de pequenos cristais de gelo entre as células, levando à desidratação das mesmas. Com o crescimento dos cristais de gelo também pode ocorrer a destruição da membrana plasmática (FINKLE *et al.*, 1974; CHITARRA & CHITARRA, 1990; WILLS *et al.*, 1998; SALTVEIT, 2003; MARTÍNEZ-ROMERO *et al.*, 2004; REID & BARRETT, 2005). Modise (2008) observou que o congelamento prolongado aumentou o tamanho dos cristais de gelo, gerando diferenças nos compostos voláteis do morango. Ma *et al.* (2007) verificaram alterações no tipo e quantidades dos ésteres contidos em melões causadas pelos danos do congelamento. Blanda *et al.* (2008) sugeriram que a pouca aceitabilidade das nectarinas congeladas se deve à oxidação decorrente das injúrias durante o congelamento.

Em geral, quanto mais baixa a temperatura de armazenamento, dentro dos limites aceitáveis, ou seja, próximo ao ponto de congelamento ou ao ponto de *chilling*, dependendo do produto, maior o tempo de vida durante o armazenamento. Mesmo uma pequena diferença na temperatura de armazenamento é suficiente para alterar a qualidade do produto. A redução

na temperatura de armazenamento de +0,5 °C para -0,5 °C de maçãs ‘Fuji’, sob mesma atmosfera, diminui a degenerescência (BRACKMANN *et al.*, 1998) e aumenta a firmeza da polpa (GÓMEZ, 2005). Mazaro *et al.* (2000) verificaram que os kiwis armazenados a -0,5 °C mantiveram uma qualidade superior quando comparados aos armazenados em +0,5 °C.

O aumento na temperatura de armazenamento leva a um aumento nas taxas de reações metabólicas nos frutos e hortaliças. De qualquer forma, nem todas as reações têm a mesma taxa relativa de mudança em resposta à temperatura. O parâmetro mais comumente usado, em fisiologia pós-colheita, para descrever a relação entre a temperatura e o metabolismo de produtos hortícolas é o coeficiente da temperatura de respiração (Q_{10}). O Q_{10} pode ser definido pela relação apresentada na Equação 2, onde R_{T_1} é a taxa respiratória do fruto na temperatura T_1 e R_{T_1+10} é a taxa respiratória na temperatura T_1+10 °C (NUNES & EMOND, 2003; SALTVEIT, 2003).

$$Q_{10} = \frac{R_{T_1+10}}{R_{T_1}} \quad \text{Equação 2}$$

O Q_{10} de frutas e hortaliças frescas é geralmente calculado em um espaço específico de temperatura, ou seja, o espaço das temperaturas fisiológicas, entre 0 °C e 40 °C. Para muitos produtos, o Q_{10} é de 2,0 a 2,5 para temperaturas entre 5 °C e 25 °C. Isso significa que para cada 10 °C de aumento na temperatura, a taxa de respiração aumenta de 2,0 a 2,5 vezes (KADER & SALTVEIT, 2003; NUNES & EMOND, 2003).

De qualquer forma, existem certas limitações no uso do Q_{10} para taxas respiratórias. O mais importante é que o Q_{10} só pode ser calculado para vegetais frescos porque, em qualquer estágio mais avançado, eles terão diferentes idades fisiológicas e diferentes composições químicas (PLATENIUS, 1942). O Q_{10} não é válido em baixas temperaturas, devido à sensibilidade dos produtos às injúrias pelo frio (*chilling*) (SHEWFELT, 1986).

Para os cálculos de Q_{10} envolvendo intervalos de temperaturas diferentes de 10°C, utiliza-se a Equação 3, onde T_1 e T_2 são as temperaturas de armazenamento e R_{T_1} e R_{T_2} as taxas respiratórias naquelas temperaturas (PLATENIUS, 1942; SHEWFELT, 1986; CHITARRA & CHITARRA, 1990; KADER & SALTVEIT, 2003; NUNES & EMOND, 2003; FONSECA *et al.*, 2002; PETRACEK, 2002; STEFFENS, 2007).

$$Q_{10} = \left(\frac{R_{T2}}{R_{T1}} \right)^{10/(T_2 - T_1)}$$

Equação 3

Tipicamente, os valores de Q_{10} para taxas de respiração em hortaliças podem variar ao longo do espaço de temperaturas, sendo maiores entre 0 °C e 10 °C, em torno de 2 a 3 entre 10 °C e 30 °C e diminuem continuamente para 1 em temperaturas mais altas, como mostrado na Tabela 1 (KADER & SALTVEIT, 2003).

Tabela 1: Valores mais comuns para o Q_{10} , de acordo com a faixa de temperatura e independente do produto (KADER & SALTVEIT, 2003).

Faixa de temperatura (°C)	Valor Q_{10}
0 – 10	2,5 – 4,0
10 – 20	2,0 – 2,5
20 – 30	1,5 – 2,0
30 – 40	1,0 – 1,5

O conhecimento do ponto de congelamento e das taxas respiratórias de um fruto é de vital importância para o seu armazenamento pós-colheita, sem que haja perda de qualidade. Pompeu *et al.* (2009) utilizaram a perda de massa, que seria decorrente da respiração, para estudar o comportamento respiratório dos frutos de açaí, sob armazenamento refrigerado, e observaram a alta influência da temperatura e do tempo de armazenamento na variação da massa dos frutos. Porém, não foi encontrada nenhuma literatura sobre o ponto de congelamento do fruto de açaí.

2.3. Teor de Água em Frutos

A água apresenta propriedades físicas que a caracterizam como um solvente biológico ideal, constituindo o principal componente dos tecidos vivos e o requisito essencial para a existência da vida. Representando pelo menos 70% do peso do protoplasma de células metabolicamente ativas. Tanto a organização da estrutura celular como a cadeia de processos bioquímicos anabólicos e catabólicos dependem da presença e da atuação da água.

A redução em sua disponibilidade provoca diminuição na taxa de difusão de solutos para regiões de marcante metabolismo ou de desenvolvimento, onde se verifica a atividade

enzimática mais intensa. Ao mesmo tempo, direciona a difusão de solutos e inúmeras reações químicas no interior da célula, determinando o comportamento de tecidos, de partes componentes e, conseqüentemente, de todo o indivíduo. Devem ser ressaltados, também, os efeitos do acréscimo proporcional de água sobre a velocidade e intensidade de deterioração e a atividade de insetos e microrganismos. Porém, estudos bioquímicos mostram que certas reações ocorrem de maneira mais rápida e eficiente em tecidos mais secos que nos úmidos, inclusive na ausência de água livre. Assim, quando o tecido apresenta teor de água inferior a determinado limite, passam a prevalecer, por exemplo, as reações de oxidação de lipídios, desencadeando a formação e atuação de radicais livres. Quando o teor de água é muito alto, atividades enzimáticas e microbiológicas são estimuladas (SALISBURY & ROSS, 1985; MARCOS FILHO, 2005; FELLOWS, 2006).

Numa estrutura qualquer, a massa úmida (M_u) é obtida pela soma das massas de matéria seca (M_s) e de água (M_a), ou seja, $M_u = M_s + M_a$. Desta maneira, são estabelecidas relações entre esses componentes para caracterizar o teor de água com base na massa de matéria seca (t). Na Equação 4, o t é expresso em porcentagem da fração de água em relação à sua massa de matéria seca (%) (MARCOS FILHO, 2005).

$$t = \frac{(M_u - M_s)}{M_s} \quad \text{Equação 4}$$

A redução no teor de água no fruto de açaí causa efeitos sucessivos de ruptura e conseqüente retração dos tecidos do mesocarpo, apresentando maiores efeitos para maiores perdas de massa fresca (RIBEIRO, 2010).

2.3.1. Potencial de água em tecidos orgânicos

Enquanto o teor de água indica a quantidade de água presente na amostra, o potencial de água fornece informações sobre a sua disponibilidade para o citoplasma. A água contida em um tecido orgânico pode ser caracterizada por um estado de energia, que é determinado através do potencial de energia da água por unidade de volume, identificado pelo potencial de água, e expresso em unidade de medida de pressão (MARCOS FILHO, 2005).

Para entender o potencial de água é necessário conhecer o que é potencial químico da água, que é dependente da atividade da água. A atividade da água (a_a) é definida como a razão entre a pressão de vapor da água no tecido (P) e a pressão de vapor da água pura na mesma temperatura (P_0), de acordo com a Equação 5 (FELLOWS, 2006)

$$a_a = \frac{P}{P_0} \quad \text{Equação 5}$$

Potencial químico de uma substância é a energia livre de Gibbs por mol de substância. A energia livre de Gibbs, em um sistema, é a máxima energia disponível para a realização de um trabalho, e decresce por processo espontâneo. A relação entre o potencial químico da substância i (μ_i) e a atividade da substância i (a_i) é apresentada na Equação 6, onde R_c é a constante universal dos gases ($8,314 \text{ mol}^{-1}\text{K}^{-1}$) e T é a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) (SALISBURY & ROSS, 1992; MARCOS FILHO, 2005).

$$\mu_i = R_c(T + 273) \ln a_i \quad \text{Equação 6}$$

Potencial de água (Ψ) é o potencial químico da água de um sistema (μ_w) comparado ao potencial químico da água pura em pressão atmosférica na mesma temperatura do sistema (μ_w^*), de acordo com a Equação 7, onde V_w é o volume molar parcial da água ($18 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$) (SALISBURY & ROSS, 1992).

$$\Psi = \frac{(\mu_w - \mu_w^*)}{V_w} \quad \text{Equação 7}$$

O potencial de água (Ψ) pode ser representado pela soma dos potenciais mátrico (Ψ_m), osmótico (Ψ_Ω) e de turgescência (Ψ_p), de acordo com a Equação 8.

$$\Psi = \Psi_m + \Psi_\Omega + \Psi_p \quad \text{Equação 8}$$

O potencial mátrico ou matricial traduz a habilidade das matrizes (paredes celulares, corpos protéicos, etc.) em se hidratar e reter água. O potencial osmótico ou potencial de soluto é determinado pela concentração osmótica, pois a presença de íons dissolvidos na água altera as interações entre suas moléculas. A pressão de turgescência ou potencial de pressão é exercida contra as paredes celulares de células túrgidas, a medida que a água penetra na célula e seu conteúdo aumenta de volume.

Sob pressão atmosférica normal, o potencial osmótico da água de tecidos orgânicos é normalmente negativo, devido à presença de solutos, pois a energia potencial da água na presença de solutos é inferior à energia da água pura, considerada padrão. O mesmo ocorre com o potencial mátrico, em função dos colóides presentes no tecido, pois as forças capilares e de adsorção não são desprezíveis, enquanto a pressão de turgescência é positiva e só pode existir nas substâncias que estão dentro das células. Assim, o potencial hídrico tem valor negativo, a não ser em células túrgidas, em que se iguala a zero, de modo que os decréscimos dos potenciais mátrico e osmótico da célula reduzem o potencial de água, tornando-o mais negativo.

Portanto, o potencial total de água permite verificar se um sistema está em equilíbrio hídrico, assim como determinar a orientação do deslocamento do fluxo de água, em função de diferenças entre os potenciais, conforme gradiente o negativo do potencial hídrico. O conceito de potencial de água é uma expressão do estado de energia da água, e, sendo assim, a difusão ocorre através de um gradiente de energia, do maior potencial, menos negativo, para o menor, mais negativo (SALISBURY & ROSS, 1985; MARCOS FILHO, 2005).

2.4. Avaliação mecânica de frutos

Estudos das propriedades mecânicas de frutos envolvem principalmente ensaios de tração, compressão, cisalhamento e medidas de firmeza, e podem ser utilizados para verificar a qualidade dos mesmos. A aplicação de ensaios mecânicos na análise de qualidade de frutos tem sido testada. Zamorano *et al.* (1999) estudaram a utilização de testes de compressão para a avaliação do amadurecimento de atemóia (*Annona cherimola* Mill.), e encontraram uma relação entre o índice de qualidade, proporcional aos teores de sólidos solúveis e de acidez titulável, luminosidade e cor amarela da polpa, e a inclinação da curva de tensão x deformação em teste de compressão, de forma que uma medida mecânica não destrutiva permitiu avaliar a qualidade da atemóia. Harker *et al.* (2000) realizaram medidas de firmeza, tração e densidade na análise da qualidade de morangos (*Fragaria x ananassa* Duch.) tratados com dióxido de carbono, e identificaram que o tratamento com dióxido de carbono aumenta a adesão entre as células, aumentando a firmeza do fruto. Singh & Reddy (2006) realizaram estudos de tração e de corte na casca da laranja da variedade Nagpur Mandarin e testes de compressão no fruto para avaliar as suas condições sob armazenamento refrigerado. Ismail *et al.* (2006) utilizaram estudos de pressão de corte e de penetração e do módulo de elasticidade no estudo da qualidade de tâmaras (*Phoenix dactylifera* L.).

Apesar das análises mecânicas terem sido amplamente utilizadas nas avaliações de qualidade de frutos e tecidos orgânicos, nenhum estudo com o fruto de açaí foi encontrado.

2.4.1. Força de cisalhamento e torque

As forças de cisalhamento são forças paralelas à superfície de interesse. Para entender melhor, pode-se observar na Figura 6(a) uma placa *A* que sofre as forças *P* e *P'*. Como resultado tem-se uma força de cisalhamento de valor *P* no interior da placa, na altura do corte no ponto *B*, Figura 6(b) (BEER & JOHNSTON Jr.; 1989).

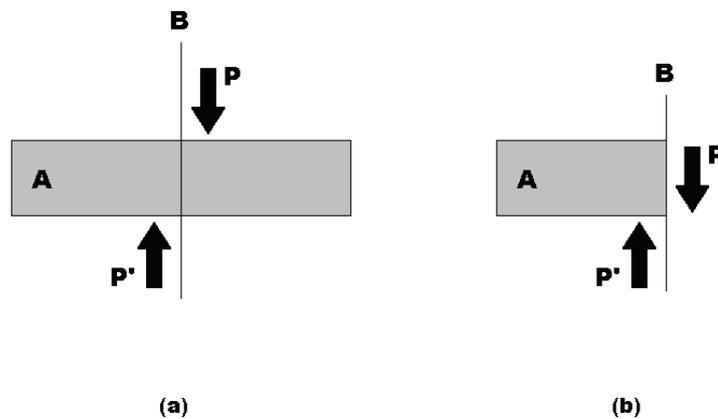


Figura 6: (a) Exemplo de aplicação da força de cisalhamento *P* e *P'* na placa *A*. (b) Força de cisalhamento *P* no interior da placa, na altura do corte *B* (BEER & JOHNSTON Jr.; 1989).

Torção são tensões e deformações produzidas em peças de seção transversal circular (Figura 7), sujeitos a momentos de torção (momentos torcionais ou torque) que tendem a torcer essas peças (*T* e *T'*). Estes momentos de torção, ou torque, têm a mesma intensidade *T* e sentidos opostos.

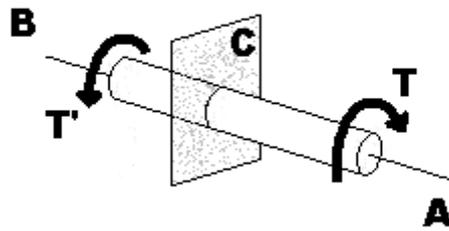


Figura 7: Momentos de torção de um eixo circular
(BEER & JOHNSTON Jr.; 1989).

O eixo AB da Figura 7 está sujeito aos momentos de torção T e T' , iguais e de sentidos opostos, aplicados em A e em B . Cortando o eixo por uma seção perpendicular ao eixo longitudinal em um ponto qualquer C , percebe-se, na parte BC , o surgimento de momentos de torção interno T , igual e contrário a T' (BEER & JOHNSTON Jr.; 1989).

