



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PROCESSOS**



**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
Secagem de Sólidos**

**CONSERVAÇÃO DE POLPA DE ARAÇÁ-BOI SUBMETIDA À IRRADIAÇÃO
GAMA E LIOFILIZAÇÃO**

ROMÁRIO OLIVEIRA DE ANDRADE

**CAMPINA GRANDE – PB
FEVEREIRO/2019**

CONSERVAÇÃO DE POLPA DE ARAÇÁ-BOI SUBMETIDA À IRRADIAÇÃO GAMA E LIOFILIZAÇÃO

ROMÁRIO OLIVEIRA DE ANDRADE

Tese de Doutorado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Doutor em Engenharia de Processos.

Orientadora: Prof.^a Dr^a. Josivanda Palmeira Gomes

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Paula Trindade Rocha

CAMPINA GRANDE – PB
FEVEREIRO/2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

AUTOR: ROMÁRIO OLIVEIRA DE ANDRADE

TÍTULO: CONSERVAÇÃO DE POLPA DE ARAÇÁ-BOI SUBMETIDA À IRRADIAÇÃO GAMA E LIOFILIZAÇÃO

Tese defendida e aprovada em: 26/02/2019

BANCA EXAMINADORA

Dr^a. Josivanda Palmeira Gomes - UFCG
Orientadora

Dr^a. Ana Paula Trindade Rocha - UFCG
Orientadora

Dr^a. Renata Duarte Almeida - UFCG
Examinador Interno

Dr. Osvaldo Soares da Silva - UFCG
Examinador Interno

Dra. Arianne Dantas Viana - UFPB
Examinadora externa

Dr. Dalmo Marcelo Brito Primo - UEPB
Examinador externo

A553c Andrade, Romário Oliveira de.
Conservação de polpa de araçá boi submetida irradiação gama e liofilização / Romário Oliveira de Andrade. – Campina Grande, 2019.
90 f.: il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciência e Tecnologia, 2019.

"Orientação: Prof.^a Dr.^a Josivanda Palmeira Gomes, Prof.^a Dr.^a Ana Paula Trindade Rocha".
Referências.

1. Radiação Ionizante. 2. Microestrutura. 3. Curvas de Congelamento. 4. Secagem. 5. Isotermas. 6. Conservação. I. Gomes, Josivanda Palmeira. II. Rocha, Ana Paula Trindade. III. Título.

CDU 544.543.7(043)

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL	1
2.	OBJETIVOS.....	4
2.1	Geral.....	4
2.2	Específicos.....	4
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
3.1	Araçá-boi.....	4
3.2	Polpa de frutas.....	5
3.3	Propriedades físico-químicas e reológicas das polpas de frutas	6
3.4	Conservação de alimentos.....	9
4.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14
ARTIGO I	AVALIAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DE POLPAS DE ARAÇÁ-BOI SUBMETIDAS À IRRADIAÇÃO GAMA.....	20
ARTIGO II	MICROESTRUTURA E PROPRIEDADE REOLÓGICA DE POLPAS DE ARAÇÁ-BOI SUBMETIDAS À IRRADIAÇÃO GAMA.....	39
ARTIGO III	CINÉTICA DE CONGELAMENTO DE POLPAS DE POLPA DE ARAÇÁ-BOI COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE MALTODEXTRINA.....	53
ARTIGO IV	COMPORTAMENTO HIGROSCÓPICO DA POLPA DE ARAÇÁ-BOI EM PÓ OBTIDA PELO MÉTODO DE LIOFILIZAÇÃO.....	69

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

ARTIGO I	AVALIAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DE POLPAS DE ARAÇÁ-BOI SUBMETIDAS À IRRADIAÇÃO GAMA.....	20
Figura 1.	Parâmetros L (A), a* (B) e b* (C) da coloração da polpa de frutos de araçá-boi (<i>Eugenia stipitata</i>) submetidos a diferentes doses de Irradiação Gama....	30
Figura 2.	Sólidos solúveis totais (A), acidez titulável (B), relação SS/AT(C) e pH (D) de frutos de araçá-boi (<i>Eugenia stipitata</i>) submetidos a diferentes doses de Irradiação Gama.....	31
Figura 3.	Teor de umidade (A) e atividade água (B) de frutos de araçá-boi (<i>Eugenia stipitata</i>) submetidos a diferentes doses de Irradiação Gama.....	32
Figura 4.	Flavonoides amarelos (A) e ácido ascórbico (B) de frutos de araçá-boi (<i>Eugenia stipitata</i>) submetidos a diferentes doses de Irradiação Gama.....	33
Figura 5.	Dendograma de dissimilaridade para as diferentes doses de Irradiação Gama aplicadas em frutos de araçá-boi (<i>Eugenia stipitata</i>).....	34
ARTIGO II	MICROESTRUTURA E PROPRIEDADE REOLÓGICA DE POLPAS DE ARAÇÁ-BOI SUBMETIDAS À IRRADIAÇÃO GAMA.....	39
Figura 1.	Fotomicrografias da polpa de araçá-boi para o controle (a), dose 2 kGy (b), dose 4 kGy (c) e dose 6 kGy (d) com aumento de 400x.....	45
Figura 2.	Reogramas das polpas de araçá-boi irradiada em diferentes doses de Irradiação Gama e temperaturas com o modelo Herschel-Bulkley ajustado aos dados experimentais: Dose 0 KGy; Dose 2 KGy; Dose 4 KGy e Dose 6 KGy.....	50
ARTIGO III	CINÉTICA DE CONGELAMENTO DE POLPAS DE POLPA DE ARAÇÁ-BOI COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE MALTODEXTRINA.....	53
Figura 1.	Caracterização física, físico-química e de compostos bioativos das polpas integrais e formuladas com diferentes concentrações de maltodextrina.....	60
Figura 2.	Curva de congelamento: controle = polpa integral; (F1) polpa a 7%; (F2) polpa a 14%; (F3) polpa a 21% de maltodextrina.....	62
ARTIGO IV	COMPORTAMENTO HIGROSCÓPICO DA POLPA DE ARAÇÁ-BOI EM PÓ OBTIDA PELO MÉTODO DE LIOFILIZAÇÃO.....	69

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e aos orixás, por me iluminar sempre, fornecendo-me o dom de existir e está comigo em todos os momentos, dando-me a oportunidade e privilégio de dar mais esse passo em minha vida.

Aos meus pais, Ana Glória da Silva Oliveira, à minha avó Rosa Maria da Silva Oliveira e ao meu Avô João Evangelista de Oliveira (*In memoriam*), pelo cuidado, dedicação e esforço sem medidas para a minha formação acadêmica e social.

Aos meus familiares, irmãos, sobrinhas, afilhada, tios e primos, por compreenderem a minha ausência, tolerarem os meus desânimos e sempre me apoiarem quando eu precisei.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), aos servidores e docentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, pela aprendizagem e oportunidade concedida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida!

Aos meus orientadores, Dra. Josivanda Palmeira Gomes e Dra. Ana Paula Trindade Rocha, pela orientação, confiança, disponibilidade, ensinamentos transmitidos, amizade e pelo exemplo de dedicação.

A Dra. Helen Jamil Khoury, Coordenadora do Laboratório de Metrologia das Radiações Ionizantes do DEN - UFPE, a qual permitiu que conduzisse parte experimental desta pesquisa.

Aos novos e grandes amigos que conquistei: Marília, Josenara, Aury e Francilania, por todos os momentos bons e divertidos que passamos juntos. Aos velhos e também grandes amigos que mantive: Ana Raquel, Gustavo Lima, Eduardo, Willibys Ferreira, Luciano, Joalisson, Joeliton, Marina, Murilo e Verônica (que contribuíram com palavras de incentivo nos momentos em que estava preste a desistir).

À mãe de Santo Damiana Lopes e aos médiuns do Templo de Umbanda Oxum Opará, pelo acolhimento e conforto no momento em que mais precisei e pelos ensinamentos da lei do amor e da evolução espiritual.

Enfim, a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização desse trabalho.

RESUMO GERAL

Objetivou-se nesta pesquisa avaliar a conservação e a qualidade da polpa dos frutos araçá-boi submetido à Irradiação Gama (60 Co) e secagem por liofilização. O trabalho foi dividido em quatro artigos. No Artigo I, objetivou-se avaliar a qualidade e microbiológica, físico-química e dos compostos bioativos da polpa de araçá-boi submetida à Irradiação Gama (60 Co), onde se concluiu que as diferentes doses de Irradiação Gama garantiu a qualidade microbiológica da polpa de araçá-boi, mantendo-se apta ao consumo e em conformidade com o que determina a legislação. No Artigo II, objetivou-se analisar a microestrutura e o comportamento reológico da polpa de araçá-boi tratados com diferentes doses de Irradiação Gama. Verificou-se que após a aplicação das doses, a microestrutura apresentou ramificações diferenciadas quando comparadas com o tratamento controle e que o processo de Irradiação Gama não afetou o comportamento reológico das polpas de araçá-boi. No Artigo III, objetivou-se avaliar a cinética de congelamento da polpa de araçá-boi à temperatura de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ e com diferentes concentrações de maltodextrina, podendo-se observar que a curva de congelamento da polpa a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ mostrou-se muito similar a curva obtida para a água pura, permitindo distinguir claramente os três estágios típicos durante a conversão da água em gelo. O tempo de congelamento aumentou proporcionalmente a inclusão de maltodextrina na polpa de araçá-boi, com maior tempo obtido para a Formulação 3 (F3 = 21% de maltodextrina) e menores para o controle (0% de maltodextrina) na temperatura de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. No Artigo IV, buscou-se avaliar as características físico-químicas do pó de araçá-boi liofilizado, verificando o comportamento higroscópico através das isotermas de adsorção utilizando diferentes modelos matemáticos. A partir dos valores do coeficiente de determinação e do desvio percentual médio apresentado, verificou-se que, todos os modelos estudados foram satisfatórios e que a melhor representação matemática das isotermas foi obtida pelo modelo de GAB.