Assim, torque é uma força que age em um objeto e faz o mesmo girar em torno de um eixo ou ponto central (ponto de rotação). Para calcular o torque (τ), é preciso apenas multiplicar a força aplicada (F) pela distância entre o ponto de aplicação da força e o ponto de rotação (d) (Equação 9). A unidade de medida do torque é o Newton-metro (Nm), no sistema internacional (SI).

$$\tau = F \cdot d$$

Equação 9

2.4.2. Ruptura

Em um ensaio mecânico, ao se aplicar uma deformação em um material, sua força de reação é medida conforme as leis de Newton. A partir desta relação (força x deformação) é possível traçar uma curva que é característica para cada material e ensaio. Caracteriza-se a ruptura pelo surgimento de quebras ou trincas visíveis ou invisíveis em um material, no qual é aplicada uma força externa. Na curva força x deformação é possível identificar o ponto de ruptura do material, como sendo o ponto imediatamente antes de redução contínua na força (BEER & JOHNSTON Jr., 1989; HARKER *et al.*, 1997).

A aplicação de uma força externa em um tecido orgânico com alto turgor causa ruptura do tecido devido à pressão exercida pela célula nas paredes celulares. Em tecidos com

baixo turgor, a aplicação de uma força externa causa o descolamento das células (HARKER *et al.*, 1997).

Sigh & Reddy (2006) definem a força de ruptura em teste de compressão para a casca da laranja como sendo a força máxima requerida para romper a casca, seguido do esmagamento do fruto (Figura 8).

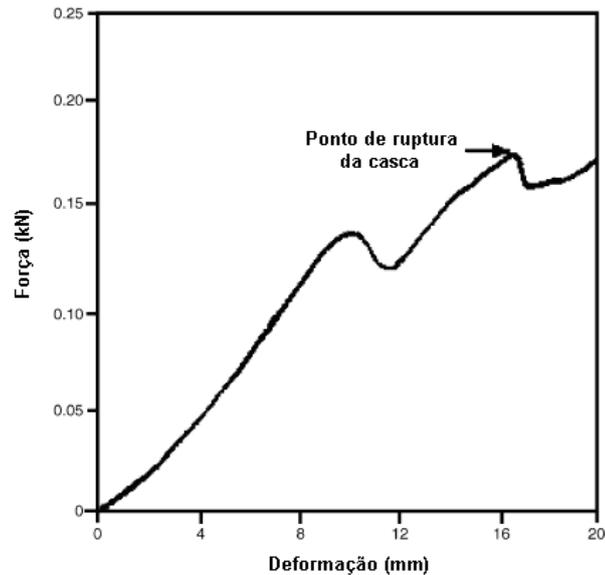


Figura 8: Diagrama de força x deformação em teste de compressão da laranja (SIGH & REDDY, 2006).

Andrews *et al.* (2002) apresenta a Figura 9 como sendo o diagrama de tensão x deformação em testes de tração na casca do tomate, definindo o ponto de ruptura na tensão máxima, onde tensão é a força aplicada dividida pela área da secção transversal da amostra.

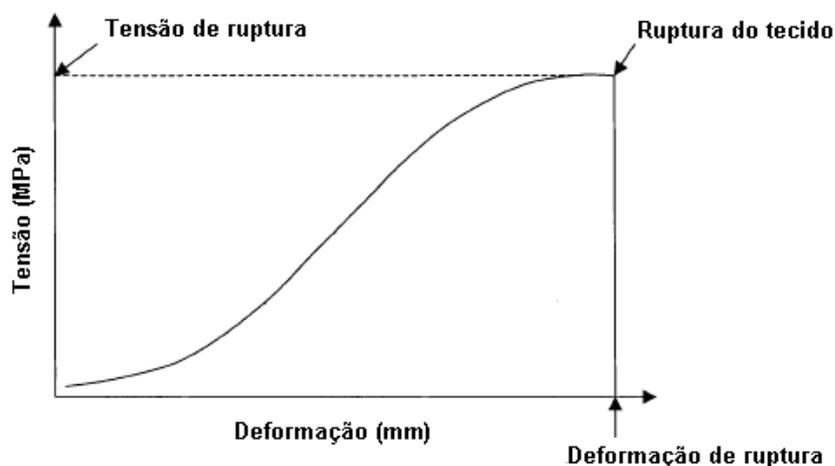


Figura 9: Diagrama de tensão x deformação para casca do tomate em teste de tração (ANDREWS *et al.*, 2002).

2.5. Hidroconservação

A hidroconservação foi desenvolvida no Laboratório de Inovação em Pós-colheita da Embrapa Instrumentação (EMBRAPA, 2002) como alternativa para aumentar a vida útil de produtos hortícolas. Atualmente estão sendo preparados três modelos para a abertura de edital de transferência da tecnologia: o modelo de imersão (LASSO, 2003), o de aspersão (STEFANINI *et al.*, 2008), e o híbrido (FERREIRA *et al.*, 2007).

Esta tecnologia usa uma solução aquosa como meio trocador de calor, em substituição ao ar, o que confere mais estabilidade à temperatura do meio e menores gradientes internos na câmara de armazenamento. Neste sistema o produto deve estar necessariamente em embalagem vedada, criando um ambiente de 100 % de umidade. Nestas condições e usando-se o modelo de imersão, o tempo de vida útil da couve manteiga foi aumentado em 300% (FERREIRA *et al.*, 2007), e em 400% no modelo de aspersão (STEFANINI *et al.*, 2008).

2.6. Espaço de cores CIELab

Em 1976 a “*Commission Internationale de L’Eclairage*” – CIE (Comissão Internacional em Iluminação) criou o CIE 1976 ($L^*a^*b^*$), mais conhecido por CIELab, que é um espaço de cores desenvolvido para ser próximo à visão humana (CIE, 1976).

O CIELab é composto de 3 coordenadas: L^* , a^* e b^* , onde L^* indica a luminosidade da cor, variando entre 0 (mais escuro) e 100 (mais claro). Já as coordenadas a^* e b^* indicam as variações de cor, onde a^* varia entre -50 (verde) e +50 (vermelho), e b^* varia entre -50 (azul) e +50 (amarelo) (Figura 10).

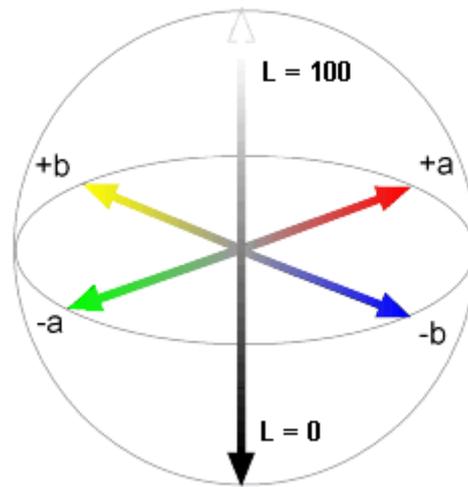


Figura 10: Esquema da variação de cores das coordenadas do espaço CIELAB.

3. RESPIRAÇÃO DO FRUTO DE AÇAÍ

3.1. Introdução

Frutos são órgãos vivos e continuam respirando mesmo após serem retirados da planta mãe. Após a colheita, a respiração torna-se o seu principal processo metabólico, sendo utilizada para a avaliação de sua vida útil, pois maiores taxas respiratórias implicam em menor vida de prateleira. A redução da temperatura de armazenamento mostra-se como a principal técnica de conservação, pois exerce grande influência na respiração dos frutos (CHITARRA & CHITARRA, 1990; KADER & SALTVEIT, 2003).

O fruto de açaí é colhido ao longo das margens dos rios da bacia Amazônica e transportado para os grandes centros urbanos para ser processado. Como a utilização de tecnologias de conservação para manter a qualidade dos frutos é muito pouca, a vida útil dos mesmos é de no máximo 5 dias (ROGEZ, 2000; PESSOA & SILVA, 2007).

Neste trabalho pretendeu-se avaliar o comportamento respiratório do fruto de açaí em função da temperatura e de seu teor de água.

3.2. Materiais e Métodos

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Agroindústria da Embrapa Amazônia Oriental localizada em Belém, PA – Brasil. Todos os dados obtidos foram analisados com os programas Microsoft® Office Excel e Origin®.

3.2.1. As amostras

Os frutos de açaí (*E. oleracea* Mart.) foram colhidos maduros durante a safra, no mês de agosto de 2007, na ilha Murutucu, próxima à cidade de Belém no Pará e levadas imediatamente para o Laboratório de Agroindústria.

No laboratório as amostras foram selecionadas, de forma que os frutos que não estavam completamente maduros ou apresentavam danos físicos visíveis foram descartados. Após a seleção, as amostras foram lavadas em água corrente e sanitizadas por imersão, por 5 minutos, numa solução de hipoclorito de sódio a 20ppm. Após o enxágüe, a água superficial foi retirada com papel toalha e as amostras divididas em lotes de 80 frutos, que foram pesados e identificados.

3.2.2. Determinação da respiração

Para a análise das taxas de respiração foram preparadas embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD), de 15 x 20 cm e 60 µm de espessura, inserindo-se 2 tubos nessas embalagens. Os lotes de frutos foram colocados nestas embalagens, que foram vedadas. Em um dos tubos foi conectado o analisador de gases por infravermelho LI-840 da Li-Cor[®], tendo-se o cuidado de utilizar um filtro para impedir a passagem de resíduos que pudessem danificar o aparelho. No outro tubo foi conectada uma bomba de ar com um tubo fino para servir como constrição (Figura 11). O fluxo de ar fornecido pela bomba, após a constrição, foi medido com um bolhômetro. O fluxo de ar, em mililitros por minuto, indica a vazão do sistema bomba-constrição.

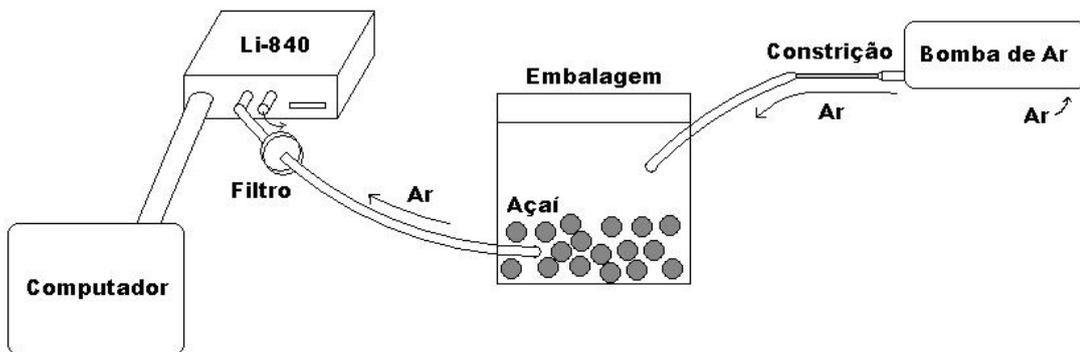


Figura 11: Esquema utilizado para a montagem do equipamento para a determinação da taxa de respiração do açaí.

Embalagens de PEBD são permeáveis a gases, porém um filme com 60 µm de espessura tem permeabilidade ao CO₂ de 386,2 mL CO₂ m⁻² dia⁻¹ e ao O₂ de 304,6 mL O₂ m⁻² dia⁻¹ (BRACKMANN *et al.*, 2006). Devido ao curto tempo utilizado para a determinação, entre 1 e 2 horas, perdeu-se de 3 mL a 10 mL de gases através da embalagem durante o experimento, de forma que esta perda pode ser desprezada.

A concentração de CO₂ presente no ar foi determinada utilizando-se a mesma montagem indicada na Figura 11, porém utilizando-se a embalagem vazia. A taxa de respiração dos frutos foi determinada através da Equação 10.

$$R = \frac{(C - C_{Amb}) \times \phi}{m}$$

Equação 10

Onde R é a taxa respiratória do fruto, C é a concentração de CO_2 determinada em ppm, C_{Amb} é a concentração de CO_2 no ar, Φ é o fluxo de ar (em mmol h^{-1}) e m é a massa dos frutos, em kg.

3.2.3. Influência da temperatura

As medidas de respiração foram realizadas após manter as embalagens, com os lotes de amostras, dentro de um banho termostaticado até o equilíbrio da temperatura. Na medida seguinte mudou-se a temperatura do banho e aguardou-se o novo equilíbrio de temperatura entre a amostra e o banho. Foram feitas medidas em 4 lotes com 80 frutos cada à temperatura ambiente ($30\text{ }^\circ\text{C}$) e com resfriamento a $-5\text{ }^\circ\text{C}$, $0\text{ }^\circ\text{C}$, $5\text{ }^\circ\text{C}$, $10\text{ }^\circ\text{C}$ e $20\text{ }^\circ\text{C}$. Foi utilizada uma solução aquosa com 22 % de propilenoglicol USB para evitar o congelamento do banho em temperaturas próximas ou abaixo de $0\text{ }^\circ\text{C}$.

3.2.4. Influência do teor de água

Para verificar a influência do teor de água as medidas de respiração foram intercaladas por períodos de aproximadamente 5 minutos, no qual os frutos foram submetidos à ventilação forçada de um ventilador comercial, em temperatura ambiente ($31 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$) e umidade relativa de $74 \pm 4\%$. Foram feitas medidas em 5 lotes com 80 frutos cada. Foi considerado que a redução na massa dos frutos foi devida a apenas a perda de água e que, portanto, a perda de outras substâncias durante o período de ventilação foi mínima e não significativa na variação da massa do fruto. O teor de água foi medido pela metodologia de gravimetria, com auxílio de uma balança analítica AE 200 da Mettler. As amostras foram deixadas em estufa à aproximadamente $70\text{ }^\circ\text{C}$ durante 3 dias para a obtenção da massa seca.

3.3. Resultados e Discussões

3.3.1. Influência da temperatura

A temperatura tem grande influência no metabolismo de frutos assim como em sua respiração, o que leva a recomendação do armazenamento sob condições refrigeradas, com o intuito de aumentar a vida útil destes órgãos vegetais (CHITARRA & CHITARRA, 1990; PETRACEK *et al.*, 2002; KADER & SALTVEIT, 2003; NUNES & EMOND, 2003; BHANDE *et al.*, 2008).

A respiração do fruto de açaí, em função da temperatura, foi determinada após o equilíbrio do fruto com a temperatura desejada, -5 °C, 0 °C, 5 °C, 10 °C e 20 °C, e é apresentada na Figura 12. Pode-se observar que a redução na temperatura implicou em redução na taxa de respiração do fruto de açaí.

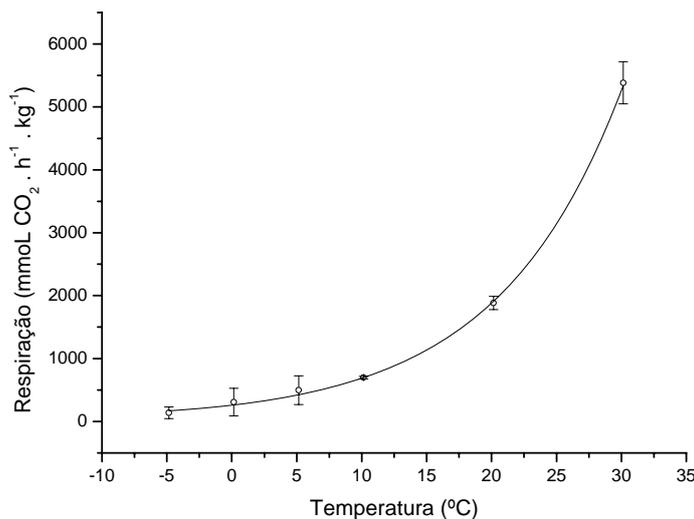


Figura 12: Respiração do fruto de açaí, em função da temperatura, (○) dados experimentais e (—) curva de ajuste pelo modelo de Arrhenius. (As barras indicam o desvio padrão)

A redução na respiração seguiu um comportamento exponencial, como muitos frutos. Os dados experimentais podem ser ajustados por uma curva de Arrhenius (Equação 11) (FONSECA *et al.*, 2002; NEI *et al.*, 2005; BHANDE *et al.*, 2008).

$$R = R_0 + Ae^{\left(\frac{-E_a}{R_c(T+273)}\right)} \quad \text{Equação 11}$$

A equação de Arrhenius determina a relação entre a taxa de uma reação (R), no caso a respiração do fruto ($\text{mmol CO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ kg}^{-1}$), com a temperatura (T) em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Existem duas importantes constantes na equação de Arrhenius, que são a energia de ativação (E_a) ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) e o fator pré-exponencial (A) ($\text{mmol CO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ kg}^{-1}$). R_0 é o deslocamento vertical da curva ($\text{mmol CO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ kg}^{-1}$), decorrente das condições do experimento, e R_c é a constante universal dos gases ($8,31 \times 10^{-3} \text{ kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$). A equação de Arrhenius utilizada no ajuste dos dados na Figura 12 é apresentada na Equação 12, com R^2 de 0,999.

$$R = 125 + 2,8 \cdot 10^{17} e^{-\frac{79,6}{R_c(T+273)}}$$

Equação 12

A energia de ativação é a menor energia requerida para ocorrer a reação de respiração, sendo característica para cada fruto. Na respiração de frutos e hortaliças, a energia de ativação varia entre 29,0 kJ.mol⁻¹, para a cenoura, e 92,9 kJ.mol⁻¹, para o mirtilo, sendo que os frutos possuem uma energia de ativação média 20 % maior do que a energia de ativação de outros órgãos vegetais comestíveis, como folhas e raízes (FONSECA *et al.*, 2002).

Na Figura 11 obtive-se 79,6 kJ mol⁻¹ para a energia de ativação do fruto de açaí, que é semelhante a encontrada para a laranja (72,8 kJ mol⁻¹), pêra (73,5 kJ mol⁻¹), cereja (75,3 kJ mol⁻¹), lima (77,9 kJ mol⁻¹), e pêsego (87,3 kJ mol⁻¹) (FONSECA *et al.*, 2002).

A respiração celular é comumente expressa em termos de oxidação da glicose (Equação 1), contudo outros carboidratos também podem ser oxidados no processo respiratório, gerando gás carbônico (CO₂) e água. Apesar de possuir um baixo teor de açúcares, o açaí possui altos teores de outros carboidratos, que totalizam 57,4 % da polpa (AGUIAR *et al.*, 1980; ROGEZ, 2000).

Outro ponto importante é que a respiração não é um processo espontâneo, devido à energia de ativação do processo. Apesar do saldo de energia da Equação 1 ser positivo é necessário que haja gasto de energia para iniciar a reação. Muitas enzimas atuam neste processo, catalizando as reações envolvidas e reduzindo a energia inicial necessária.

A fina camada de polpa do fruto de açaí (Figura 1) facilita a difusão de gases através dos tecidos da polpa, permitindo uma ampla disponibilidade de oxigênio para a respiração e a rápida eliminação do gás carbônico.

Como fator pré-exponencial da equação de Arrhenius (Equação 11) pode ser definido como a frequência de interações entre os reagentes (NEI *et al.*, 2005). Em caso de excesso de oxigênio e de carboidratos, como ocorre com o fruto de açaí, o fator pré-exponencial dimensiona o número de enzimas atuando no processo respiratório. O fator pré-exponencial encontrado para o açaí foi de 2,8 x 10¹⁷ mmol CO₂ h⁻¹ kg⁻¹, sendo muito alto quando comparado ao valor encontrado por Nei *et al.* (2005) para o morango (2,96 x 10⁹ mmol CO₂ h⁻¹ kg⁻¹), sugerindo uma alta concentração enzimática.

Pompeu *et al.* (2009) armazenaram frutos de açaí em estufa DBO em 4 temperaturas (5, 10, 15 e 30°C) e umidade relativa de 90%. Estes autores mediram a perda de massa dos

frutos e propuseram que nestas condições de armazenamento a perda foi decorrência apenas da respiração. Os autores também concluíram que não há a necessidade de se reduzir a temperatura abaixo de 15°C para diminuir a perda de massa do fruto. A Figura 12 indica que abaixo de 10°C a variação na respiração dos frutos foi pequena, condizendo com as observações de Pompeu *et al.* (2009).

Os dados obtidos para a taxa de respiração nas diferentes temperaturas foi possível calcular o Q_{10} (Equação 3) nas diferentes faixas de temperaturas (Figura 13).

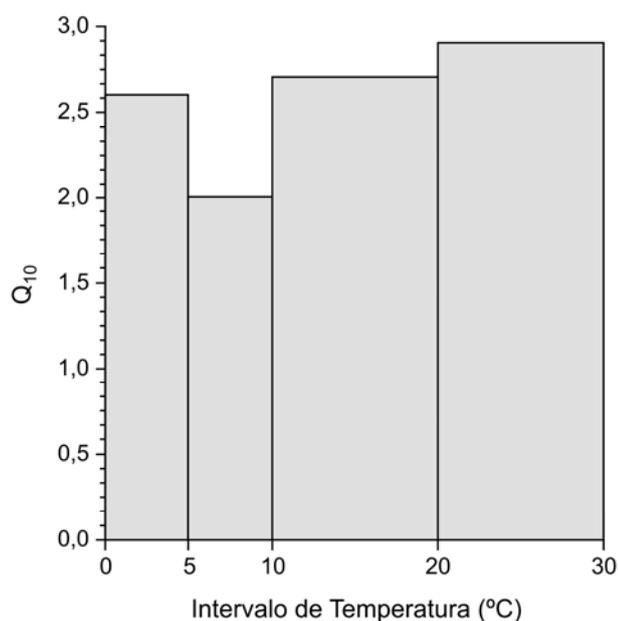


Figura 13: Valores de Q_{10} para frutos de açaí em diferentes intervalos de temperatura.

O decaimento monotônico esperado (Tabela 1) não foi observado para o fruto de açaí, que apresentou o menor valor de Q_{10} de 2,0 entre 5 °C e 10 °C, que aumentou nos intervalos com temperaturas mais altas, chegando a 2,9 entre 20 °C e 30 °C (Figura 13). O fruto de açaí é natural de uma floresta tropical, portanto é de se esperar que não haja desnaturação das suas enzimas em temperaturas próximas a 30 graus. Não havendo a desnaturação de enzimas, não ocorre a redução no Q_{10} , como o indicado por Kader & Saltveit (2003).

3.3.2. Influência do teor de água

A Figura 14 apresenta os pontos experimentais e a curva de ajuste da intensidade respiratória (R) (Equação 13 com $R^2 = 0,993$) em função do teor de água, t (Equação 4) no fruto de açaí à temperatura ambiente (31 ± 2 °C).

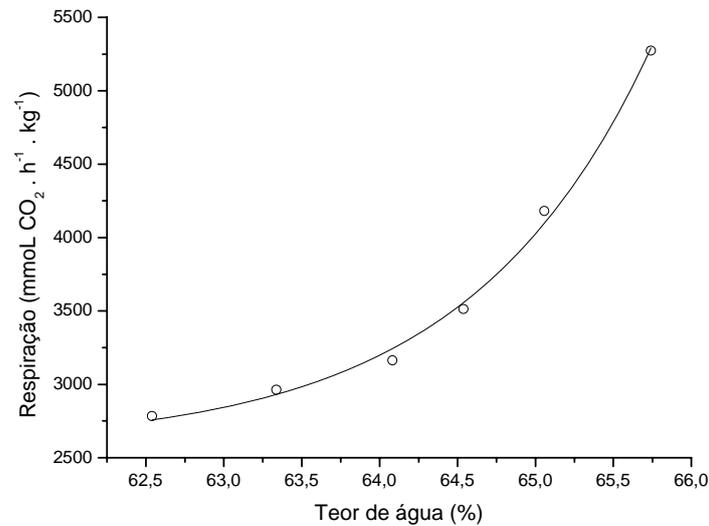


Figura 14: Respiração do fruto de açaí em função do teor de água, (○) pontos experimentais e (—) ajuste exponencial.

$$R = 2576,42 + 1,87 \cdot 10^{-21} e^{\left(\frac{t}{1,18166}\right)}$$

Equação 13

Pode-se observar um comportamento exponencial na redução da respiração com a redução no teor de água do fruto, devido a uma redução na taxa respiratória, pois o processo respiratório acontece em substrato aquoso (SALISBURY & ROSS, 1992; MAHAJAN & GOSWAMI, 2001). Como a pequena espessura do pericarpo deste fruto, aproximadamente 1 mm (PAULA, 1975; RIBEIRO, 2010), permite uma grande difusão de gases, e tendo-se o efeito da redução do teor de água na taxa respiratória, percebe-se que o agente que determina a velocidade da reação de respiração é a água, e não a concentração de gases.

Portanto, uma redução no teor de água do fruto implica em uma redução na respiração, o que aumenta a vida de prateleira do fruto. Porém, a redução no teor de água pode aumentar a taxa de oxidação dos lipídios (SALISBURY & ROSS, 1985; MARCOS FILHO, 2005; FELLOWS, 2006), além de causar danos severos à estrutura dos tecidos (RIBEIRO, 2010). Sendo assim, a redução no teor de água com o intuito de aumentar a vida útil deste fruto deve ser moderado, de forma a não alterar sua qualidade.

A associação da utilização da redução do teor de água com a redução da temperatura é sugerida por Tovar *et al.* (2001), que sugerem que um tratamento de curta desidratação osmótica sob vácuo, juntamente com armazenamento em baixa temperatura pode ser usado para estender, por 20 dias, a vida útil de pedaços de manga minimamente processadas.

3.4. Conclusões

A intensidade respiratória do fruto de açaí em função da temperatura, pode ser representada por uma curva de Arrhenius, com energia de ativação de $79,6 \text{ kJ mol}^{-1}$.

Os valores de Q_{10} para o fruto de açaí foi de 2 entre $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, que aumentou até 2,9 entre $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, o que pode ser considerado atípico.

O metabolismo do fruto de açaí respondeu exponencialmente à redução no teor de água.

4. CONGELAMENTO DO FRUTO DE AÇAÍ

4.1. Introdução

O fruto de açaí é originário do Brasil e sua polpa, rica em antocianinas, vem se destacando no mercado. Porém existem poucos estudos a respeito das condições de armazenamento do fruto, assim como o seu comportamento em condições extremas.

A redução na temperatura de armazenamento apresenta a vantagem de reduzir a respiração de frutos, aumentando sua vida útil. Porém, a redução contínua da temperatura leva, inevitavelmente, ao congelamento, que pode acarretar em injúrias ao fruto.

Neste trabalho procurou-se determinar a temperatura de congelamento do fruto de açaí, permitindo aumentar o conhecimento sobre as condições ideais para o seu armazenamento.

4.2. Materiais e Métodos

Os frutos maduros foram colhidos na ilha Murutucu, costa de Belém, durante a safra de 2007, e lavados com detergente neutro a 1 %, seguido de dois enxágües em água corrente. A umidade superficial dos frutos foi retirada com toalhas de papel, e eles foram embalados em sacos plásticos vazados e mantidos em geladeira com temperatura de 5 a 8 °C, durante cerca de 4 horas. Foram então colocados em caixa de isopor e transportados para São Carlos utilizando-se um serviço de remessa expressa. Os frutos chegaram ao Laboratório de Inovação em Pós-Colheita (LIPCo) da Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP – Brasil em 24 horas.

Os frutos foram selecionados, retirando os frutos verde ou visivelmente danificados, e hidratados em água, a temperatura ambiente, durante 30 minutos e a água superficial retirada com papel toalha. A temperatura foi medida em frutos individuais, aos quais acoplou-se uma junção termopar tipo T, com diâmetro de 0,5 mm, instalada no mesocarpo do fruto. O fruto com o termopar foi colocado dentro de um saco plástico flexível e submerso em uma solução alcoólica, à temperatura constante de -20 °C. Os dados indicados pelo termopar foram coletados numa frequência de 2,67 medidas por segundo. Este procedimento permitiu estabelecer a temperatura de congelamento, através da identificação do pico de congelamento (Figura 15), em 26 frutos, utilizando-se um data logger (MyPCLab, Novus[®]) acoplado a um computador. Todos os dados obtidos foram analisados com os programas Microsoft[®] Office Excel e Origin[®].

4.3. Resultados e Discussões

Todas as amostras de açaí apresentaram comportamento semelhante durante o resfriamento rápido e congelamento, com a variação da temperatura nas amostras apresentada na Figura 15.

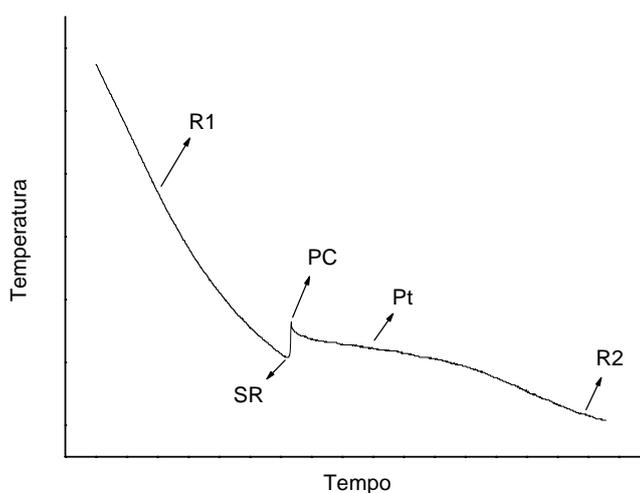


Figura 15: Curva de resfriamento e congelamento de um fruto de açaí, onde *R1* indica o resfriamento do fruto a partir da temperatura ambiente, *SR* a temperatura de super-resfriamento, *PC* o ponto de congelamento, *Pt* o patamar de congelamento, e *R2* a redução da temperatura do fruto congelado.

O acompanhamento da variação da temperatura durante o processo de resfriamento e congelamento de frutos permite identificar o patamar de congelamento, e determinar assim a temperatura ou ponto de congelamento (REID, 1991; REID & BARRETT, 2005; FELLOWS, 2006; WANG, 2007). Na Figura 15 pode-se perceber as etapas do processo de mudança de fase da água no fruto de açaí, inicialmente com o resfriamento do fruto (*R1*), da temperatura ambiente até a temperatura de super-resfriamento (*SR*), que é a menor temperatura atingida pelo fruto antes de iniciar o processo de congelamento. O congelamento é representado pelo pico de congelamento (*PC*), ou temperatura de congelamento, seguido do patamar de congelamento (*Pt*), onde a temperatura diminui ligeiramente devido ao aumento na concentração de solutos no meio extracelular não-congelado; e, finalmente, o resfriamento do fruto congelado (*R2*).

O super-resfriamento ocorre quando a temperatura fica abaixo do ponto de congelamento sem que ocorra a nucleação dos cristais de gelo e é observado mais claramente em resfriamentos rápidos (REID, 1991; WILLS *et al.*, 1998; FELLOWS, 2006).

O pico de congelamento só pode ser observado com altas taxas de aquisição de dados (WANG *et al.*, 2003; SUN & LI, 2003; MATA *et al.*, 2003).

O calor gerado na respiração do fruto pode influenciar na determinação do ponto de congelamento, porém, devido a pouca massa do fruto de açaí, este calor é desprezível e pode ser desconsiderado na caracterização do seu congelamento (FONSECA *et al.*, 2002; CUESTA & LAMÚA, 2009).