Palavras-chave: radiação ionizante, microestrutura, curvas de congelamento, secagem, isotermas, conservação

1. INTRODUÇÃO GERAL

A Amazônia, maior bioma brasileiro, é constituída por várias espécies frutíferas com características sensoriais únicas e de elevada concentração de nutrientes. Dentre essas se destacam abiu (*Pouteria caimito*), achachairu (*Garcinia humilis*), araçá-boi (*Eugenia stipitata*), biri-biri (*Averrhoa bilimbi*) e o mangostão-amarelo (*Garcinia xanthochymus*), de sabor característico muito apreciado pelos consumidores locais (VIRGOLIN; SEIXAS; JANZANTTI, 2017).

O araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) é uma fruteira da família mirtácea originada da Amazônia peruana, usualmente cultivada no Brasil, Peru e Bolívia. No Brasil a mesma faz parte de espécies nativas e cultivadas no Bioma Amazônia de sabor característico muito apreciado pela população local. No Nordeste, esse fruto foi introduzido no sul da Bahia na década de oitenta e vem sendo cultivado comercialmente em alguns pomares da região, como alternativa de diversificação da lavoura cacaueteira (SACRAMENTO; BARRETO; FARIAS, 2008).

Os pequenos frutos apresentam baixa conservação pós-colheita, devido às altas taxas respiratórias e de perda de água durante o armazenamento. O conhecimento da fisiologia da tecnologia pós-colheita de processamento e conservação é de grande importância para que se tenham subsídios técnicos que visem à ampliação do seu tempo de armazenamento.

A agroindústria de polpa de frutas tem despertado o interesse para o estudo de diferentes formas de preservação de alimentos devido à crescente demanda dos consumidores por produtos naturais e que possuam longo período de vida útil, aliado à crescente procura por frutas tropicais no mercado interno e externo, podendo-se enquadrar nesse contexto a polpa do fruto do araçá-boi. Tornando esse processo, uma atividade agroindustrial importante na medida em que se agrega valor econômico à fruta. A ampliação deste mercado atualmente depende da melhoria da qualidade do produto final, que engloba os aspectos físicos, químicos, microbiológicos, nutricionais e sensoriais.

Um dos vários problemas que envolvem a comercialização de polpas de frutas é seu alto perecimento, além dos custos na cadeia do frio, dificultando o

transporte e armazenamento em centros distantes do local de coleta e beneficiamento. Este cenário contribuiu para o desenvolvimento de tecnologias emergentes, isto é, processos que não utilizam o tratamento térmico clássico para a preservação dos alimentos ou que eliminem a utilização da cadeia do frio durante o armazenamento, que podem levar à disponibilidade de produtos com melhor qualidade sensorial e nutricional com período de vida útil prolongado.

A Irradiação Gama é um método de conservação à frio, no qual proporciona durabilidade muitas vezes maior do que a pasteurização, por não influenciar a aparência e composição do alimento (FARKAS, 2006). A Food Agriculture Organization (FAO), Organização Mundial de Saúde (OMS) e a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) concluíram em um relatório elaborado em 1981 que a irradiação de alimentos até a dosagem de 10 kGy não resulta em danos toxicológicos e não oferece riscos (FARKAS; MOHÁCSI-FARKAS, 2011). Mais de 50 países já aprovaram por volta de 60 gêneros alimentícios a ser irradiado para o consumo local e/ou para exportação, e aproximadamente 40 países estão usando a irradiação de alimentos (KUME et al., 2009).

A radiação ionizante é um processo seguro que tem sido avaliado em muitas aplicações. Em função da dose aplicada no alimento, observa-se melhoria na qualidade microbiológica do produto, resultando na redução de perdas no armazenamento e prolongamento da vida útil (ALAM KHAN; ABRAHEM, 2010). Outra alternativa para essa redução é o emprego da desidratação, um dos processos mais antigos utilizados na preservação de alimentos, tendo como principal objetivo diminuir a disponibilidade de água para as reações de deterioração. Nas últimas décadas, muitos estudos foram realizados em relação à desidratação de frutas (MOSQUERA; MORAGA; MARTÍNEZ-NAVARRETE, 2010) voltados principalmente no sentido de aumentar a retenção das propriedades nutritivas e sensoriais do produto desidratado mediante as alterações dos processos já existentes ou aplicação de novas técnicas.

Dentre as técnicas de secagem em alimentos, a liofilização, que é a remoção de água a partir de amostras congeladas realizada em câmara a vácuo, tem sido um parâmetro divisor para os produtos agrícolas. A água congelada é convertida diretamente em vapor de água sem uma etapa

intermédia envolvendo água líquida, pelo processo de sublimação. Esse processo pode proceder corretamente somente em baixas temperaturas e com pressão reduzida consideravelmente (MARQUES, 2008).

A liofilização é um método de secagem eficaz e progressivo, demonstrando-se como uma operação importante na fabricação e comercialização de produtos alimentícios, sendo utilizada para secar produtos de alto valor agregado, que possuam aromas ou texturas delicadas ou que apresentam sensibilidade ao uso do calor como materiais biológicos (fungos, enzimas, tecidos), farmacêuticos (antibióticos, vacinas, soros) e alimentos (sucos, carnes, legumes, frutas), gerando produtos de qualidade superior quando comparados aos obtidos em outras técnicas de secagem (MARQUES, 2008). Além disso, o produto liofilizado é facilmente reidratável uma vez que os poros microscópicos são formados como resultado dos cristais de gelo que sublimam durante o processo de secagem (OIKONOMOPOULOU; KROKIDA; KARATHANOS, 2011).

Estudos sobre a aplicação da secagem por liofilização vêm sendo desenvolvido a fim de aprimorar e se ter uma maior preservação da qualidade dos alimentos processados.

Canuto, Afonso e Costa (2014) ao estudarem o comportamento higroscópico da polpa de mamão em pó liofilizado com maltodextrina, verificaram que a adição de maltodextrina para formulações de polpa de mamão papaia influenciou na composição físico-química dos seus pós, reduziu a concentração de acidez titulável, ácido ascórbico e açúcares; no entanto, a adição de maltodextrina para polpa de mamão liofilizada melhorou a estabilidade e diminuiu a higroscopicidade do pó.

Diante disso, pesquisas que visem modificar ou aperfeiçoar o processo de beneficiamento e processamento de polpas de frutas, através da adoção de tecnologias que minimizem perdas nutricionais e sensoriais, são importantes e necessárias, a fim de se produzir alimentos saudáveis, duradouros e saborosos.

OBJETIVOS

1.1. Geral

Conservar a qualidade da polpa dos frutos de araçá-boi submetido à Irradiação Gama (60 Co) e secagem por liofilização.

1.2. Específico

Avaliar a qualidade microbiológica, físico-química e compostos bioativos da polpa de araçá-boi submetida à Irradiação Gama (60 Co);

Verificar a influência da Irradiação Gama sob o comportamento reológico da polpa de araçá-boi;

Avaliar a cinética de congelamento da polpa de araçá-boi à temperatura de -30 °C e com diferentes concentrações de maltodextrina DE10; e,

Produzir, avaliar os parâmetros físico-químicos, microbiológico e higroscópico dos pós da polpa de araçá-boi liofilizada contendo maltodextrina (DE10).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Araçá-boi

O araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) é uma espécie frutífera nativa da Amazônia, o qual pertence à família *Myrtaceae*, sendo a mesma da goiabeira e jabuticabeira. É originária da Amazônia Ocidental, usualmente cultivada em pequena escala no Peru, Bolívia, Equador, Colômbia e Brasil (CHAVES FLORES; CLEMENT, 1984). Essa fruta apresenta excelente valor nutricional de proteínas e carboidratos. Por ser pouco conhecida no mercado consumidor a sua comercialização ainda é baixa, mas tem um grande potencial, apresentando-se com uma boa quantidade de polpa (SACRAMENTO; BARRETO; FARIA, 2008).

Os frutos possuem o seu sabor similar à goiaba, embora seja um pouco mais ácido e de perfume mais acentuado. Podem ser adicionados como

ingrediente na formulação de doces, sorvetes e bebidas (FRANZON et al., 2009). A qualidade e aceitabilidade dos frutos estão diretamente relacionadas com seus atributos sensoriais e nutricionais, que refletirão na aparência e no sabor, com isso diversos estudos vem sendo realizado para compreender as características nutricionais e físico-químicas desse fruto.

Canuto, Afonso e Costa (2010) avaliaram parâmetros (pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais e cor) bem como compostos com interesse funcional e atividade antirradical livre para polpas das espécies frutíferas amazônicas, sendo elas: abiu (*Pouteria caimito*), acerola (*Malpighia emarginata*), açaí (*Euterpe oleracea*), araçá-boi (*Eugenia stipitata*), bacaba (*Oenocarpus bacaba*), bacuri (*Platonia insignis*), buriti (*Mauritia flexuosa*), cajá (*Spondias lutea*), cajarana (*Spondias lutea* Linn), caju (*Anacardium occidentale*), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), graviola (*Anona muricata*), murici (*Byrsonima crassifolia*), noni (*Morinda citrifolia*) e tamarindo (*Tamarindus indica*). Santos et al. (2017) estudaram a caracterização física e química de frutos do araçá-boi em três períodos diferentes de avaliação no município de Lavras, MG, visando seu potencial produtivo para a região, com objetivo de dar uma maior valorização á esses frutos como alimento funcional e oferecer opção de atividade sustentável para a população dessas regiões.