Os pontos de congelamento dos frutos de açaí avaliados são apresentados na forma de histograma na Figura 16, com um máximo entre $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, coincidindo com a temperatura média de $-3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (desvio padrão de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$). A menor temperatura de congelamento encontrada foi de $-6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a maior de $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta grande faixa de distribuição dos pontos de congelamento deve ter ocorrido, provavelmente, devido a falta de homogeneidade nos frutos de açaí, resultante da grande variabilidade genética, mesmo entre indivíduos provenientes de uma mesma região. Wang *et al.* (2003) indicam $-2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ como o ponto de congelamento para a maçã ‘Jonathan’, $-4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ para a uva ‘Muscat’, $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ para a laranja e $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ para a pêra ‘Ya’. Pode-se observar que os valores encontrados para o açaí estão próximos aos relatados para outros frutos.

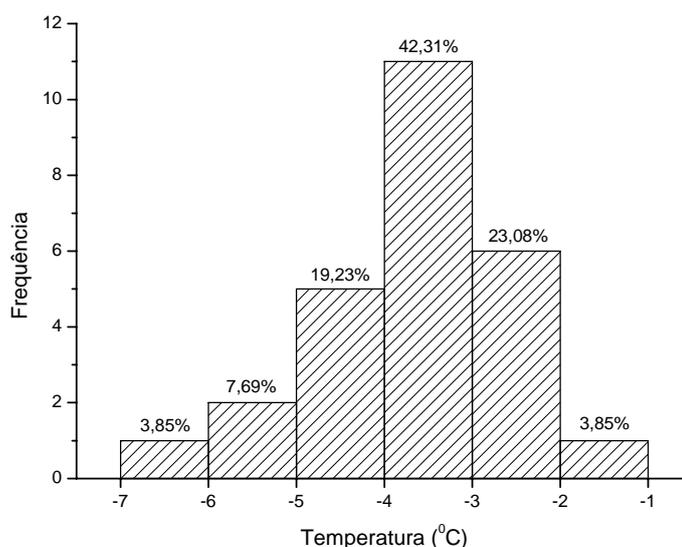


Figura 16: Histograma do congelamento de frutos de açaí em cada intervalo de temperatura, durante o processo de resfriamento.

A Figura 17 apresenta uma relação sigmoideal e proporcional entre o ponto de congelamento e a temperatura de super-resfriamento para cada fruto. O ajuste foi feito utilizando-se a equação de Boltzmann apresentada na Equação 14 ($R^2 = 0,83$).

$$y = \frac{9,87}{1 + e^{-\frac{(x+4,70)}{0,27}}} - 14,81 \quad \text{Equação 14}$$

É importante lembrar que a temperatura de super-resfriamento está relacionada à velocidade de resfriamento do fruto e às propriedades coligativas do tecido. A temperatura de congelamento, que é independente da velocidade de resfriamento, depende das propriedades coligativas do fruto (COLLA & PRENTICE-HERNÁNDEZ, 2003; SALTVEIT, 2003). Sendo assim, é compreensível que para temperaturas de congelamento maiores, hajam temperaturas de super-resfriamento maiores.

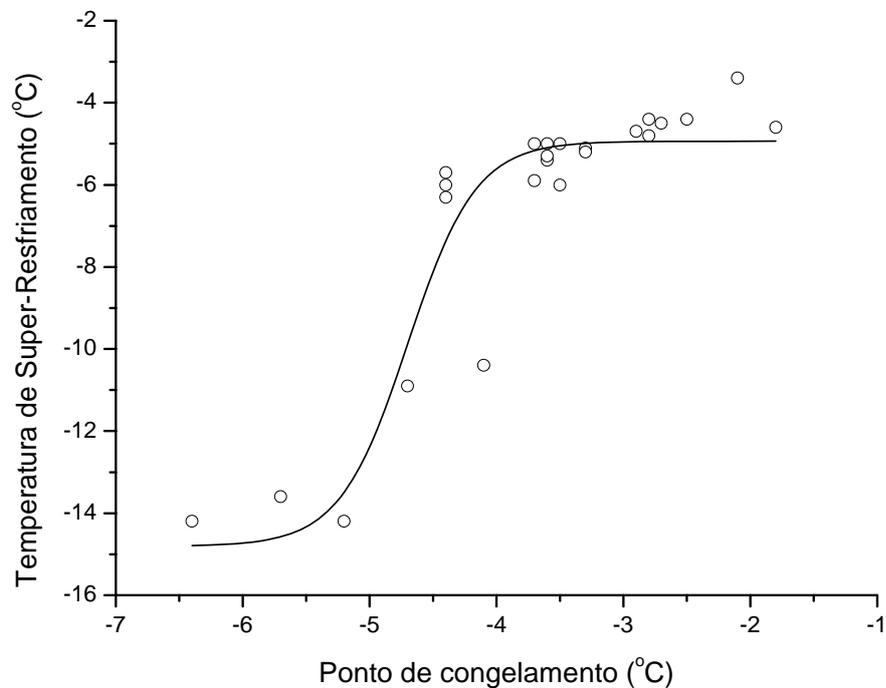


Figura 17: Relação entre a temperatura de congelamento e a temperatura de super-resfriamento (\circ), com curva de ajuste pelo modelo de Boltzmann (—).

A maioria dos frutos apresentou temperaturas de super-resfriamento acima de -7°C , porém 5 amostras estiveram abaixo de -10°C e apresentaram baixas temperaturas de congelamento, menor que -4°C , confirmando a relação entre a temperatura de super-resfriamento e a temperatura de congelamento.

4.4. Conclusões

O fruto de açaí possui temperatura média de congelamento de $-3,4^{\circ}\text{C}$ e máxima de $-1,8^{\circ}\text{C}$ e uma relação direta entre a temperatura de super-resfriamento e a de congelamento, o que indica comportamento semelhante ao de outros frutos.

5. ARMAZENAMENTO REFRIGERADO DO FRUTO DE AÇAÍ

5.1. Introdução

A qualidade de frutos armazenados é fortemente influenciada pelas condições de armazenamento. A principal técnica de conservação dos frutos é a redução da temperatura de armazenamento, pois a temperatura é o fator que mais influencia na taxa respiratória e, de modo geral, quanto menor a temperatura de armazenamento, maior será a vida útil do fruto (KADER & SALTVEIT, 2003; CHITARRA & CHITARRA, 1990).

O controle de qualidade do fruto de açaí é feito através de análises subjetivas de cor, odor e coesão do mesocarpo. Porém, a avaliação da qualidade da polpa é baseada nas Instrução Normativa nº 01 de 07/01/2000, do MAPA (BRASIL, 2000), com avaliação de pH e acidez titulável.

Neste trabalho teve-se por objetivo avaliar a variação de alguns parâmetros de qualidade do fruto de açaí quando sob armazenamento refrigerado.

5.2. Materiais e Métodos

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Inovação em Pós-Colheita (LIPCo) da Embrapa Instrumentação Agropecuária localizada em São Carlos, SP – Brasil. Todos os dados obtidos foram analisados com os programas Microsoft® Office Excel e Origin®.

5.2.1. As amostras

Os frutos de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) foram colhidos maduras, durante a safra de 2009, na ilha Murutucu, próxima à cidade de Belém no Pará. Estes frutos, depois de imersos em solução de detergente neutro a 1% durante 5 minutos, foram enxaguados em água corrente duas vezes. A água superficial dos frutos foi retirada com papel toalha e os frutos, depois de embalados em sacos de polietileno de baixa densidade (PEBD) com furos, foram mantidos em geladeira (~7°C) durante 4 horas. Após esse período eles foram colocados em caixa de isopor e transportados para São Carlos através de um serviço de remessa expressa. Os frutos chegaram no LIPCo em 24 horas, onde foram selecionados, com a retirada dos frutos verdes ou visivelmente danificados.

As amostras destinadas às análises do potencial de água foram enviadas em caixa de isopor através de um serviço de remessa expressa para o LIPCO logo após sua colheita na ilha

Murutucu, chegando em 24 horas. Estes frutos também foram lavados com detergente neutro a 1% e enxaguados. Um lote foi submerso em água por 30 minutos e o outro foi seco com papel toalha e conservado em geladeira ($\sim 7^{\circ}\text{C}$) por 24 horas, antes da hidratação por 30 minutos.

5.2.2. Despolpamento dos frutos

Para a análise da polpa, quanto ao pH e teores de acidez titulável e de antocianinas totais foi necessário despolpar os frutos. Para isso, 50 g de frutos foram despolpados em agitador mecânico Fisatom modelo 713 com a adição de 165 mL de água destilada, o que permitiu a formação uma emulsão.

A separação da gordura e dos componentes sólidos presentes na emulsão, foi feita por centrifugação em centrífuga Sorvall[®] Super T21 com velocidade de 10.000 rpm em rotor com diâmetro de 25,48 cm, durante 20 minutos, a 4°C . O sobrenadante livre de gorduras e de materiais sólidos foi retirado utilizando-se uma pipeta, com a separação de três alíquotas de 20 mL para a determinação do pH e da acidez titulável, e uma de 10 ml para a determinação do teor de antocianinas totais, que foi mantida congelada em congelador comercial até sua utilização.

5.2.3. Armazenamento

O armazenamento dos frutos foi feito em hidroconservador utilizando-se, como veículo para a retirada do calor, uma solução de propileno glicol a 20 % como anticongelante, que permitiu manter a temperatura a $-1,0 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. O armazenamento refrigerado foi realizado em um aparelho comercial (Electrolux RDE30 Super), sob a temperatura média de $7 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

5.2.4. Fluxograma dos experimentos

A Figura 18 apresenta um fluxograma dos experimentos realizados nos frutos armazenados em hidroconservador.

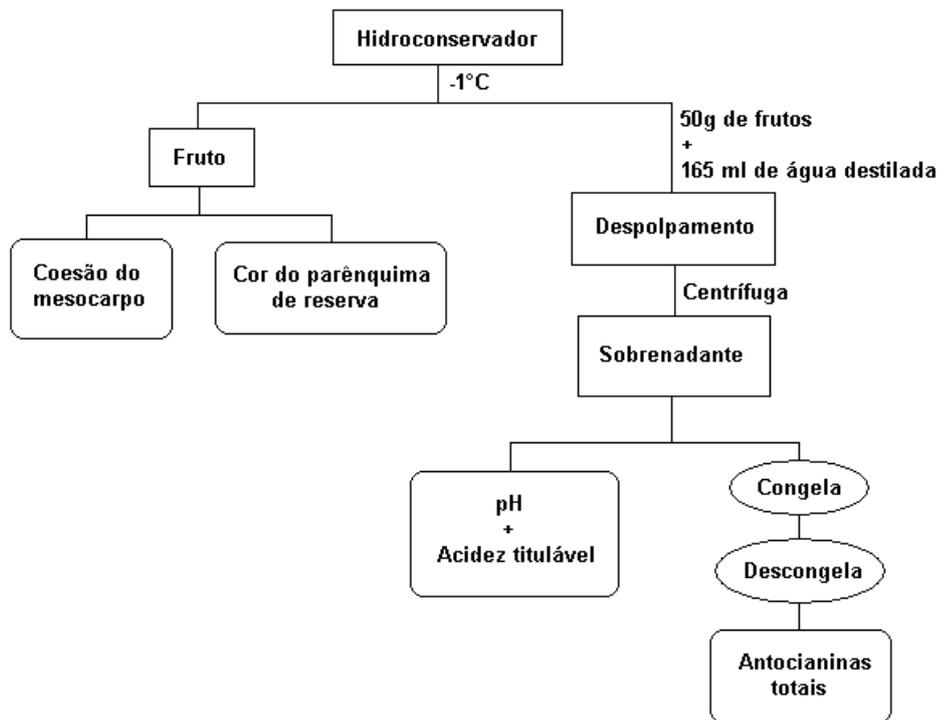


Figura 18: Fluxograma dos experimentos realizados com os frutos armazenados em hidroconservador (-1 °C).

Parte dos frutos armazenados em hidroconservador foi utilizada para fazer medidas de coesão do mesocarpo e de cor do parênquima de reserva. O restante dos frutos foram despoldados e no sobrenadante foram feitas medidas de pH, acidez titulável e antocianinas totais, após congelamento das amostras.

A Figura 19 apresenta um fluxograma dos experimentos realizados nos frutos armazenados em geladeira.

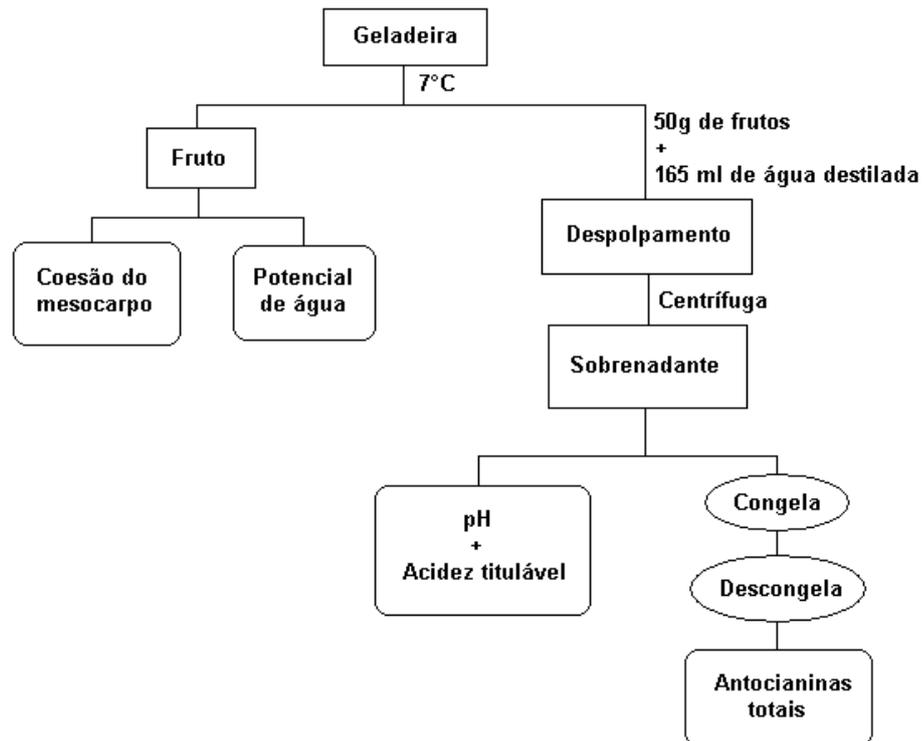


Figura 19: Fluxograma dos experimentos realizados com os frutos armazenados em geladeira (7 °C).

Parte dos frutos armazenados em geladeira foi utilizada para fazer medidas de coesão do mesocarpo e de potencial de água. O restante dos frutos foram despulpados e no sobrenadante foram feitas medidas de pH, acidez titulável e antocianinas totais, após congelamento das amostras.

5.2.5. Determinação do potencial de água

Todos os frutos da amostra tiveram a água superficial retirada com papel toalha, foram cortados ao meio com faca afiada e 7 metades foram posicionadas no porta amostras do medidor de potencial de água Decagon® modelo WP4-T, com a parte intacta da casca voltada para cima, de forma a se cobrir a maior área possível do fundo do porta amostras (Figura 20).

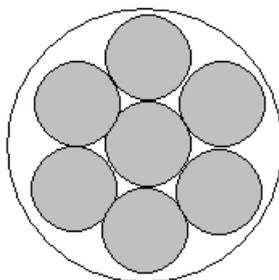


Figura 20: Disposição dos frutos de açaí cortados ao meio, no porta-amostras do medidor de potencial de água Decagon® modelo WP4-T.

As medidas de potencial de água (MPa) foram feitas com o medidor de potencial de água e a redução no teor de água dos frutos com ventilação forçada utilizando um ventilador comercial sob temperatura ambiente ($\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$). A variação no teor de água foi acompanhada usando-se método gravimétrico, com auxílio de uma balança analítica Mettler modelo AE 200, o que permitiu obter o valor de massa seca após secagem em estufa, a aproximadamente $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas. Foi considerado que a redução na massa do fruto foi devida apenas a perda de água e que a perda de outras substâncias durante o processo de secagem foi mínima e não influenciou significativamente na variação da massa do fruto.

5.2.6. Coesão do mesocarpo

As medidas de coesão do mesocarpo foram feitas em 20 frutos por dia à temperatura ambiente ($\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante 20 dias, para os armazenados no hidroconservador, e durante 11 dias para os armazenados em geladeira. Foi utilizado um “medidor de coesão do mesocarpo de frutos do gênero *Euterpe*”, equipamento desenvolvido pelo LIPCo e apresentado de forma esquemática na Figura 21.

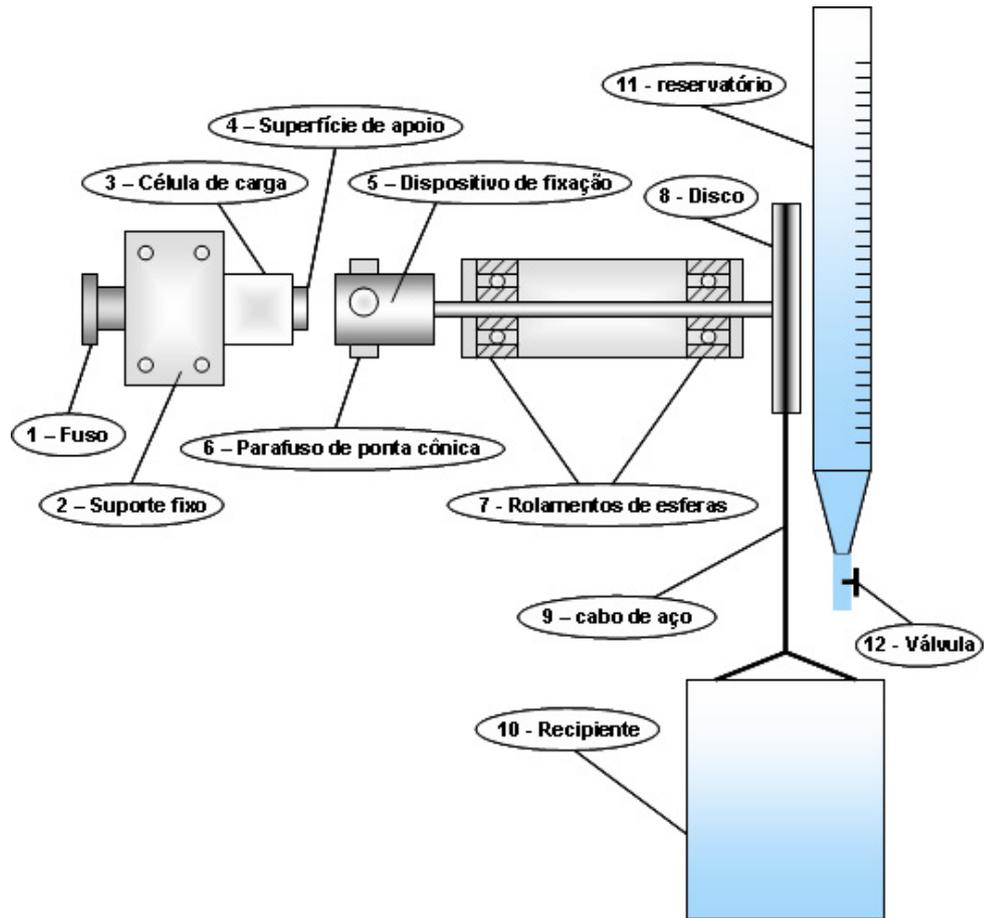


Figura 21: Esquema do medidor de coesão do mesocarpo de frutos do gênero *Euterpe*.

Para a medida de coesão do mesocarpo, o fruto é fixado no dispositivo de fixação (5) através de 3 parafusos com ponta cônica (6), que atravessam o pericarpo do fruto e perfuram o endosperma, não permitindo que o fruto se movimente no dispositivo de fixação (5). O dispositivo de fixação é forrado internamente por uma borracha, para completar a fixação do fruto. Este subconjunto é rigidamente ligado a um eixo, que é sustentado por rolamentos de esferas (7), e a um disco sulcado (8) para repouso de um cabo de aço (9). Todo este conjunto pode girar livremente em torno do eixo.

O medidor de coesão também possui um fuso para regulagem de avanço (1) em suporte fixo (2). O fuso translada a célula de carga (3) que contém, na outra extremidade, uma peça que atua como superfície de apoio côncava (4). Nessa superfície é depositado um adesivo de cura rápida e, imediatamente, a superfície de apoio (4) é encostada no fruto, com uma certa força (F), até a cura do adesivo. A partir deste momento o fruto não pode girar livremente, pois a peça com a superfície de apoio (4) desloca-se apenas horizontalmente e não rotaciona.

A força de compressão (F) aplicada no fruto através da superfície de apoio (4) é predefinida pelo operador e é medida com a célula de carga (3). Todo o sistema encontra-se apoiado sobre uma base fixa, não representada no desenho esquemático da Figura 21.

O cabo de aço (9) está conectado ao disco (8) e a outra extremidade em um recipiente (10). A medida de coesão é feita aplicando-se uma força de valor crescente em uma das extremidades do cabo de aço (9), com o limite de coesão correspondendo à força que está sendo aplicada no momento da ruptura do mesocarpo. A aplicação da força é feita transferindo-se, cuidadosamente, o conteúdo do reservatório (11) para o recipiente (10), através de uma válvula para controle de vazão (12).

Ao atingir a força máxima de coesão do mesocarpo o dispositivo de fixação (5) gira brusca e livremente. Para simplificar o cálculo da força de coesão dos tecidos do fruto foram levantadas algumas hipóteses:

- A deformação do eixo e do cabo de aço (9), durante a aplicação do torque, é insignificante.
- O atrito nos rolamentos de esferas (7) é muito pequeno e também pode ser desconsiderado.
- O fruto será fortemente fixado pelo caroço, e não se move em relação ao dispositivo de fixação (5) durante o processo de medida.
- O centro do fruto coincide com o eixo de rotação do aparelho.

Com essas hipóteses, tem-se que a força de coesão dos tecidos do fruto pode ser calculada através da Equação 15.

$$F_c = (\rho \times V + M_R) \times 9,8 \times 10^{-3} \times \frac{R_{rol}}{r} \quad \text{Equação 15}$$

Onde F_c é a força de coesão dos tecidos do fruto, ρ é a densidade do líquido adicionado (1 g/L para a água), V é o volume que foi adicionado (L), M_R é a massa do recipiente (g), R é o raio da roldana (mm), e r é o raio do contato entre o fruto e a superfície (mm).

Para este experimento foi utilizado um raio médio (r) de contato entre o fruto e a superfície de apoio de 2,5 mm. A força de compressão (F) aplicada ao fruto e medida com a célula de carga foi em torno de 30 N.

5.2.7. Cor do parênquima de reserva

Foram realizadas medidas da cor do parênquima de reserva e que permaneceu aderido ao endocarpo após a retirada do mesocarpo. Para as medidas de cor foi utilizado um colorímetro da Minolta® modelo CR-400. Durante o armazenamento dos frutos por 17 dias no hidroconservador, avaliou-se 10 frutos por dia, com a realização de 5 determinações em cada fruto.

5.2.8. pH e acidez titulável

O pH e a acidez titulável da polpa dos frutos foi medida durante 16 dias nos frutos armazenados no hidroconservador e por 9 dias nos armazenados em geladeira.

As medidas de pH foram feitas diretamente na polpa extraída utilizando-se um pHmetro Analion modelo PM608.

As determinações da acidez titulável foram feitas de acordo o recomendado pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Titulou-se 3 amostras com 20 mL de polpa cada, livre de material sólido e de gorduras, com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,1 M até atingir o pH 8,1 - 8,2. A acidez titulável dos frutos foi calculada através da Equação 16.

$$Acidez = \frac{V_{NaOH} \times M \times PM}{10 \times n} \times \left(\frac{v}{V_{am} \times m} \right) \quad \text{Equação 16}$$

Onde *Acidez* é a acidez titulável da amostra em equivalente de ácido cítrico, *V* é o volume de hidróxido de sódio gasto na titulação (mL), *M* é a molaridade da solução de hidróxido de sódio (0,1 M), *PM* é o peso molecular do ácido cítrico (192 g), *n* é o número de hidrogênios ionizáveis (*n* = 3, para o ácido cítrico), *v* é o volume de água adicionado no despolpamento dos frutos (165 mL), *P* é o volume da amostra (20 mL) e *m* a massa de frutos (50 g).

5.2.9. Antocianinas totais

A polpa das amostras, livre de materiais sólidos e gorduras, foram descongeladas e o teor de antocianinas totais determinado pelo método do pH diferencial conforme recomendado por ALBARICI *et al.* (2009) para a análise de polpa de açaí. Estas determinações foram realizadas durante 16 dias, nos frutos armazenados no hidroconservador e por 11 dias nos armazenados em geladeira.

Foram diluídos 800 µL de amostra descongelada em 9,2 mL de solução tampão de cloreto a 0,025 mol/L, pH = 1, assim como 800 µL de amostra em 9,2 mL de solução tampão acetato de 0,4 mol/L, pH = 4,5, e deixados em repouso por 30 minutos à temperatura ambiente e protegido da luz. As análises foram feitas em triplicata.

Foi medido o espectro de absorvância das amostras no comprimento de onda do visível em espectrofotômetro Shimadzu® UV-visível UV-1601PC. Do espectro tem-se que $\lambda_{\text{vis-max}}$ é a absorvância máxima e $\lambda_{700\text{nm}}$ a absorvância em 700 nm, que permitirá calcular a diferença dos valores de absorvidade (A_d) em pH = 1,0 e pH = 4,5 (Equação 17).

$$A_d = \left(A_{\lambda_{\text{vis-max}}} - A_{\lambda_{700\text{nm}}} \right)_{\text{pH}1,0} - \left(A_{\lambda_{\text{vis-max}}} - A_{\lambda_{700\text{nm}}} \right)_{\text{pH}4,5} \quad \text{Equação 17}$$

O cálculo da concentração de antocianinas totais (C_{ant}), em mg L⁻¹, é baseado no fato de que essa diferença (A_d) é diretamente proporcional à concentração de antocianinas (Equação 18). Os cálculos são baseados na concentração de cianidina-3-glicosídeo, que é uma das antocianinas presentes no açaí (Rogez, 2000; ROSSO *et al.*, 2008), com massa molecular (MM) de 449,2 g mol⁻¹ e absorvidade molar (ϵ) de 26.900.

$$C_{\text{ant}} = \frac{A_d \times MM \times FD \times 1000}{\epsilon} \quad \text{Equação 18}$$

FD é o fator de diluição das amostras, dado pela divisão do volume final pelo volume de amostra colocado. Em caso de diluições sucessivas os fatores de diluição devem ser multiplicados, ou seja, foram despolpados 50 g de frutos em 165 mL de água destilada, tendo-se então um fator de diluição de 165 mL / 50 g = 3,3 mL g⁻¹. Como a polpa foi novamente diluída nas soluções tamponadas (0,8 mL de amostra em 10 mL de solução final), tem-se 10 mL / 0,8 mL = 12,5 mL mL⁻¹. Multiplicando os fatores de diluição tem-se: 3,3 x 12,5 = 41,25 mL g⁻¹ de fruto.

5.3. Resultados e Discussões

5.3.1. Determinação do potencial de água

A Figura 22 apresenta os resultados de potencial de água em função do teor de água em amostras de açaí. As curvas de ajuste seguem o modelo da Equação 19, que foi apresentado por Grange (1995) para o potencial de água do tomate em fase de crescimento.

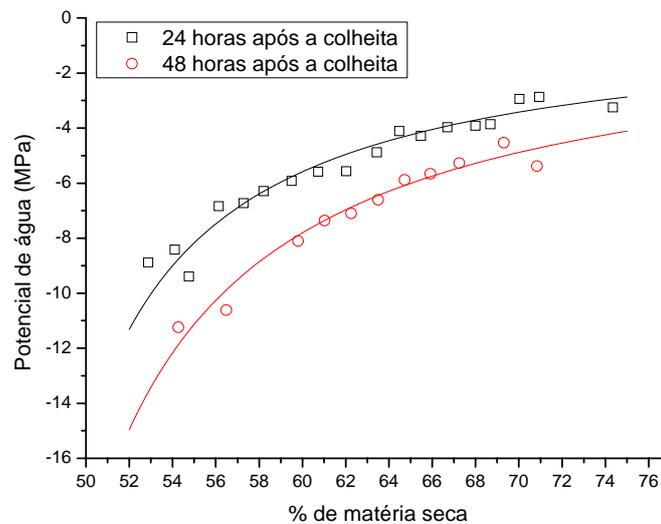


Figura 22: Potencial de água em função do teor de água em frutos de açaí com 24 horas após a colheita (□) e com 48 horas após a colheita (○) e as respectivas curvas provenientes da regressão linear do inverso do potencial.

$$\Psi = \frac{1}{(a \times t) + b} \quad \text{Equação 19}$$

Onde Ψ é o potencial de água, t o teor de água dos frutos, e a e b são parâmetros de ajuste apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros de ajuste e R^2 das curvas provenientes da regressão linear do inverso do potencial de água em função do teor de água, para amostras com 24 e 48 horas após a colheita.

Amostra	a	b	R^2
1	-0,011330	0,50077	0,921075
2	-0,00766	0,33148	0,923093

Observa-se na Figura 22 que o potencial de água no fruto diminui com o teor de água, como é esperado, pois com menor teor de água o potencial de água osmótico e de turgor diminuem, reduzindo o potencial de água do fruto (Equação 8).

A diferença no potencial de água entre as amostras após 24 e 48 horas da colheita pode ser explicada pela senescência dos frutos, pois um dos sintomas de senescência é a degradação da membrana celular. Com a destruição da membrana celular, a água intracelular extravasa para o meio intercelular, o que diminui o potencial de turgescência, reduzindo o potencial de água do fruto (SALISBURY & ROSS, 1985).

Grange (1995) apresentou, para o tomate em fase de crescimento, potencial de água variando entre -0,5 e -3 MPa, que são maiores do que os valores encontrados para o potencial de água do fruto de açaí (Figura 22).

O potencial de água é formado pela soma do potencial osmótico (negativo) com o potencial de turgescência (positivo), considerando que as variações no potencial mátrico não foram significativas nas condições do experimento. Portanto, o potencial osmótico de um fruto é menor que seu potencial de água, pois o potencial de turgor aumenta o potencial de água (SALISBURY & ROSS, 1985). O fruto de açaí apresentou valores de potencial de água menores do que o potencial osmótico médio (-0,85 e -1,35 MPa) de tomates submetidos a diferentes tratamentos de radiação luminosa (JOHNSON *et al.*, 1992).

5.3.2. Coesão do mesocarpo

A força de coesão do mesocarpo dos frutos que foram armazenados em hidroconservador a -1 °C é apresentada na Figura 23.