2.2. Polpa de frutas

O Brasil é responsável por uma grande produção de frutas, que atendem aos mais variados gostos e perfis da população. De acordo com o Boletim de Inteligência do SEBRAE (2015), o ramo da fruticultura é um dos setores que apresentam grande destaque dentro do agronegócio brasileiro, onde há a produção de grande variedade de culturas e que a cada ano tem atingindo resultados expressivos de produção, gerando oportunidades para os pequenos negócios brasileiros.

As polpas de maior relevância no mercado brasileiro são as derivadas do processamento de frutas tropicais como, abacaxi, acerola, cupuaçu, goiaba, graviola, mamão, manga, maracujá, dentre outras, os quais resultam em produtos de grande aceitação. A polpa de araçá-boi possui uma acidez elevada, no entanto, com aroma agradável. A acidez do fruto limita seu

consumo *in natura*, mas quando misturada com outra polpa de sabor adocicado, como a banana, representa uma boa alternativa para a elaboração de produtos processados como geleias e néctares (VIANA et al., 2012).

Segundo Carvalho, Mattietto e Beckman (2017), as polpas de frutas podem ser encontradas no mercado brasileiro há alguns anos, tendo a praticidade como principal vantagem para estabelecimentos comerciais como restaurantes, padarias, lanchonetes, entre outros. Indústrias de processamento também contam com a vantagem de ter um produto misto congelado, utilizado como ingrediente para obtenção de outros produtos, sem ter que realizar etapas de processamento adicionais em função do número de frutas envolvidas.

2.3. Propriedades físico-químicas e reológicas das polpas de frutas

3.3.1. Propriedades físico-químicas

De acordo com Anjos, Caldeira e Grossi (2017), para que as polpas de fruta possam ser destinadas ao consumo é necessário que sejam estabelecidos os padrões de identidade e as características mínimas de qualidade gerais, conforme Instrução Normativa nº 01, de 7 de janeiro de 2000 do Ministério da Agricultura e Abastecimento.

As frutas por serem perecíveis e deteriorarem em poucos dias, têm sua comercialização *in natura* dificultada a grandes distâncias. Além disso, estima-se que perdas pós-colheita variem de 15 a 50% (ANJOS; CALDEIRA; GROSSI, 2017). Conforme Matta et al. (2005), esse mercado garante o comércio de frutas pouco conhecidas e que já despertam o interesse do mercado externo. Para Santana et al. (2018), questões como o transporte, não devem ser vistas isoladamente na conservação das características dos frutos, uma vez que existem frutas que exigem maior tempo de despulpamento, aumentando o custo com a energia e conseqüentemente inserido no valor do produto final.

Todavia, a produção de polpas em regiões onde o cultivo da cultura em específico não é predominante, encarece o processo de logística do despulpamento, unidos a um elevado custo com transporte da matéria-prima (HORA; MATTOSINHO; SILVA, 2011), e seu condicionamento seguro durante

o trajeto que as frutas percorrem, visto que, o interior das frutas serem consideradas praticamente estéreis, um mau armazenamento pode provocar rupturas na parte superior do alimento e causar contaminação (MIRANDA et al., 2016).

Segundo comenta Caldas et al. (2010), a produção de polpas vem sendo potencializada pelos seus aspectos de praticidade e aproveitamento integral das frutas da safra, todavia, algumas possuem na sua composição, alterações físico-químicas que podem estar associadas á problemas no armazenamento das frutas, antes do seu processamento, podendo gerar problemas de qualidade no produto final.

Anjos, Caldeira e Grossi (2017) comentam que um importante fator facilmente percebido no produto, é a acidez, sendo que é responsável pelo sabor ácido ou azedo dos frutos e um importante parâmetro na análise do estado de conservação. Dentre os ácidos mais encontrados estão o málico, tartárico, cítrico e pirúvico. Esses por serem voláteis, contribuem para o aroma da fruta e da polpa, sendo um atrativo para os consumidores.

Dentre as alternativas de conservação para uma polpa de fruta, o congelamento ainda é o procedimento mais utilizado. Segundo Maia, Sousa e Lima (2007), quando as polpas são processadas, congeladas e armazenadas de forma adequada, apresentam preservação das características sensoriais, nutricionais e químicas similares às que possuem antes do seu congelamento. O processo é considerado um dos mais indicados para a preservação das propriedades químicas, nutricionais e sensoriais dos alimentos. Todavia, é importante considerar que é quase impossível evitar mudanças na qualidade dos alimentos durante a aplicação de processos de conservação (ORDOÑEZ, 2005).

3.3.2. Propriedades reológicas

A reologia é uma ciência que surgiu no início do século XX e tem como principal propósito o estudo das deformações e do escoamento dos materiais. No manuseio de frutas em escala industrial têm, como uma das soluções mais práticas, a transformação da matéria-prima em polpa, viabilizando a utilização em inúmeros processos (OLIVEIRA; ROSSI; BARROS, 2012).

Conforme explicam Alvarado e Aguilera (2001), o conhecimento das propriedades reológicas dos alimentos é utilizado no controle de qualidade, avaliação da textura, projetos de controle e processos e determinação da estrutura do alimento, incluindo mudanças físico-químicas que ocorrem durante o processamento e armazenamento, além disso, o próprio dimensionamento de equipamentos e maquinários para a indústria alimentícia envolvem problemas relacionados à reologia do produto que será processado em seu interior, ou seja, questões relacionadas ao escoamento do mesmo (QUEIROZ; VIDAL; GASPARETTO, 2000).

A viscosidade é o principal parâmetro estudado em alimentos líquidos e semilíquidos, sendo considerada o meio ideal para se caracterizar a textura do fluido. Na industrialização de polpa de frutas, frequentemente são utilizados processos térmicos (aquecimento e/ou resfriamento), os quais podem acarretar modificação na sua viscosidade, fazendo com que o estudo da influência da temperatura sobre o comportamento reológico desse produto seja de grande importância (FEITOSA et al., 2015).

O comportamento reológico dos fluidos pode ser dividido em newtonianos e não newtonianos. O primeiro é caracterizado por uma relação linear entre tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido. O segundo, por sua vez, são inelásticos, dependentes ou não do tempo, de modo que, os independentes não são afetados pelo histórico anterior de cisalhamento, sendo classificados como pseudoplásticos (VENDRÚSCULO, 2005).

Diversos estudos tem sido feitos sobre o comportamento reológico de sucos e polpas de frutas para determinação dos melhores métodos de processamento e prolongamento das qualidades nutricionais e vida de prateleira dos produtos. Sousa et al. (2017) analisaram o comportamento reológico da polpa de noni (*Morinda citrifolia* L.) integral e concentrada (30 e 50 °Brix) e mostraram valores para índice de comportamento do fluido menores que um ($n < 1$), sendo caracterizadas, portanto, como fluidos não newtonianos com comportamento pseudoplástico. Feitosa et al. (2015) avaliaram a influência da temperatura na viscosidade aparente da polpa da murta e concluíram que a polpa integral foi classificada como fluido não newtoniano e pseudoplástico.

Ferreira, Queiroz e Gasparetto (2002) estudaram o efeito da temperatura no comportamento reológico de polpas de caju e goiaba, considerando as temperaturas de 10 à 60 °C. Pelegrine et al. (2002), estudando a viscosidade aparente das polpas de manga Keitt, e abacaxi Pérola, perceberam que todas as polpas demonstraram perfil pseudoplástico, bem como, Vidal, Pelegrine e Gasparetto (2004) que estudaram o efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga, observaram que a medida que a temperatura aumentava, havia o aumento do índice de comportamento e uma diminuição no índice de consistência, ou seja, as polpas perdiam pseudoplasticidade e ficavam menos viscosas com o aumento da temperatura. Azoubel et al. (2005) verificaram efeito da concentração sobre as propriedades físicas de suco de caju e perceberam que as propriedades físicas dependem diretamente da concentração, havendo um aumento da viscosidade à medida que ocorreu um aumento do teor de sólidos solúveis, nesse estudo, foi percebido um comportamento não newtoniano com características pseudoplásticas e tantos outros autores que demonstram a importância dessa ciência e desse conhecimento para a indústria de alimentos.

2.4. Conservação de alimentos

Desde os primórdios o homem utilizava o fogo como método de conservação. Com a evolução, o sal foi inserido como condimento, melhorando a palatabilidade, como também realizando a fermentação dos produtos de origem vegetal e animal (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

A forma de consumo do alimento era bem rudimentar, sendo necessário o armazenamento, uma vez que um dos principais métodos de procurar alimentos era a caça. O homem primitivo começou a estocar o resto de alimentos que não eram consumidos, na parte mais fria e escura da caverna onde as temperaturas eram mais amenas, diminuindo a atividade microbiológica, retardando e inibindo as reações químicas de deterioração natural (DIONYSIO; MEIRELLES, 2003).

A conservação de alimentos tem por objetivo proporcionar uma maior vida útil aos alimentos, diminuindo a atividade microbiana, química, física e enzimática, e manter as qualidades sensoriais (aroma, sabor e textura) e

nutritiva. O desenvolvimento dos microrganismos acontece em ambientes nutritivos e que tenha condições favoráveis como a temperatura, umidade, oxigênio, entre outras. Sendo assim a conservação se dá em eliminar total ou parcial o que os micro organismo precisam para se desenvolver de modo que o ambiente não permita o crescimento do mesmo (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

A secagem é um método de conservação que possibilita a mudança do estado da água ou a redução da atividade de água por evaporação ou sublimação reduzindo disponibilidade dos alimentos as reações químicas, físicas e enzimáticas, favorecendo o processo de comercialização, distribuição e estocagem.