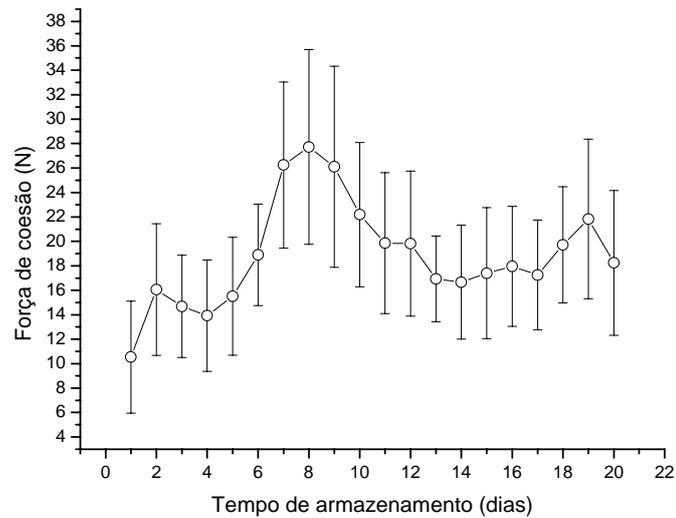


Figura 23: Força de coesão do mesocarpo dos frutos armazenados em hidroconservador ($-1\text{ }^{\circ}\text{C}$). (As barras indicam o desvio padrão)

Pode-se perceber que ocorreu um aumento na coesão dos tecidos durante os primeiros dias de armazenamento, de 10,5 N no primeiro dia para 27,7 N no 8º dia, que se reduziu a até 16,9 N, no 13º dia. Foi observado acúmulo, dentro da embalagem, de solução aquosa proveniente do fruto.

A força de coesão do mesocarpo dos frutos que foram armazenados em geladeira, à aproximadamente 7°C , é apresentada na Figura 24.

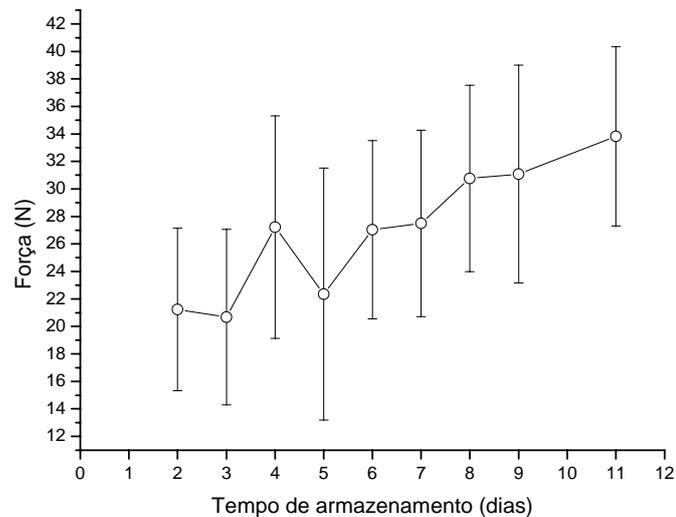


Figura 24: Força de coesão do mesocarpo dos frutos armazenados em geladeira ($7\text{ }^{\circ}\text{C}$). (As barras indicam o desvio padrão)

Ocorreu um aumento de quase 60% na força de coesão do mesocarpo do fruto durante o armazenamento a 7 °C, com variação de 21,2 N no primeiro dia para 33,8 N no 11º dia.

A ruptura do mesocarpo dos frutos com a utilização do medidor de coesão do mesocarpo de frutos do gênero *Euterpe* (Figura 21) e no teste manual (Figura 3) ocorre no parênquima de reserva, mesmo tecido onde ocorre a ruptura durante o despulpamento (RIBEIRO, 2010).

O aumento na força de coesão do mesocarpo dos frutos armazenados no hidroconservador e em geladeira pode ser atribuído à perda de água pelos tecidos, pois alto teor de água nos mesmos aumenta o turgor das células, facilitando a ruptura do tecido quando uma força externa é aplicada (HARKER *et al.*, 1997), de forma que a perda de água pelos tecidos aumenta a dificuldade para a ruptura dos mesmos, com aplicação da força externa, indicando que houve aumento na força de coesão do mesocarpo do fruto, necessitando de maior força para romper os tecidos.

Após alguns dias de armazenamento, os frutos podem entrar em estado avançado de senescência, reduzindo a coesão do mesocarpo, pois durante o processo de senescência pode haver uma degradação das membranas celulares (SALISBURY & ROSS, 1985; CHITARRA & CHITARRA, 1990; WILLS *et al.*, 1998), o que reduz a resistência mecânica dos tecidos e, conseqüentemente, a coesão do mesocarpo.

No hidroconservador, a camada aquosa que cobre a superfície da embalagem reduz sensivelmente a permeabilidade do PEBD ao vapor de água que leva ao acúmulo de solução aquosa dentro da embalagem, aumentando seu potencial de água e limitando a perda de água através da transpiração. O armazenamento em geladeira permite a difusão de vapor de água através da embalagem, de forma que menor quantidade de solução aquosa, proveniente dos frutos, seja acumulada dentro da embalagem, não aumentando seu potencial de água, fazendo com que a perda de água por transpiração seja contínua, aumentando continuamente a coesão do mesocarpo. Há também o efeito da temperatura, pois os frutos armazenados no hidroconservador foram mantidos à -1°C, enquanto os armazenados em geladeira estavam a aproximadamente 7°C e experimentando uma variação de temperatura maior, o que induz à transpiração dos frutos.

A intensa perda de água pelos frutos, assim como o acúmulo de solução aquosa dentro das embalagens, pode ser resultante de injúria por frio ou por “*chilling*”, pois o fruto de açaí é um fruto tropical e portanto é mais suscetível a esta injúria. Um dos sintomas da injúria por *chilling* é a perda da integridade da membrana plasmática, com extravasamento de solutos (CHITARRA & CHITARRA, 1990; WILLS *et al.*, 1998; CARMO, 2004).

A extensão das injúrias por frio é dependente da temperatura de armazenamento e do tempo de exposição (CHITARRA & CHITARRA, 1990; SALTVEIT, 2003), indicando que a menor temperatura de armazenamento no hidroconservador deve ter infringido mais danos por frio aos frutos, fazendo com que eles liberassem mais líquidos, que foi acumulado na embalagem.

Outro ponto que pode ter implicado na degradação dos tecidos do fruto pode ser a falta de oxigênio disponível. Devido à baixa permeabilidade a gases pela embalagem dos frutos mantidos no hidroconservador, como consequência da camada aquosa sobre a embalagem, e do baixo volume livre dentro das embalagens, esses frutos podem ter entrado em processo de anaerobiose, induzindo a fermentação e, assim, acelerando o processo de degradação das membranas plasmáticas e do tecido (CHITARRA & CHITARRA, 1990). O processo de anaerobiose foi retardado ou impedido no armazenamento em geladeira devido à permeabilidade a gases das embalagens de PEBD, que é $386,2 \text{ ml CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para o gás carbônico e de $304,6 \text{ ml O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para o oxigênio em embalagens com $60 \text{ }\mu\text{m}$ de espessura e à temperatura ambiente (BRACKMANN *et al.*, 2006).

A soma de condições de estresse pode intensificar os sintomas de injúria por frio (SALTVEIT, 2003). Assim,

A soma das condições de anaerobiose dentro das embalagens armazenadas no hidroconservador, somada à injúria por frio (SALTVEIT, 2003) e o aumento de água, podem ter levado à redução na coesão do mesocarpo, após o 8º dia. Isto não foi observado nos frutos armazenados em geladeira (7°C), em que as condições da atmosfera, a perda contínua da umidade pelo fruto e a reduzem o aparecimento dos sintomas da injúrias por frio.

5.3.3. Cor do parênquima de reserva

A reserva de lipídios do fruto de açaí fica armazenada no parênquima de reserva (PESSOA *et al.*, 2006; RIBEIRO *et al.*, 2008; RIBEIRO, 2010), tecido no qual ocorre a ruptura do mesocarpo.

A Figura 25 apresenta a variação na luminosidade L^* da cor do parênquima de reserva em função do tempo de armazenamento.

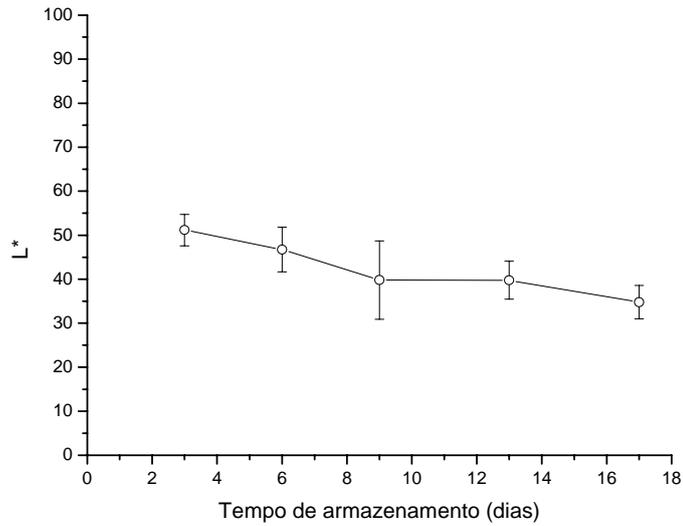


Figura 25: Variação na luminosidade L^* do parênquima de reserva do fruto de açaí armazenado. (As barras indicam o desvio padrão)

As Figuras 26 e 27 apresentam a variação das variáveis a^* e b^* da cor dos lipídeos, respectivamente.

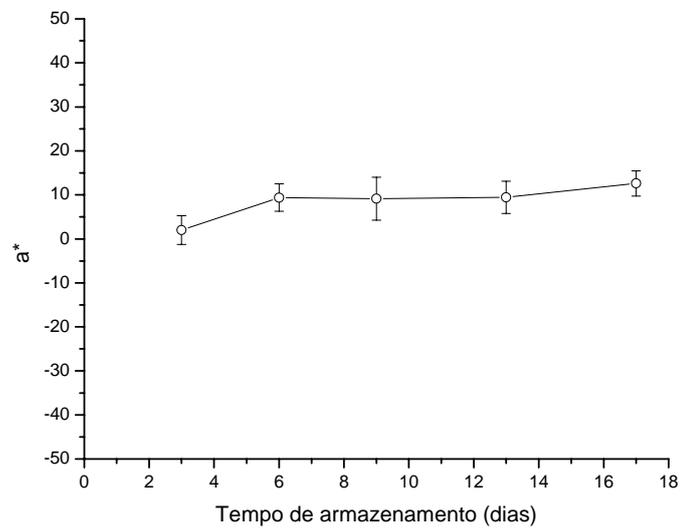


Figura 26: Variação na variável a^* do parênquima de reserva do fruto de açaí armazenado. (As barras indicam o desvio padrão)

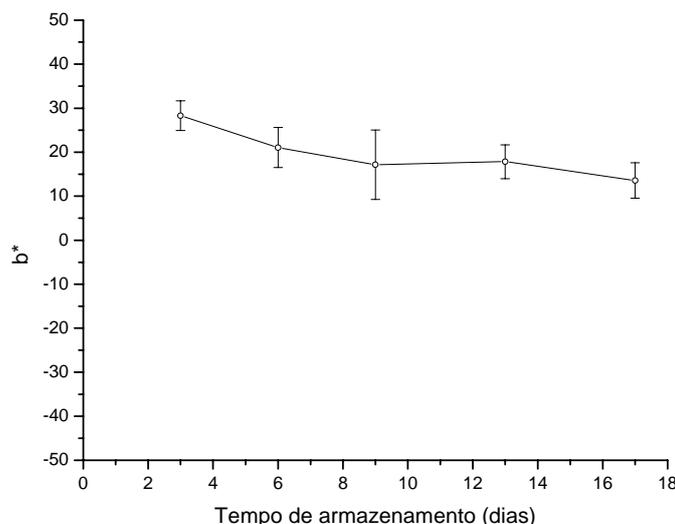


Figura 27: Variação na variável b^* do parênquima de reserva do fruto de açaí armazenado. (As barras indicam o desvio padrão)

A Figura 25 indica um “avermelhamento” da camada lipídica, indicado pelo aumento nos valores positivos de a^* , enquanto a Figura 26 indica uma redução na cor amarela da camada lipídica que fica aderida ao caroço durante o processo de retirada do mesocarpo, pela redução nos valores positivos de b^* .

As antocianinas, pigmentos de cor roxa, ficam armazenadas nos tecidos mais externos do fruto, epiderme e parênquima antocianínico (PESSOA *et al.*, 2006; RIBEIRO *et al.*, 2008; RIBEIRO, 2010). Com a degradação da membrana plasmática, decorrente da senescência dos frutos, injúria por frio, anaerobiose, ou de um conjunto desses fatores, tem-se o extravasamento das antocianinas. Parte desse material é expelido do fruto, formando a solução aquosa observada na embalagem, porém parte destas antocianinas e outros compostos coloridos são difundidos pelo interior do fruto. A presença desses compostos coloridos altera a cor do parênquima de reserva, escurecendo-o (Figura 25). Como as antocianinas possuem uma coloração violácea escura, ou roxa (BOBBIO *et al.*, 2000; ROGEZ, 2000; BOBBIO *et al.*, 2002; GALLORI *et al.*, 2004; POZO-INSFRAN *et al.*, 2004; HASSIMOTTO *et al.*, 2005; KUSKOSKI *et al.*, 2006; SCHAUSS *et al.*, 2006; ALBARICI *et al.*, 2007; SPADA *et al.*, 2008; TONON *et al.*, 2008; PACHECO-PALENCIA & TALCOTT, 2010), tem-se que a camada lipídica assume cores mais avermelhadas (Figura 26) e menos amareladas (Figura 27), após a difusão desse material no interior do fruto.

5.3.4. pH e acidez titulável

As medidas de pH visam quantificar a variação deste parâmetro em função do tempo de armazenamento, que é apresentada na Figura 28 na polpa dos frutos armazenados no hidroconservador, e na Figura 29 para os armazenados em geladeira.

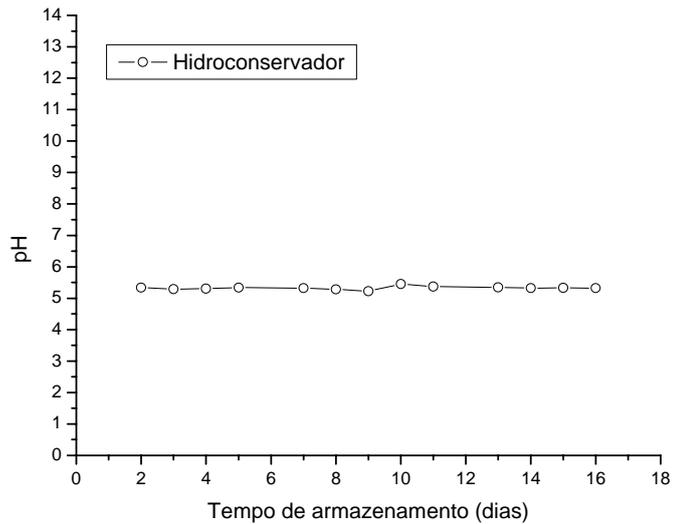


Figura 28: Variação no pH da polpa dos frutos durante o período de armazenamento em hidroconservador (-1 °C).

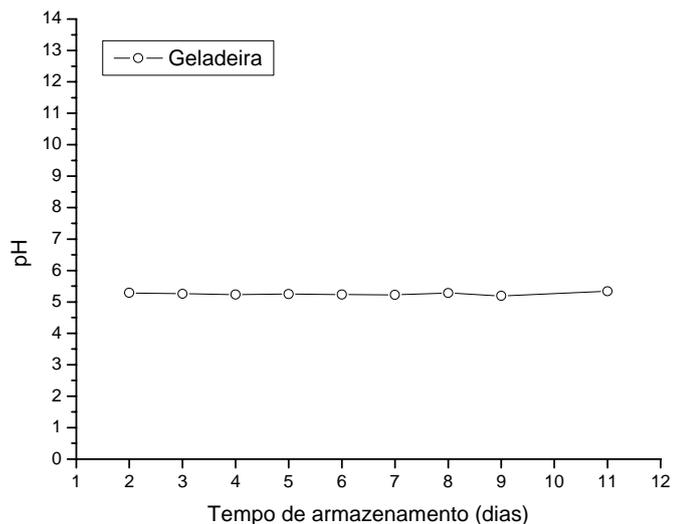


Figura 29: Variação no pH da polpa dos frutos durante o período de armazenamento em geladeira (7 °C).