3.4.1. Irradiação de alimentos

A irradiação de alimentos é um processo físico de tratamento que consiste em submeter o alimento, já embalado ou a granel, a doses controladas de radiação ionizante, com finalidades sanitárias, fitosanitárias e tecnológicas. O processo envolve a exposição do alimento a energia ionizante de raios gama, raios X ou feixe de elétrons e é realizado em uma sala ou em câmara especial de processamento por um tempo determinado. A energia envolvida na irradiação é insuficiente para alterar os núcleos atômicos do material irradiado e, como esse último não entra em contato com a fonte radioativa, o alimento não se torna radioativo (VITAL, 2000). O assunto irradiação gera certa desconfiança na maioria das pessoas, pois há o receio de que o alimento ficará radioativo, mas este processo nada mais é do que um método físico de conservação capaz de prolongar a vida útil dos alimentos e não apresenta qualquer risco de contaminação por radiação, pois os produtos a serem preservados não entram em contato direto com a fonte de irradiação. Desta forma, há uma preservação da qualidade sem alterar o sabor, a aparência ou o aroma dos alimentos (LEONARDI; AZEVEDO, 2018).

A Food Agriculture Organization (FAO), Organização Mundial de Saúde (OMS) e a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) concluíram em um relatório elaborado em 1981 que a irradiação de alimentos até a dosagem de 10 kGy não resulta em danos toxicológicos e não oferece riscos (FARKAS;

MOHÁCSI-FARKAS, 2011). Mais de 50 países já aprovaram por volta de 60 gêneros alimentícios a ser irradiado para o consumo local e/ou para exportação, e aproximadamente 40 países estão usando a irradiação de alimentos (KUME et al., 2009). A energia gama do Cobalto 60 pode penetrar no alimento causando pequenas e inofensivas mudanças moleculares que também ocorrem no ato de cozinhar, enlatar ou congelar (MOURA et al., 2014).

3.4.2. Secagem de alimentos

O principal causador da deterioração de um alimento é a atividade de água que permite o desenvolvimento de algumas reações microbianas, químicas ou enzimáticas, entretanto com a diminuição dessa água favorece diminuir os riscos, pois quanto menor a umidade, maior a conservação do produto, não deixando se perder características importantes como a maciez e consistência, mantendo um produto seco e de qualidade (CELESTINO, 2010).

Uma das principais vantagens de utilização da secagem é que por conta da retirada parcial da água o produto reduz seu peso, e, conseqüentemente, diminui o custo de transporte e armazenamento, em relação a outros produtos (CORNEJO; NOGUEIRA; WILBERG ,2003).

O processo de secagem utiliza ar quente ou transferência de calor para o alimento sendo uma operação por meio da qual a água ou qualquer outro líquido é removido de um material. O alimento desidratado é nutritivo, apesar das possíveis perdas de alguns nutrientes, e a conseqüente evaporação da água contida nesse, o valor alimentício do produto é concentrado por causa da perda da água (CELESTINO, 2010).

3.4.2.1. Liofilização

Os produtos liofilizados tornaram-se comuns existindo grande variedade de alimentos, antibióticos, anticoagulantes, entre outros. Na área de alimentos, podem ser citados diversos exemplos os quais passam por esse processo, que durante a segunda guerra ganhou impulso no seu desenvolvimento, aumentando o estudo sobre o processamento e condições do alimento liofilizado (TERRONI et al., 2013).

O processo de liofilização se dá quando a substância passa pelo processo de sublimação, e, posteriormente, por dessorção de maneira que as reações químicas e biológicas não aconteçam (MARQUES, 2008).

A liofilização consiste em diminuir ao máximo a disponibilidade da atividade de água do alimento, dessa forma dificultado o crescimento de microrganismo. Nos alimentos, a liofilização oferece maior tempo de prateleira do produto, com poucas alterações, tanto no aspecto nutricional como sensorial, uma vez que cerca de 80% dos compostos voláteis e aroma são retidos (EVANGELISTA, 2008; FELLOWS, 2008; MARQUES, 2008; CLEEF et al., 2010).

A liofilização é reconhecida como o melhor método para a produção de produtos desidratados com alta qualidade, possuindo uma diversidade de vantagens para a conservação de materiais biológicos. A textura do produto liofilizado é porosa podendo ser reconstituída a sua forma original e tamanho quando colocado no seu solvente de origem. Uma interessante demonstração das sutilezas entre a relação do material com a água é que mesmo sendo um processo de não-equilíbrio, que está sobre controle cinético, envolve o estado vítreo, ao invés do equilíbrio termodinâmico de fases (FRANKS, 1993).

A textura dos alimentos liofilizados é mantida sem alteração e o processo, por usar baixas temperaturas, minimiza as reações de perdas no sabor e aroma da espécie por volatilidade (FELLOWS, 2008).

3.4.3. Congelamento

O frio é um dos maiores protagonistas na conservação de alimentos. Para Lino e Lino (2014), a conservação pelo frio é uma das mais utilizadas no cotidiano da população. Os congelados vêm se tornando cada vez mais frequentes na mesa do brasileiro e a refrigeração, bem como o congelamento, são grandes armas contra a deterioração dos alimentos e conseqüente desperdício. Conforme Colla e Prentice-Hernández (2003), o uso do congelamento para a preservação de alimentos data dos tempos pré-históricos. O homem primitivo observava que em temperaturas baixas os alimentos perecíveis podiam ser mantidos quase indefinidamente e com a mesma qualidade durante o tempo em que permaneciam congelados. Ainda conforme

esses autores, durante o congelamento, a flora de microrganismos presente diminui consideravelmente, podendo aumentar se a operação de descongelamento não for realizada corretamente. Esse processo possui três etapas que merecem a atenção do profissional em alimentos: o congelamento propriamente dito, a estocagem e o descongelamento (COLLA; PRENTICE-HERNÁNDEZ, 2003).

Lino e Lino (2014) explicam que durante o congelamento ocorre a formação de gelo necessitando de temperaturas mais baixas e conservadas por períodos longos. Para o congelamento ser eficiente é necessário temperaturas inferiores à $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Existem microrganismos que ainda crescem a temperaturas de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ o que acarreta um perigo para o congelamento mal monitorado. Todavia, em temperaturas entre $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou inferiores ocorre a inibição total de microrganismos. Durante o congelamento, além da baixa temperatura, a formação do gelo diminui a quantidade de água do produto, o que também impede o crescimento de microrganismos, preservando dessa forma, os alimentos por meses ou até anos.

De acordo com Fellows (2008) e Roça (1999), os principais processos de congelamento de alimentos são congelamento com ar imóvel, congelamento em placas, com circulação forçada de ar, congelamento por imersão ou aspensão de líquidos e congelamento criogênico

Colla e Prentice-Hernández (2003) recomendam o congelamento rápido para uma melhor qualidade dos produtos, uma vez que ocasiona a formação de pequenos cristais de gelo, especialmente no meio intracelular. Nos alimentos, a formação de cristais de gelo intracelularmente é benéfica, pois, as células não se desidratam e não há rompimento de membranas. Esse fato, associado a um descongelamento lento, proporciona uma maior garantia da qualidade ao produto final.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAM KHAN, K.; ABRAHEM, M. Effect of irradiation on quality of spices. **International Food Research Journal**, v.17, p. 825-836, 2010.

ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. **Métodos para medir propiedades físicas em indústrias de alimentos**. Zaragoza: ACRIBIA S.A., 2001.

ANJOS, R. A.; CALDEIRA, S. R. D. M.; GROSSI, E. C. Avaliação físico química de polpas de frutas produzidas pela Copabase/Arinos-MG. In: Seminário de Iniciação Científica do IFNMG, 16, **Anais...** Almenara, MG, 2017.

AZOUBEL, P. M.; CIPRIANI, D. C.; EL-AOUAR, A. A.; ANTONIO, G. C.; MURR, F. E. X. Effect of concentration on the physical properties of cashew juice. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 413-417, 2005.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 1**, de 7 de janeiro de 2000. Brasília: 2000. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>> Acesso em: 18 jan. 2019.

CALDAS, Z. T. C.; ARAÚJO, F. M. C.; MACHADO, A. V.; ALMEIDA, A. K. L.; ALVES, F. M. S. Investigação de qualidade das polpas de frutas congeladas comercializadas nos esta dos da Paraíba e Rio Grande do Norte. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 4, p.156-163, 2010.

CANUTO M. P.; AFONSO M. R. A.; COSTA J. M. C. Hygroscopic behavior of freeze-dried papaya pulp powder with maltodextrin Holivania. **Acta Scientiarum Technology**, v. 36, n. 1, p. 179-185, 2014.

CARVALHO, A. V.; MATTIETTO, R. A.; BECKMAN, J. C. Estudo da estabilidade de polpas de frutas tropicais mistas congeladas utilizadas na formulação de bebidas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 1-9, 2017.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. 51p. (Embrapa Cerrados, Documentos, 276).

CHAVES FLORES, W. B.; CLEMENTE, C. R. Considerações sobre o araçá-boi (*Eugenia stipitata* McVaugh) na Amazônia Brasileira. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura. **Anais...** Florianópolis: SBF, 1984. p.167-177

COLLA, L. M.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. Congelamento e descongelamento. **Revista Vetor**, v. 13, p. 53-66, 2003.

CORNEJO, F. E. P; NOGUEIRA, R. J; WILBERG, V. C; **Secagem como método de conservação de frutas**. Rio de Janeiro, RJ. 2003.14p. (Embrapa Agroindústria de Alimentos).

DIONYSIO, R. B.; MEIRELLES, F. V. P. **Conservação dos alimentos**. Sala de Leitura. ED CED-PUC, 2003.

FARKAS, J. Irradiation for better foods. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v.17, n.4, p.148-152, 2006.

FELLOWS, P. **Food processing technology**. Boca Raton: CRC Press, 2008.

FERREIRA, G. M.; QUEIROZ, A. J. de M.; GASPARETTO, R. S. C. C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 176 -184, 2002.

FEITOSA, R. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M.; SOUZA, E. P.; SILVA, V. M. Viscosidade aparente da polpa de murta integral em diferentes temperaturas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 235-243, 2015.

FRANZON, R. C.; CAMPOS, L. Z. O.; PROENÇA, C. E. B.; SILVA, J. C. S. **Araçás do gênero *Psidium*: principais espécies, ocorrência, descrição e usos**. Embrapa Cerrados, Planaltina, v. 1, p. 11-41, 2009.

HORA, G. B.; MATTOSINHO, C. M. S.; SILVA, I, J. Custos logísticos de transporte relacionados ao escoamento da uva de mesa cultivada na região do Submédio São Francisco. In: Congresso Brasileiro de Custos, 18. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ, 2011.

KUME, T.; FURUTA, M.; TODIRIKI, S.; VENOYAMA, N.; KOBAYASHI, Y. Status of food irradiation in the world. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 78, n. 3, p. 222-229. 2009.

LINO, G. C. L.; LINO, T. H. L. **Congelamento e refrigeração**. Londrina: 2014. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/lopesvieira/operacoes-unitarias/trabalhos/turma-2013-2/refrigeracao-e-congelamento/refrigeracao%20e%20congelamento.pdf/at_download/file>. Acesso em: 15 jan. 2019.

LEONARDI, J. G.; AZEVEDO, B. M. Métodos de conservação de alimentos. **Revista Saúde em Foco**, v. 10, n. 1, P. 51-61, 2018.

MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; LIMA, A. S. **Processamento de sucos de frutas tropicais**. Fortaleza: Edições UFC, 2007. 320 p.

MARQUES, L. G. **Liofilização de frutas tropicais**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos – SP, 2008.

MATTA, V. M.; JUNIOR FREIRE, M.; CABRAL, L. M. C.; FURTADO, A. A. L. **Polpa de fruta congelada**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília-DF. 2005.

MIRANDA, R. F. SANTOS, J. J.; COSTA, H. R. D.; BARBOSA, E. A.; CARDOSO, D.C. Qualidade microbiológica de polpas de frutas comercializadas em Salinas e região. In: Seminário de Iniciação Científica, 2016, Montes Claros. **Anais...** Montes Claros-MG. 2016. CD-Rom.

MOSQUERA, L. H.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Mechanical changes in freeze-dried strawberry powder as affected by water activity, glass transition and carbohydrate polymers addition. **Journal of Food Engineering**. v.97. 2010.

MOURA, N. C.; SOUZA, I. S.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; ARTHUR, V.; DIAS, C. T. S. Fatty acid profile in bread with flaxseed and exposed ionizing radiation with ⁶⁰CO. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, n. 2, p. 9-19, 2014.

NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 153, n. 1, p. 375- 380, 1944.

OIKONOMOPOULOU, V. P.; KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T. The influence of freeze-drying conditions on microstructural changes of food products. **Procedia Food Science**, v. 1, p. 647-654, 2011.

OLIVEIRA, D. M.; CLEMENTE, E.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior and degree of caking of grugru palm (*Acrocomia aculeata*) powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 1, p. 1-7, 2012.

OLIVEIRA, R. C.; ROSSI, R. M.; BARROS, S. T. D. Estudo reológico da polpa de morango (*Fragaria vesca*) em diferentes temperaturas. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 34, n. 3, p. 283-288, 2012.

ORDOÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005.

PELEGRINE, D. H.; VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 1, p. 128-131, 2000.

QUEIROZ, A. J. de M.; VIDAL, J. R. M.; GASPARETTO, C. A. Armazenamento e processamento de produtos agrícolas: Influência de diferentes teores de sólidos insolúveis suspensos nas características reológicas de sucos de abacaxi naturais e despectinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p.75-79, 2000.

ROÇA, R. O. **Tecnologia da carne e produtos derivados**. Botucatu: UNESP, 1999.

SACRAMENTO, C. K.; BARRETTO, W. S.; FARIA, J. C. Araçá-boi: uma alternativa para agroindústria. **Bahia Agrícola**, v. 8, n. 2, p. 1-3, 2008.

SALGADO, S. M.; GUERRA, N. B.; MELO FILHO, A. B. Polpa de fruta congelada: efeito do processamento sobre o conteúdo de fibra alimentar, **Revista de Nutrição**, v. 12, n. 3, p. 303-308, 1999.

SANTOS, V. A. dos; RAMOS, J. D.; TOSTES, N. V.; SILVA, F. O. R.; ALMEIDA, L. G. F. de. Caracterização física e química de frutos de araçá-boi (*Eugenia stipitata* McVAugh) EM LAVRAS – MG. **Enciclopédia Biosfera**, v. 26, n. 14, p.167-180, 2017.

SANTANA, J. A.; ROCHA, R. S. P.; PORTO, B. C.; NASCIMENTO, J. S.; COUTINHO, J. P.; CARDOZO, R. M. D. Análise das propriedades físico-químicas de polpas de frutas: potencialidades na comercialização com alto valor agregado. In.: XVII SIC – Seminário de Iniciação Científica do IFNMG. **Anais...** Araçuaí, MG, 2018.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Mercado de fruticultura: Panorama do setor no Brasil**. Boletim de Inteligência. Boletim de Inteligência, Florianópolis: 2015. Disponível em: <<http://www.sebraemercados.com.br/wp-content/uploads/2015/11/Panorama-do-mercado-de-fruticultura-no-Brasil.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SOUSA, S. F.; QUEIROZ, A. J. de M.; FIGUEIREDO, R. M. F. de; SILVA, F. B. Comportamento reológico das polpas de noni integral e concentradas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 1-10, 2017 .

TERRONI, H. C.; JESUS, J. M. de; ARTUZO, L. T.; VENTURA, L. V.; SANTOS, R. F.; DAMY-BENEDETTI, P. de C. Liofilização. **Revista Científica UNILAGO**, v. 1, n. 1, p. 271-284, 2013.

VASCONCELOS, M. A. S.; MELO FILHO, A. B. **Conservação dos alimentos**. Programa Escola Técnica Aberta do Brasil (ETEC – Brasil). Recife: EDUFRPE, 2010, 130p.

VENDRÚSCOLO, A. T. **Comportamento reológico e estabilidade física de polpa de carambola** (*Averrhoa carambola* L.). 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2005.

VIANA, E. de S., JESUS, J. L. de; REIS, R. C.; FONSECA, M. D.; SACRAMENTO, C. K. do. Caracterização físico-química e sensorial de geleia de mamão com araçá-boi. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 4, p. 1154-1164, 2012.

VIDAL, J. R. B.; PELEGRINE, D. H.; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*Mangífera indica* L Keitt). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 39-42, 2004.

VIRGOLIN, L. B.; SEIXAS, F. R. F.; JANZANTTI, N. S. Composition, content of bioactive compounds, and antioxidant activity of fruit pulps from the Brazilian Amazon biome. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 10, p. 933-941, 2017.

VITAL, H. C. **Apostila do Curso de Especialização em Irradiação de Alimentos**. Universidade Federal Fluminense. 2000. 4 p. (Manuscrito).

ARTIGO I

**AVALIAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E DOS
COMPOSTOS BIOATIVOS DE POLPAS DE ARAÇÁ-BOI SUBMETIDAS À
IRRADIAÇÃO GAMA**

AVALIAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DE POLPAS DE ARAÇÁ-BOI SUBMETIDAS À IRRADIAÇÃO GAMA

RESUMO: O araçá-boi é uma espécie frutífera da família *Myrtaceae* e que vem sendo cultivada no sul da Bahia na década de oitenta, como alternativa de diversificação da lavoura cacaueteira. Ele ainda é pouco comercializado, porém está aumentando a procura por esse e outros frutos tropicais, o que demanda o estudo de diferentes formas de preservação. A agroindústria de polpa de frutas tem despertado o interesse para o estudo de diferentes formas de preservação de alimentos devido à crescente demanda dos consumidores por produtos naturais e que possuam longo período de vida útil, aliado à crescente procura por frutas tropicais no mercado interno e externo, podendo-se enquadrar nesse contexto a polpa do fruto do araçá-boi. A Irradiação Gama é um método de conservação não térmico, o qual proporciona durabilidade muitas vezes maior do que a pasteurização, visto que não influencia na aparência e na composição do alimento. Objetivou-se neste trabalho avaliar a qualidade e microbiológica, físico-química e dos compostos bioativos da polpa de araçá-boi submetida à Irradiação Gama (60 Co). A irradiação da polpa de araçá-boi foi realizada no Laboratório de Irradiação Gama do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), localizado na UFPE – Recife, PE. Onde foram aplicadas três doses de Irradiação Gama (2, 3, 4 kGy) para posterior comparação com a amostra não irradiada (controle). Após a irradiação foram avaliados os parâmetros microbiológicos, físico-químicos e a quantificação de vitamina C e flavonoides. Pode-se concluir que as diferentes, doses de Irradiação gama garantiu a qualidade microbiológica da polpa de araçá-boi, mantendo-se apta ao consumo e em conformidade com o que determina a legislação.