O pH da polpa dos frutos de açaí armazenados em hidroconservador e geladeira não apresentaram variações significativas durante o armazenamento, com um valor médio de

5,33 ± 0,05 no hidroconservador e de 5,25 ± 0,05 na geladeira. Estes valores atendem aos limites, de 4,00 a 6,20, da Instrução Normativa nº 01 de 07/01/2000, do MAPA (BRASIL, 2000), assim como correspondentes com os relatados por Rogez (2000) de 5,23 e 5,14, e por Sousa *et al.* (2006) de 5,4, para a polpa de açaí.

Rogez (2000) afirma que o pH dos frutos não se altera em armazenamento durante 3 dias após a colheita, as Figuras 28 e 29 mostram que o pH dos frutos não se alterou significativamente, após vários dias após a colheita, tanto nos armazenados em geladeira quanto em hidroconservador. Sousa *et al.* (2006) observam que há redução no pH, de 5,4 para 5,0, na bebida congelada após 30 dias de armazenamento.

A variação na acidez titulável da polpa dos frutos de açaí armazenados em hidroconservador está apresentada na Figura 30. Esta acidez reduziu-se inicialmente com variação entre os dias quatro e treze, seguido de aumento pequeno e contínuo. Devido à camada aquosa sobre a embalagem, estes frutos podem ter entrado em processo de anaerobiose, induzindo a fermentação que pode ter levado à síntese de ácidos, alterando a acidez titulável da polpa (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

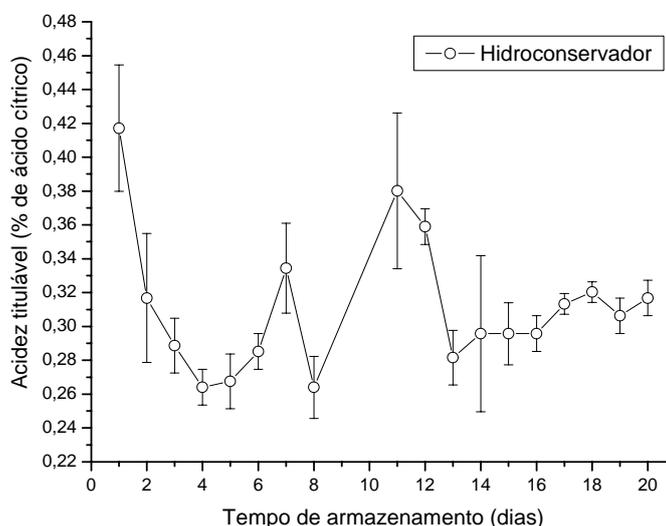


Figura 30: Acidez titulável na polpa de frutos de açaí, em função do tempo de armazenamento em hidroconservador (-1 °C). (As barras indicam o desvio padrão)

Na Figura 31 é apresentada a acidez titulável na polpa dos frutos de açaí armazenados em geladeira, e com aumento constante na acidez titulável dos frutos, durante o armazenamento.

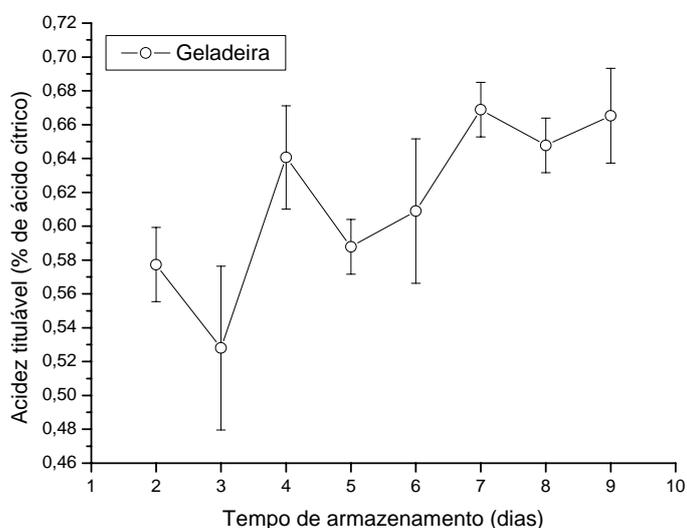


Figura 31: Acidez titulável na polpa de frutos de açaí, em função do tempo de armazenamento em geladeira (7 °C). (As barras indicam o desvio padrão)

A Instrução Normativa nº 01 de 07/01/2000, do MAPA (BRASIL, 2000) determina que o limite máximo para a acidez titulável da polpa de açaí fina ou menor teor de matéria seca, deve ser de 0,2 % de ácido cítrico, enquanto para a polpa grossa, com maiores valores de matéria seca, é de 0,45 % de ácido cítrico.

Alexandre (2002) relatou valores de acidez titulável na polpa de açaí de 0,3 - 0,8 % de ácido cítrico, constatando que o armazenamento da polpa de açaí congelada, adicionada ou não de conservantes, leva a aumento na acidez titulável nos primeiros meses e redução no seu valor, a partir do 4º mês de armazenamento. Sousa *et al.* (2006) também relatam este comportamento, de aumento da acidez titulável nos primeiros meses de armazenamento congelado, e redução nos valores, a partir do 3º mês. Rogez (2000) não identificou alterações na acidez titulável da polpa dos frutos nos primeiros 3 dias após a colheita, enquanto Menezes (2005) detectou acidez titulável de 0,36 % de ácido cítrico e Santos *et al.* (2008) encontraram valores de 0,203 - 0,94 % de ácido cítrico, entre as diferentes marcas de polpas de açaí comparadas.

Portanto a acidez titulável dos frutos de açaí armazenados em geladeira e no hidroconservador apresentam valores próximos aos de outros autores para polpas armazenadas.

5.3.5. Antocianinas totais

O teor de antocianinas é um importante fator de qualidade da polpa, devido às suas propriedades antioxidantes e na prevenção de doenças (BOBBIO *et al.*, 2000; ROGEZ, 2000; BOBBIO *et al.*, 2002; GALLORI *et al.*, 2004; POZO-INSFRAN *et al.*, 2004; HASSIMOTTO *et al.*, 2005; KUSKOSKI *et al.*, 2006; ALBARICI *et al.*, 2007; SCHAUSS *et al.*, 2006; SPADA *et al.*, 2008; TONON *et al.*, 2008; PACHECO-PALENCIA & TALCOTT, 2010).

O teor de antocianinas totais nos frutos armazenados no hidroconservador é apresentado na Figura 32 e pode-se observar contínua redução, que atinge 75 - 80% no 14^o dia.

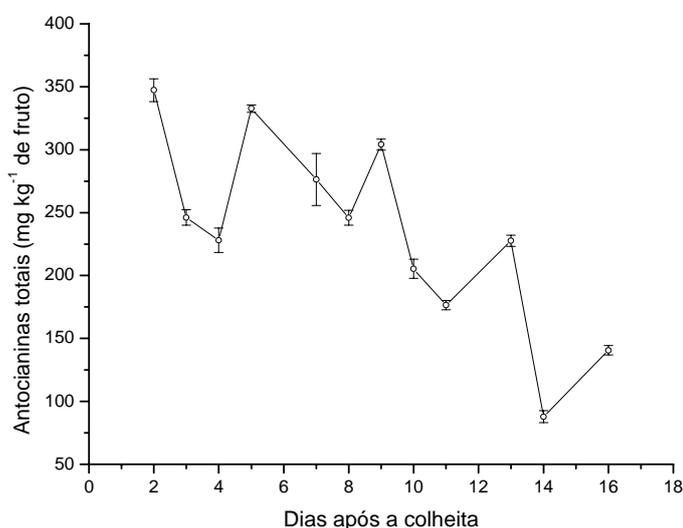


Figura 32: Teor de antocianinas totais na polpa de frutos de açaí, armazenados em hidroconservador (-1 °C). (As barras indicam o desvio padrão)

O teor de antocianinas totais dos frutos armazenados em geladeira é apresentado na Figura 33, que se reduziu de 389 mg kg⁻¹ de fruto no segundo dia, para 211 mg kg⁻¹ de fruto no quarto dia, indicando uma redução de 50 a 53,3 %, que se manteve aproximadamente constante.

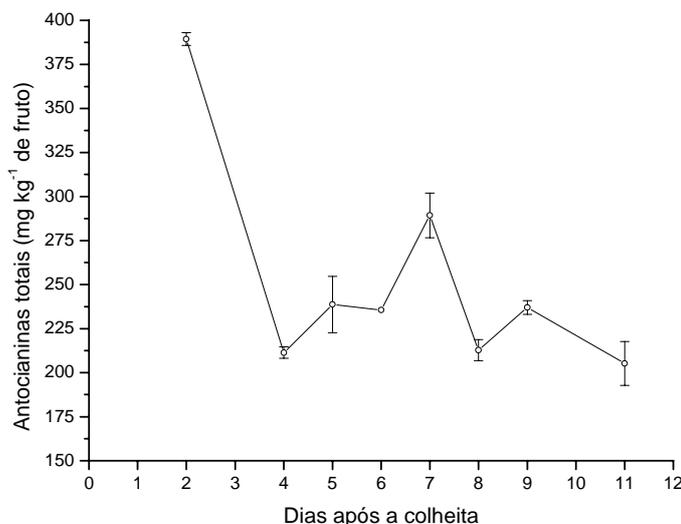


Figura 33: Teor de antocianinas totais na polpa de frutos de açaí, armazenados em geladeira (7 °C). (As barras indicam o desvio padrão)

Os teores iniciais de frutos apresentaram 347 mg de antocianinas por kg de fruto nos armazenados em hidroconservador (Figura 32) e 389 mg kg⁻¹ de fruto nos armazenados em geladeira (Figura 33), estão próximos dos valores relatados por outros autores e que variam de 440 mg kg⁻¹ de fruto (ROGEZ, 2000) a 336 mg kg⁻¹ de fruto (IADEROZA *et al.*, 1992).

As antocianinas são substâncias muito instáveis nas condições ambientes, sendo facilmente oxidadas. Albarici *et al.* (2007) citam que a redução na temperatura de armazenamento é um importante fator para manter a estabilidade das moléculas de antocianinas no açaí, reduzindo sua oxidação. Assim, a temperatura de aproximadamente 7 °C da geladeira comercial, somado à passagem de oxigênio através da embalagem de 304,6 ml O₂ m⁻² dia⁻¹ para embalagens de PEBD com 60 µm de espessura e à temperatura ambiente (BRACKMANN *et al.*, 2006), fazem com que a redução no teor de antocianina nestes frutos ocorreu logo nos primeiros dias de armazenamento (Figura 33), enquanto nos frutos armazenados no hidroconservador sua redução ocorreu de forma mais lenta (Figura 32), pela associação da menor temperatura (-1°C), com a menor permeabilidade a gases da embalagem.

5.4. Conclusões

O potencial de água do fruto de açaí é reduzido pelo teor de água, que é reduzido pelo armazenamento dos frutos em 24 horas em geladeira (7 °C).

O armazenamento no hidroconservador (-1 °C) reduziu a oxidação das antocianinas, mas estes frutos apresentaram possíveis sintomas de injúria por frio e anaerobiose, indicados pela presença de soluto aquoso dentro das embalagens, redução na força de coesão do mesocarpo, alteração na cor do parênquima de reserva e variações na acidez titulável.

O armazenamento em geladeira levou a uma rápida redução no teor de antocianinas totais, devido a permeabilidade da embalagem a gases que reduziu o processo de anaerobiose, os sintomas de injúria pelo frio, porém aumentou a perda de água dos frutos.

6. CONCLUSÃO GERAL

O armazenamento refrigerado do fruto de açaí trás benefícios na redução de seu metabolismo, porém o fruto pode sofrer injúrias pelo frio, limitando a temperatura de armazenamento.

O armazenamento no hidroconservador à -1°C aumenta a estabilidade das antocianinas, porém as condições de baixos teores de oxigênio induzem à anaerobiose, reduzindo a qualidade dos frutos.

O armazenamento em geladeira (7°C) leva à maior desidratação dos frutos, reduzindo seu rendimento no despolpamento, pois aumenta a coesão de seu mesocarpo de maneira continua.

As diferentes condições de armazenamento (hidroconservador a -1°C e geladeira a 7°C) apresentaram vantagens e desvantagens, cada uma delas mantendo uma característica do fruto. Assim são necessários mais estudos a respeito do armazenamento do fruto para determinar o melhor método de armazenamento.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. P. L. et al. Aspectos nutritivos de alguns frutos da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 10, n. 4, p. 755-758, 1980.
- AGUIAR, J.P.L. Tabela de composição de alimentos da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 26, n. 1/2, p. 121-126, 1996.
- ALBARICI, T. R.; FREITAS, D. M.; PESSOA, J. D. C. **Protocolo de análises para polpa de açaí**: um guia prático de consulta. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 48 p.
- ALBARICI, T. R.; VALETA, A. C.; PESSOA, J. D. C. Efeito da temperatura nas antocianinas do açaí. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 3 p. **Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico**, 86, 2007
- ALEXANDRE, D. **Conservação da polpa de açaí através da tecnologia de obstáculos e caracterização reológica**. 2002. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- ANDREWS, J. et al. Partial purification of tomato fruit peroxidase and its effect on the mechanical properties of tomato fruit skin. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 379, p. 2393-2399, 2002. [doi: 10.1093/jxb/erf109]
- BEER, F. P.; JOHNSTON Jr., E. R. **Resistência dos materiais**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill; 1989.
- BHANDE, S. D., RAVINDRA, M. R., GOSWAMI, T. K. Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 87, p. 116-123, 2008.
- BLANDA, G. et al. Phenolic content and antioxidant capacity versus consumer acceptance of soaked and vacuum impregnated frozen nectarines. **European Food Research and Technology**, v. 227, n. 1, p. 191-197, 2008. [doi: 10.1007/s00217-007-0709-6]
- BOBBIO, F. O. et al. Identificação e quantificação das antocianinas do fruto do açaizeiro (*Euterpe oleracea*) Mart. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 3, p. 388-390, 2000.
- BOBBIO, F. O. et al. Stability and stabilization of the anthocyanins from *Euterpe oleracea* Mart. **Acta Alimentaria**, v. 31, n. 4, p. 371-377, 2002.
- BRACKMANN, A.; BORTOLUZ, L.; BORTOLUZZI, G. Frigoconservação de maçã ‘Fuji’ em duas temperaturas e em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Agrociência**, v 4, n 1, p 26-30, 1998.
- BRACKMANN, A. et al. Qualidade de melões (*Cucumis melo L. var. cantalupensis* Naud.), híbrido Torreon, produzidos em hidroponia e armazenados em embalagens de polietileno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1143-1149, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Instrução normativa n° 01:** Regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de açaí. Brasília, DF, 2000. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=7777>>. Acesso em: 20 abr. 2010.

CARMO, S. A. **Conservação pós-colheita de pimentão amarelo ‘Zarco HS’**. 2004. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320 p.

CIE - Commission Internationale de L'Eclairage. **CIE Colorimetry – 1976 L*a*b* colour space**. 1976. Disponível em: <<http://www.cie.co.at/>>. Acesso em: 29 jul. 2010.