PALAVRAS-CHAVE: processamento não térmico; compostos bioativos; vitamina C; vida de prateleira

PHYSICAL-CHEMICAL, MICROBIOLOGICAL AND BIOACTIVE COMPOUNDS OF ARAÇÁ-BOI (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) POLYESTERS SUBMITTED TO RANGE IRRADIATION

ABSTRACT: The pomacian tree (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) is a fruit of the *Mirtacea* family that has been cultivated in the south of Bahia in the eighties and has been cultivated commercially in some orchards of the region, as an alternative of cacao crop diversification. fruit pulp has aroused interest in the study of different forms of food preservation due to the growing demand of consumers for natural products with a long shelf life, coupled with the growing demand for tropical fruits in the domestic and external market, the pulp of the “araçá-boi” fruit should be included in this context. Gamma irradiation is a non-thermal conservation method, which provides durability many times longer than pasteurization, as it does not influence the appearance and composition of the food. The irradiation of Araçá-boi pulp was carried out in the gamma irradiation laboratory of the Nuclear Technology Development Center (CDTN), located at UFPE - Recife, PE. (3, 4 kGy) for comparison with the non-irradiated sample (control). After irradiation, the microbiological, physical-chemical and quantification of vitamin C and flavonoids were evaluated. It can be concluded that the different doses of gamma irradiation guaranteed the microbiological quality of the arapa pulp, keeping fit for consumption and in accordance with what determines the legislation.

KEYWORDS: non-thermal processing; bioactive compounds; Vitamin C; shelf life

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia maior bioma brasileiro, é constituída por frutas com características sensoriais únicas e elevada concentração de nutrientes. Espécies frutíferas como abiu (*Pouteria caimito*), achachairu (*Garcinia humilis*), araçá-boi (*Eugenia stipitata*), biri-biri (*Averrhoa bilimbi*) e mangostão-amarelo (*Garcinia xanthochymus*), de sabor característico muito apreciado pelos consumidores locais (VIRGOLIN; SEIXAS; JANZANTTI, 2017).

O araçá-boi é uma frutífera da família *Myrtaceae* originada da Amazônia peruana, usualmente cultivada no Brasil, Peru e Bolívia. No Brasil, a mesma faz parte espécies nativas e cultivadas no Bioma Amazônia de sabor característico muito apreciado pela população local. No Nordeste, esse fruto foi introduzido no sul da Bahia na década de oitenta e vem sendo cultivado comercialmente em alguns pomares da região, como alternativa de diversificação da lavoura cacaueteira, no entanto, não sendo explorado comercialmente por serem decorrentes de atividade extrativista, prevalecendo a escassez ou mesmo a ausência de dados técnico-científicos, fazendo com que as mesmas tenham pouca inserção junto ao mercado consumidor nacional e internacional de maior poder aquisitivo (SACRAMENTO; BARRETO; FARIA, 2008).

Os pequenos frutos apresentam baixa conservação pós-colheita, devido às altas taxas respiratórias e de perda de água durante o armazenamento. O conhecimento da fisiologia do araçá-boi e da tecnologia pós-colheita de processamento e conservação é de grande importância para que se tenham subsídios técnicos que visem à ampliação do seu tempo de armazenamento.

O processamento do araçá-boi, para obtenção de polpas é uma atividade agroindustrial de preservação, no qual permite manter as polpas congeladas por um tempo de vida útil prologado atendendo as demandas de mercado de maneira eficiente. Porém, para garantir a qualidade necessita avaliar melhor os aspectos físicos, químicos, microbiológicos, nutricionais e sensoriais, já que a polpa apresenta alta perecibilidade.

Métodos de conservação que não utilizam altas temperaturas, por exemplo, os que fornecem a capacidade de ionização, capazes de quebrar

ligações químicas quando absorvidos pelos materiais, já estão sendo utilizado em frutas para controle de fungos, aumento de vida de prateleiras.

A Irradiação Gama é um método de conservação não térmico, que proporciona durabilidade muitas vezes maior do que a pasteurização, por não influenciar na aparência e na composição do alimento (FARKAS, 2006). A Food Agriculture Organization (FAO), Organização Mundial de Saúde (OMS) e a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) concluíram em um relatório elaborado em 1981 que a irradiação de alimentos até a dosagem de 10 kGy não resulta em danos toxicológicos e nem oferece riscos radioativos (FARKAS; MOHÁCSI-FARKAS, 2011). Mais de 50 países já aprovaram por volta de 60 gêneros alimentícios a ser irradiado para o consumo local e/ou para exportação, e aproximadamente 40 países estão usando a irradiação de alimentos (KUME, 2009).

A radiação ionizante é um processo comprovadamente seguro e tem sido avaliado em muitas aplicações. Em função da dose aplicada no alimento, observou-se melhoria na qualidade microbiológica do produto, resultando na redução de perdas no armazenamento e prolongamento da vida útil (ALAM KHAN; ABRAHEM, 2010).

Diante disso, objetivou-se neste trabalho avaliar a qualidade e microbiológica, físico-química e dos compostos bioativos da polpa de araçá-boi submetida à Irradiação Gama (60 Co).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Obtenção e preparo da matéria-prima

Os frutos de araçá-boi foram adquiridos da Fazenda Amizade, Vila Brasil em Una, estado da Bahia, selecionados quanto ao estágio de maturação e utilizados apenas os que se enquadraram dentro dos padrões estabelecidos para comercialização. A colheita manual foi efetuada no período da manhã, com a utilização de boas práticas agrícolas. Os mesmos foram acondicionados em caixas térmicas e transportados para o Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) para a obtenção da polpa.

2.2. Processamento

A obtenção da polpa de araçá-boi foi realizada no LAPP da UFCG, em Campina Grande, PB. Os frutos foram selecionados, lavados e despulpados, com o auxílio de uma despulpadeira horizontal com uma peneira de 0,8 mm de diâmetro.

2.3. Aplicação da Irradiação Gama

A irradiação da polpa de araçá-boi foi realizada no Laboratório de Irradiação Gama do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), localizado na UFPE, em Recife, PE. O laboratório conta com uma câmara que utiliza como fonte de irradiação o Cobalto 60 que mantém um padrão de segurança internacional para operação de irradiadores. As polpas foram acondicionadas em embalagens de polietileno e congeladas à -18 °C, tendo sido transportadas em caixas térmicas e etiquetadas e conduzidas do LAPP da UFCG até o Laboratório de Metrologia da UFPE. As amostras foram divididas e receberam diferentes doses de Irradiação Gama (2, 3, 4 kGy) para posterior comparação com a amostra não irradiada (controle).

2.4. Avaliação dos parâmetros de qualidade da polpa após irradiação

Após aplicação da Irradiação Gama, a polpa foi encaminhada para o LAPP da UFCG, para serem caracterizadas quanto aos parâmetros a seguir:

2.4.1. Físicos

A cor da polpa irradiada foi determinada em colorímetro HunterLab. Os valores de cor foram expressos de acordo com o sistema de coordenadas CIELAB, onde as variáveis L* (luminosidade), a* (componente vermelho-verde) e b* (componente amarelo-azul) foram utilizadas para o cálculo da tonalidade cromática (h_o) e saturação da cor (C*).

2.4.2. Físico-químicos

Foram analisadas os parâmetros teor de sólidos solúveis (^oBrix), pH, acidez total titulável (ATT) e relação SS/ATT (ratio) de acordo com o IAL (2005).

2.4.3. Compostos bioativos

As análises dos compostos bioativos foram efetuadas no LAPP da UFCG descritos a seguir.

2.4.3.1. Ácido ascórbico

A determinação do conteúdo de ácido ascórbico das polpas das frutas foi baseada na oxidação desse ácido pelo reagente 2,6-diclorofenolindofenol (BENASSI; ANTUNES, 1988; AOAC, 2010). Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa.

2.4.3.2. Flavonoides amarelos

Os flavonoides amarelos das polpas foram avaliados segundo metodologia descrita por Francis (1982) baseada na extração dos mesmos com etanol (95%) e HCl 1,5 M (85:15, v:v).

A leitura da absorvância foi realizada em espectrofotômetro, sendo o conteúdo de flavonoides amarelos expressos em 100 g de polpa como descrito por Silva et al. (2014).

2.4. Microbiologia

As avaliações microbiológicas foram realizadas segundo os padrões preconizados pela legislação brasileira para polpas de frutas in natura e sucos de frutas, a qual se refere às determinações de coliformes e *Salmonella*. Para melhor avaliação das condições de higiene no processamento, foram

realizadas as contagens de bolores e leveduras, a contagem total padrão em placas e a contagem total de bactéria psicotrópica (APHA, 2001).

2.5. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e, com base na significância do teste F, análise de regressão polinomial para testar o efeito das doses de Irradiação Gama, testando-se até nível quadrático, considerou-se a significância de até 5% de probabilidade e coeficiente de determinação (R²) acima de 60%. Utilizou-se o software SAS 9.3 (2011). Realizou-se ainda análise de agrupamento hierárquico, utilizando-se o software JMP® 10.0.0 DEMO, através do método Ward's, para representar a similaridade das doses de irradiação com relação a todas as características de qualidade dos frutos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A contaminação microbiológica de polpas de frutas pode ocorrer durante o processamento e seu acondicionamento. De acordo com os resultados da análise microbiológica da polpa de araçá-boi irradiada (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros microbiológicos de frutos de araçá-boi após tratamentos com diferentes doses de Irradiação Gama

Irradiação Gama (kGy)	Coliformes à 35 °C (NMP/mL)*	Coliformes à 45 °C (NMP/mL)*	<i>Salmonella</i> spp. (25 g)**	Fungos filamentosos e leveduras (log UFC/g)***
0	<3	<3	Ausente	<1x10 ¹
2	<3	<3	Ausente	<1x10 ¹
4	<3	<3	Ausente	<1x10 ¹
6	<3	<3	Ausente	<1x10 ¹
Padrão	10 ²	10 ²	Ausente	2x10 ³

*Número Mais Provável; **Ausência em 25 g da amostra; ***Unidade Formadora de Colônia

Pôde-se verificar que não houve desenvolvimento de microrganismo após a irradiação, em todos os tratamentos analisados, estando compatível com os padrões exigidos pela legislação brasileira, ou seja, ausência de *Salmonella* e a contagem de coliformes de 35 à 45 °C foi sempre menor que 3 (NMP), independente da dose aplicada. Além da ausência de contaminação por *Staphylococcus coagulase positiva*. Embora a RDC nº 12, de 02 de Janeiro de 2001 (ANVISA) não estabeleça valor limite, a presença desses microrganismos poderia demonstrar deficiência no processamento e na manipulação na hora da elaboração do produto estudado.

Verificou-se, ainda, uma contagem de $<1 \times 10^1$ UFC/g para bolores de leveduras, para ambos os tratamentos, estando dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente para alimentos em geral, que é de até 10^4 UFC/g. A ausência de bactérias em determinados alimentos pode decorrer de condições que desfavorecem sua sobrevivência, como baixo pH, condições de armazenamento ou pelo tratamento de conservação aplicado.

A irradiação causa uma variedade de efeitos físicos e bioquímicos nos microrganismos. Uma vez absorvida por um material biológico, a radiação ionizante pode ter ação direta ou indireta sobre o produto que recebeu este processo (FANARO, 2013). Na primeira ação, ocorre à ionização de moléculas de ácido nucleico e a partir disso, ocorrem mudanças biológicas que podem levar a morte celular (ALCARDE et al., 2003). A sensibilidade das macromoléculas pela radiação é aproximadamente proporcional a sua massa molar, sendo que uma dose de 100 Gy danificaria 2,8% do DNA de uma célula bacteriana, podendo essa faixa ser letal para uma ampla fração de organismos vivos, principalmente os complexos. Essas considerações explicam a razão pela qual uma determinada dose por ter um efeito letal aos microrganismos sem alterar (ou pouca alteração) a composição química do alimento irradiado (AQUINO, 2003). Esses resultados são indicativos de que a Irradiação Gama pode ser eficaz para inibir alguns microrganismos, como observado por Ahari Mostafavi et al. (2013), os quais mostraram que uma dose de 600 Gy era eficaz para alcançar a inibição completa de *Penicillium expansum*. Silva et al. (2014) ao avaliarem os efeitos da dose de Irradiação Gama na conservação da qualidade da polpa de amora-preta (*Rubus spp. L.*) concluíram que a dose de

1,5 kGy garantiu qualidade microbiológica por mais tempo de vida de prateleira, ou seja, 60 dias de armazenamento sob refrigeração.

Tezotto-Uliana et al. (2013) avaliaram a eficiência da Irradiação Gama associada ao armazenamento refrigerado na framboesa *in natura*. Neste trabalho, utilizou-se a dose de 0,5; 1,0 e 2,0 kGy, e a temperatura de armazenamento de 0 °C. Verificou-se o efeito sinérgico do armazenamento à frio com a irradiação que possibilitou o prolongamento da vida útil da framboesa em 8 dias. Youssef et al. (2011) avaliaram o efeito da Irradiação Gama em suco de tomate e constataram que a dose de irradiação de 3,0 kGy foi a que melhor garantiu a segurança microbiológica e prolongou a vida de prateleira do produto.

Os valores de luminosidade estão expressos na Figura 1. Foi observado que os valores de L^* variaram de 51,40 a 53,14 com o aumento das doses de irradiação, indicando uma tendência de polpa de araçá-boi mais clara.

A coordenada a^* indica a intensidade do vermelho ao verde (valores positivos são tons de vermelho, e valores negativos, tons de verde) e a coordenada b^* indica a intensidade do amarelo ao azul (valores positivos são tons de amarelo, e valores negativos, tons de azul).

Verificou-se valores positivos para as coordenadas a^* e b^* , indicando tendência para tonalidades de vermelho e amarelo. No entanto pode-se constatar que a média que foi aumentando a dose de irradiação foi elevando os valores da coordenada a^* e b^* , proporcionando um escurecimento gradativo da polpa.

O teor de sólidos solúveis praticamente não se alterou com a aplicação da radiação, (Figura 2A), apresentando valor médio de 4,98 entre a amostra controle e as doses testadas, estando próximo ao valor encontrado no Garzón et al. (2012) os quais reportaram para a polpa de araçá-boi teor de sólidos solúveis de 4,6 °Brix, resultados semelhantes ao do presente estudo. Os dados revelaram que a Irradiação Gama aplicada não interferiu no teor de sólidos solúveis da polpa de araçá-boi, uma vez que o controle sem irradiação teve comportamento semelhante aos demais.

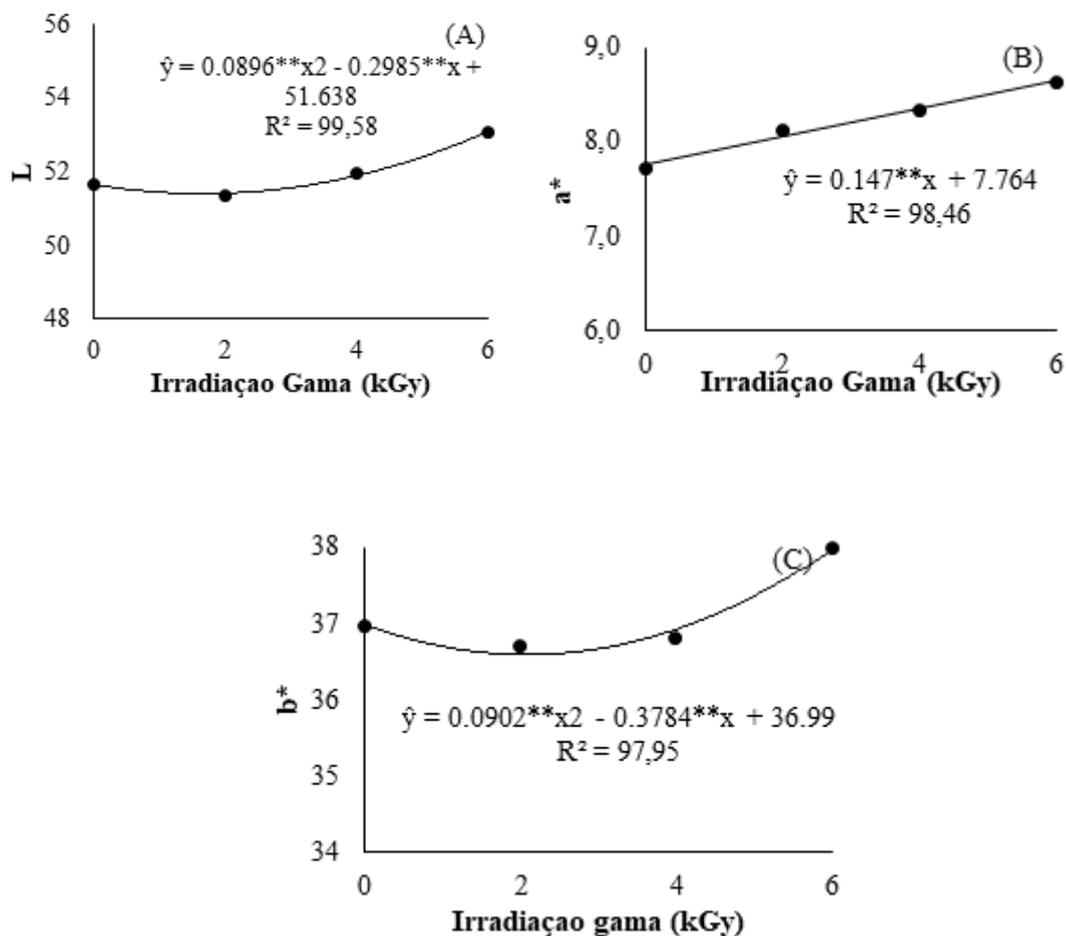


Figura 1. Parâmetros L (A), a* (B) e b* (C) da coloração da polpa de frutos de araçá-boi (*Eugenia stipitata*) submetidos a diferentes doses de Irradiação Gama

Não houve diferença significativa na acidez entre o controle e as amostras irradiadas, (Figura 2B). Porém, ocorreu um aumento nos valores de acidez com a aplicação dos tratamentos, quando comparado com o tratamento controle. Os valores de acidez variaram de 2,78 a 2,87. Enquanto Virgolin, Seixas e Janzanttin (2017) ao avaliarem as características físico-químicas das polpas das frutas de abiu, achachairu, araçá-boi, biri-biri e mangostão-amarelo procedentes do Bioma Amazônia, em diferentes safras, reportaram resultados para o fruto de araçá-boi de acidez de 1,00 a 2,83, nas diferentes safras.