COHEN, K. O.; ALVES, S. M. Processamento embalagem e conservação. In: NOGUEIRA, O.L.; FIGUEIRÊDO, F.J.C.; MÜLLER, A.A. (Ed.). **Açaí**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 137 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Sistemas de produção, 4). Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Acai/SistemaProducaoAcai_2ed/paginas/processamento.htm>. Acesso em: 27 abr 2010.

COÏSSON, J. D. et al. *Euterpe oleracea* juice as a functional pigment for yogurt. **Food Research International**, v. 38, p. 893-897, 2005.

COLLA, L.M.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. Congelamento e descongelamento – sua influência sobre os alimentos. **Vetor**, Rio Grande, v. 13, p. 53-66, 2003.

CÓRDOVA-FRAGA, T. et al. *Euterpe oleracea* (Açaí) as an alternative oral contrast agent in MRI of the gastrointestinal system: preliminary results. **Magnetic Resonance Imaging**, v. 22, p. 389-393, 2004.

COSTA, O. A., TAVARES, D. G. G. Composição e valor nutritivo dos alimentos brasileiros. **Revista da Sociedade Brasileira de Química**, v. 5, p. 103-153, 1936.

CUESTA, F. J.; LAMÚA, M. Fourier series solution to the heat conduction equation with an internal heat source linearly dependent on temperature: Application to chilling of fruit and vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 90, p. 291–299, 2009. [doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.06.036]

EMBRAPA. CALBO, A. G. et al. **Hidroconservador e processo de conservação de produtos orgânicos perecíveis utilizando o mesmo**. BR PI0202734-8, 11 jul. 2002.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, p 25-74 e 399-450, 2006.

FERREIRA, K. S. M. et al. Aceitação de um modelo híbrido de hidroconservador e sua eficiência no aumento do tempo de prateleira de couve manteiga (*Brassica oleracea*, v. acephala). In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE POSTCOSECHA Y AGROEXPORTACIONES, 5. 2007, Cartagena, Espanha. **Anais...** [S1-P8], p. 19-28. 2007. (CD-Rom)

FINKLE, B. J.; PEREIRA, E. S. B.; BROWN, M. S. Freezing of nonwoody plant tissues: I. Effect of rate of cooling on damage to frozen beet root sections. **Plant Physiology**, v. 53, p. 705-708, 1974.

FONSECA, S. C.; OLIVEIRA, F. A. R.; BRECHT, J. K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 52, p. 99-119, 2002.

FRECKLETON, R. P. et al. Predicting the impacts of harvesting using structured population models: the importance of density-dependence and timing of harvest of a tropical palm tree. **Journal of Applied Ecology**, v. 40, p. 846-858, 2003.

GALLORI, S. et al. Polyphenolic constituents of fruit pulp of *Euterpe oleracea* Mart. (açai palm). **Chromatographia**, v. 59, n. 11/12, p. 739-743, 2004. [doi: 10.1365/s10337-004-0305-x]

GOMÉZ, A. C. S. **Influência das condições de conservação sobre a qualidade pós-colheita de diferentes cultivares de maçã**. 2005. p 79. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

GRANGE, R. I. Water relations and growth of tomato fruit pericarp tissue. **Plant, Cell and Environment**, v. 18, p. 1311-1318, 1995.

HARKER, F. R. et al. Texture of fresh fruit. **Horticultural Reviews**, v. 20, p. 121-224, 1997.

HARKER, F. R. et al. Physical and mechanical changes in strawberry fruit after high carbon dioxide treatments. **Postharvest Biology and Technology**, v. 19, p. 139-146, 2000.

HASSIMOTO, N. M. A; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruit pulps. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 2928-2935, 2005.

HIRAOKA, M. Land-use changes in the amazon estuary. **Global Environmental Change**, v. 5, n. 4, p. 323-336, 1995.

IADEROZA, M. et al. Anthocyanins from fruits of acai (*Euterpe oleracea*, Mart) and jucara (*Euterpe edulis*, Mart.). **Tropical Science**, v. 32, p. 41-46, 1992.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. (São Paulo). **Métodos físico-químicos para a análise de alimentos**. 4.ed. São Paulo, SP, 2008. p. 581-582. Disponível em: <http://www.ial.sp.gov.br/index.php?option=com_remository&Itemid=0&func=select&orderby=1>. Acesso em: 22 abr 2010.

ISMAIL, B. et al. Physico-chemical characteristics and total quality of five date varieties grown in the United Arab Emirates. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, p. 919-926, 2006.

JOHNSON, R. W.; DIXON, M. A.; LEE, D. R. Water relations of the tomato during fruit growth. **Plant, Cell and Environment**, v. 15, p. 947-953, 1992.

KADER, A. A.; SALTVEIT, M. E. Respiration and gás exchange. *In*: BARTZ, J. A.; BRECHT, J. K. (Ed.). **Postharvest physiology and pathology of vegetables**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2003. p 7-29.

KUSKOSKI, E. M. et al. Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. **Ciência Rural**, v. 36, n. 4, p. 1283-1287, 2006.

LASSO, P. R. O. **Uma nova técnica para conservação de alimentos frescos baseada em instrumentação eletroeletrônica automatizada**. 2003. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

LEHTI, K. K. Composição nutricional de alguns alimentos da Amazônia brasileira – resultados preliminares; *Rev. U.A. Série: Ciências da Saúde*, v. 2, n. 1-2, p. 139-147, 1993.

LUBRANO, C.; ROBIN, J. R.; KHAIAT, A. Fatty-acid, sterol and tocopherol composition of oil from the fruit mesocarp of 6 palm species in french-guiana. **Oleagineux**, v. 49, p. 59-65, 1994.

LUBRANO, C.; ROBIN, J. R.; KHAIAT, A. Étude des composés majeurs d'huiles de pulpe de fruits de six especes de palmiers de Guyane. **Acta Boto Gallica**, v. 144, n. 4, p. 497-499, 1997.

MA, Y. et al. The effect of freezing modes and frozen storage on aroma, enzyme and micro-organism in Hami melon. **Food Science and Technology International**, v. 13, n. 4, p. 259–267, 2007. [doi: 10.1177/1082013207081776]

MAHAJAN; P. V.; GOSWAMI, T. K. Enzyme kinetics based modelling of respiration rate for apple. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 79, n. 4, p. 399-406, 2001. [doi:10.1006/jaer.2001.0718]

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq. 2005.

MARTÍNEZ-ROMERO, D.; CASTILLO, S.; VALERO, D. Quality control in frozen vegetables. *In*: HUI, Y.H. et al. (Eds.). **Handbook os vegetable preservation and processing**. New York: Marcel Dekker, 2004. p. 283-291.

MATA, M. E. C.; BRAGA, M. E. D.; SILVA, M. Curvas de congelamento de frutos de cajá (*Spondias lutea* L.) a temperaturas semi-criogênicas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Especial**, v. 1, p. 55-62, 2003.

MAZARO, S. M.; BRACKMANN, A.; STORCK, L.; Qualidade de kiwi armazenado em duas temperaturas sob atmosfera controlada e com eliminação de etileno. **Ciência Rural**, v. 30, n. 6, p. 947-952, 2000.

MENEZES, E. M. S. **Efeito da alta pressão hidrostática em polpa de açaí pré-congelada (*Euterpe oleracea*, Mart.)**. 2005. 83 f. Tese (Magister Scientiae em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

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

MODISE, D. M. Does freezing and thawing affect the volatile profile of strawberry fruit (*Fragaria × ananassa* Duch.)?. **Postharvest Biology and Technology**, v. 50, p. 25–30, 2008. [doi: 10.1016/j.postharvbio.2008.03.009]

MURRIETA, R. S. S.; DUFOUR, D.; SIQUEIRA, A. D. Food consumption and subsistence in three caboclo populations on Marajó Island, Amazonia, Brazil. **Human Ecology**, v. 27, n. 3, p. 455-475, 1999.

NEI, D. et al. Effect of high temperature on the apparent activation energy of respiration of fresh produce. **Postharvest Biology and Technology**, v. 37, p. 277-285, 2005. [doi: 10.1016/j.postharvbio.2005.05.001]

NOGUEIRA, O. L. Regeneração e crescimento vegetativo de açazeiros (*Euterpe oleracea*) em área de várzea do estuário amazônico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 22, p. 323-328, 2000.

NOGUEIRA, O. L.; CONCEIÇÃO, H. E. O. Análise de crescimento de açazeiros em áreas de várzea do estuário amazônico, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 11, p. 2167-2173, 2000.

NUNES, M. C. N.; EMOND, J. P. Storage temperature. In: BARTZ, J. A.; BRECHT, J. K. (Ed.). **Postharvest physiology and pathology of vegetables**. 2. ed., New York: Marcel Dekker, 2003. p 209-228.

PACHECO-PALENCIA, L. A.; TALCOTT, S. T. Chemical stability of açai fruit (*Euterpe oleracea* Mart.) anthocyanins as influenced by naturally occurring and externally added polyphenolic cofactors in model systems. **Food Chemistry**, v. 118, p. 17-25, 2010.

PAULA, J. E. Anatomia de *Euterpe oleracea* Mart. (Palmae da Amazônia). **Acta Amazônica**, v. 5, n. 3, p. 265-278, 1975.

PESSOA, J. D. C.; ARDUIN, M.; MARTINS, M. A. Açai (*Euterpe oleracea*) fruit structural information for the development of new processing technologies. In: WORLD CONGRESS OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 13., 2006, Nantes, França. **Anais...** Nantes, França: INRA, 2006. (CD-Rom).

PESSOA, J. D. C.; SILVA, P. V. S. Effect of temperature and storage on açai (*Euterpe oleracea*) fruit water uptake: simulation of fruit transportation and processing; **Fruits**, v. 62, n. 5, p. 295-302, 2007.

PETRACEK, P. D. et al. Modified atmosphere packaging of sweet cherry (*Prunus avium* L., cv. 'Sams') fruit: metabolic responses to oxygen, carbon dioxide, and temperature. **Postharvest Biology and Technology**, v. 24, p. 259–270, 2002.

PLATENIUS, H. Effect of temperature on the respiration rate and the respiratory quotient of some vegetables. **Plant Physiology**, v. 17, n. 2, p. 179-197, 1942.

POMPEU, D. R.; BARATA, V. C. P.; ROGEZ, H. Impacto da refrigeração sobre variáveis de qualidade dos frutos do açazeiro (*Euterpe oleracea*). **Alimentos e Nutrição**, v.20, n.1, p. 141-148, 2009.

- POZO-INSFRAN, D. D.; PERCIVAL, S. S.; TALCOTT, S. T. Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) polyphenolics in their glycoside and aglycone forms induce apoptosis of HL-60 Leukemia cells. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 4, p.1222–1229, 2006. [doi: 10.1021/jf052132n]
- REID, D. Freezing. *In*: ARTHEY, D.; DENNIS, C. (Eds.). **Vegetable processing**. New York: Blakie and Son, 1991. p. 102-122.
- REID, D. S.; BARRET, D. M. Fruit freezing. *In*: BARRET, D. M.; SOMOGYI, L.; RAMASWAMY, H (Eds.), **Processing fruits: science and technology**. 2 ed. Florida: CRC Press, 2005. p. 162-166.
- RIBEIRO, G. V. et al. Estrutura do fruto de açaí em formação (*Euterpe oleracea*). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20.; ANNUAL MEETING OF THE INTERAMERICAN SOCIETY FOR TROPICAL HORTICULTURE, 54., 2008, Vitória, ES. **Anais...** Vitória: Incaper, 2008. (CD-Rom).
- RIBEIRO, G. V. **Morfoanatomia do fruto de açaí em função do teor de água utilizando microscopia óptica e microtomografia de raios-X**. 2010. 70 f. Tese (Mestrado em Biotecnologia). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.
- ROCHA, A. P. M. et al. Endothelium-dependent vasodilator effect of *Euterpe oleracea* Mart. (Açaí) extracts in mesenteric vascular bed of the rat. **Vascular Pharmacology**, v. 46, p. 97-104, 2007. [doi:10.1016/j.vph.2006.08.411]
- ROGEZ, H. **Açaí: preparo, composição e melhoramento da conservação**. Belém: EDUFPA, 2000.
- ROSSO, V. V. et al. Determination of anthocyanins from acerola (*Malpighia emarginata* DC.) and açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) by HPLC–PDA–MS/MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, p. 291-299, 2008.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 3. ed. California: Wadsworth Publishing Company, 1985 p. 18-53.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4. ed. California: Wadsworth Publishing Company, 1992 p. 37-43 e 266-267.
- SALTVEIT, M. E. Temperature extremes. *In*: BARTZ, J. A.; BRECHT, J. K. (Ed.). **Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2003. p 457-483.
- SANTOS, G. M. et al. Correlação entre atividade antioxidante e compostos bioativos de polpas comerciais de açaí (*Euterpe oleracea* Mart). **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 58, n. 2, p. 187-192. 2008.
- SCHAUSS, A. G. et al. Antioxidant capacity and other bioactivities of the freeze-dried Amazonian palm berry, *Euterpe oleraceae* Mart. (açai). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 22, p. 8604-8610, 2006. [doi: 10.1021/jf0609779]
- SHEWFELT, R. L. Postharvest treatment for extending shelf-life of fruits and vegetables. **Food Technology**, v. 40, n. 4, p. 70-80, 1986.

- SINGH, K. K.; REDDY, B. S. Post-harvest physico-mechanical properties of orange peel and fruit. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 112-120, 2006.
- SOUSA, M. A. C. et al. Suco de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.): avaliação microbiológica, tratamento térmico e vida de prateleira, **Acta Amazônica**, v. 36, n. 4, p. 483-496, 2006.
- SPADA, P. D. S. et al. Antioxidant, mutagenic, and antimutagenic activity of frozen fruits. **Journal of Medicinal Food**, v. 11, n. 1, p. 144-151, 2008. [doi: 10.1089/jmf.2007.598]
- STEFANINI, T.F.; REIS, A.R.; PESSOA, J.D.C.; CALBO, A.G. Avaliação da vida útil da couve-manteiga em hidroconservador de aspersão. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. S5331-S5235, 2008.
- STEFFENS, C. A. et al. Taxa respiratória de frutas de clima temperado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 313-321, 2007.
- SUN, D. W.; LI, B. Microstructural change of potato tissues frozen by ultrasound-assisted immersion freezing. **Journal of Food Engineering**, v. 57, p. 337-345, 2003.
- TOAIARI, S. D. A. et al. Biodisponibilidade de ferro do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e da farinha de mandioca fortificada com ferro em ratos. **Revista de Nutrição**, v. 18, n. 3, p. 291-299, 2005.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying, **Journal of Food Engineering**, v. 88, p. 411-418, 2008.
- TOVAR, B.; GARCÍA, H. S.; MATA, M. Physiology of pre-cut mango. I. ACC and ACC oxidase activity of slices subjected to osmotic dehydration. **Food Research International**, v. 34, p. 207-215, 2001.
- WANG, J.; LITE, L.; YANG, D. The correlation between freezing point and soluble solids of fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 60, p. 481-484, 2003.
- WANG, Z. et al. One-dimensional finite-difference modeling on temperature history and freezing time of individual food. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 502-510, 2007.
- WILLS, R. et al. **Postharvest: An introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals**, 4 ed. Sydney: UNSW Press Ltd, 1998. p. 33-75.
- YUYAMA, L.K.O. et al. Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e camu-camu (*Myrciaria dúbia* (H.B.K.) Mc Vaugh) possuem ação anti anêmica?. **Acta Amazônica**, v. 32, n. 4, p. 625-633, 2002.
- ZAMORANO, J.P.; ALIQUÉ, R.; CANET, W. Mechanical parameters to assess quality changes in cherimoya fruit. **Z Lebensm Unters Forsch A**, v. 208, p. 125-129, 1999.