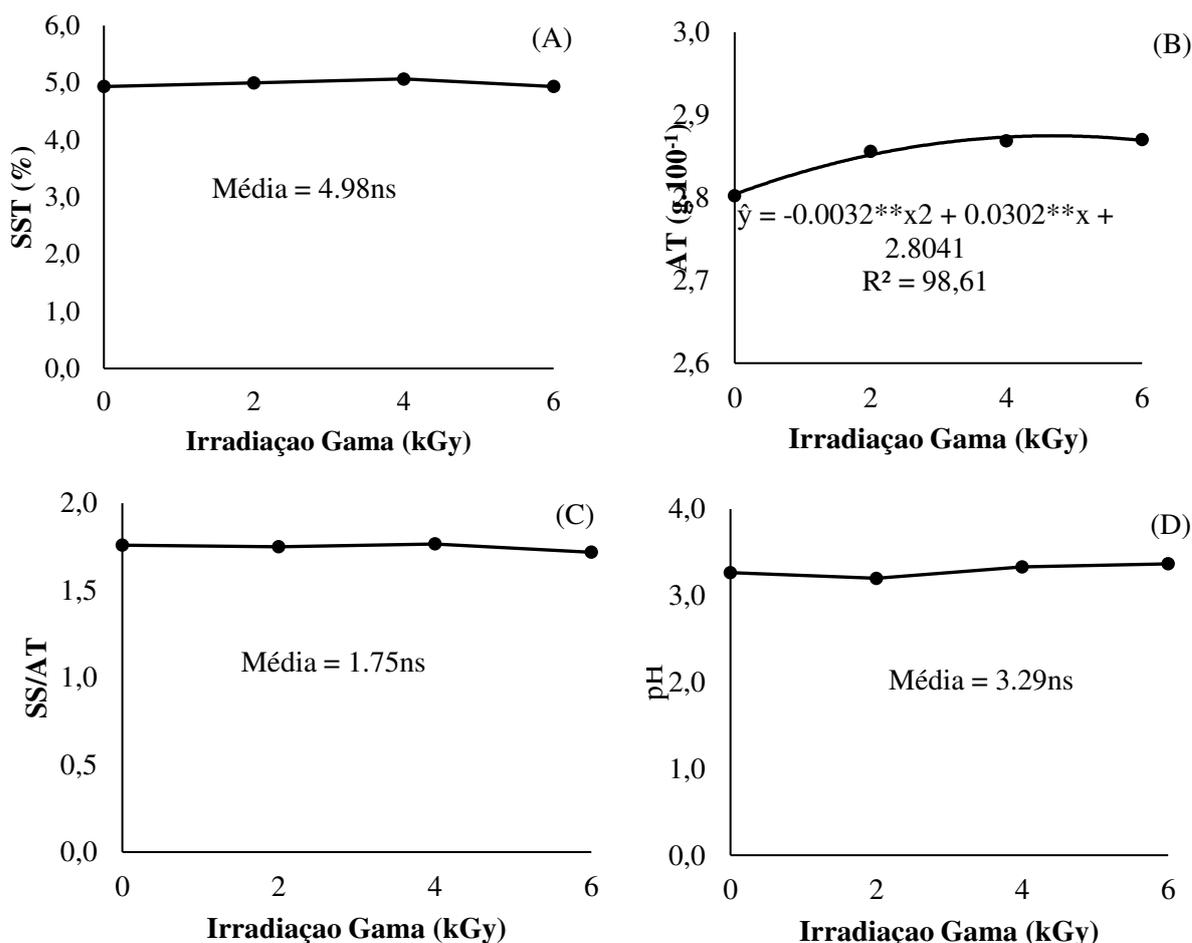


Figura 2. Sólidos solúveis totais (A), acidez titulável (B), relação SS/AT(C) e pH (D) de frutos de araçá-boi (*Eugenia stipitata*) submetidos a diferentes doses de Irradiação Gama

De acordo com Mota (2006), essa diferença na acidez dos frutos pode estar associada às condições edafoclimáticas do cultivo. As diferentes doses de irradiação não influenciaram de forma significativa os valores de pH na polpa de araçá-boi (Figura 2D) sendo observado valor média de 3,29. O mesmo aconteceu no trabalho de Nassur et al. (2016) ao aplicarem doses de 0,0; 0,5; 1,0 e 1,5 KGy, visando o prolongamento da vida útil e manutenção da qualidade de morangos armazenados em sistema refrigerado (0 ± 1 °C e $90 \pm 5\%$ UR) por 15 dias, onde obtiveram valor médio de pH 3,5 e não havendo diferença significativa entre as dosagens de irradiação para que afetassem o pH dos frutos ao longo do armazenamento refrigerado.

Silva (2014) encontrou em polpa de amora-preta irradiada com doses de radiação de 0,75; 1,5 e 3 kGy valores de pH na faixa entre 2,89 e 2,99. Santillo

(2011) verificou que não houve diferença significativa para pH e teor de sólidos solúveis (°Brix) em uvas irradiadas a 0, 0.5, 1, 1.5 e 2 kGy e armazenadas por 21 dias.

Na Figura 3, são apresentados os valores médios da atividade de água das polpas de araçá-boi após a aplicação das doses de irradiação. Em todas as doses testadas, constatou-se valores constantes da atividade de água (A_w), demonstrando que a Irradiação Gama aplicada não interferiu nos valores de A_w da polpa de araçá-boi, uma vez que o controle (sem irradiação) teve comportamento semelhante aos demais.

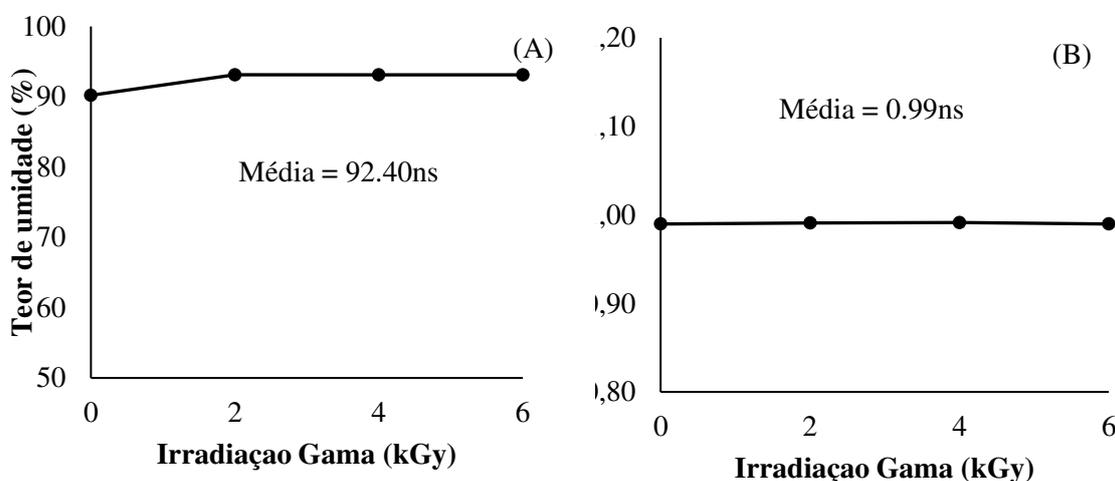


Figura 3. Teor de umidade (A) e atividade água (B) de frutos de araçá-boi (*Eugenia stipitata*) submetidos a diferentes doses de Irradiação Gama

Os valores de flavonoides na polpa de araçá-boi irradiada estão apresentados na Figura 4A. Verificou-se que não ocorreu perda significativa nos valores de flavonoides, no entanto, ocorreu um decréscimo com a aplicação dos tratamentos, quando comparado com o tratamento controle. Esse fato pode ter ocorrido devido à quebra da instabilidade de alguns compostos ativos, quando exposto à luz ultravioleta e visível ou outras fontes de radiação ionizante (IACOBUCCI; SWEENEY, 1983). Resultado semelhante foi encontrado por Virgolin, Seixas e Janzantti (2017) ao avaliarem características físico-químicas das polpas das frutas de abiu, achachairu, araçá-boi, biri-biri e mangostão-amarelo procedentes do Bioma Amazônia, em diferentes safras,

reportando valor médio de 2,21 para os resultados de flavonoides do fruto de araçá-boi em 5 safras diferentes.

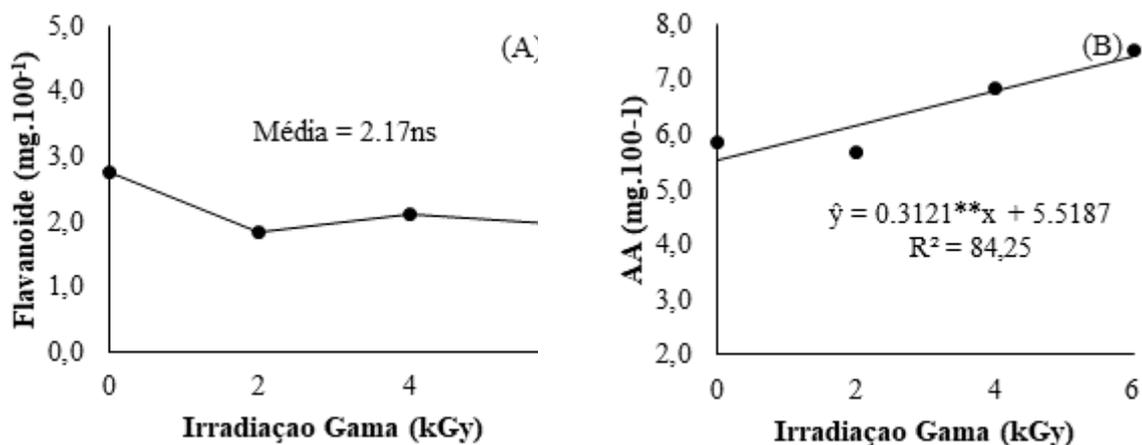


Figura 4. Flavonoides amarelos (A) e ácido ascórbico (B) de frutos de araçá-boi (*Eugenia stipitata*) submetidos a diferentes doses de Irradiação Gama

Os valores encontrados de vitamina C (Figura 4B) para as polpas de araçá-boi foram semelhantes ao identificado por Virgolin, Seixas e Janzantti (2017), os quais encontraram teor médio de 8,30 mg de ácido ascórbico por 100 g em fruta de araçá-boi de diferentes safras. As diferentes doses de irradiação interferiram no teor de vitamina C da polpa.

Pôde-se observar que com o aumento das doses de irradiação, obtiveram maiores resultados de retenção de vitamina C. Este fato pode estar atrelado à desativação enzimática proporcionada pelo aumento das doses de Irradiação Gama.

Baseado no conjunto de características microbiológicas, físico-químicas e de bioativos analisadas, elaborou-se o dendrograma da dissimilaridade, no qual se observa a formação dos grupos distintos que apresentaram algum grau de dissimilaridade (Figura 5).

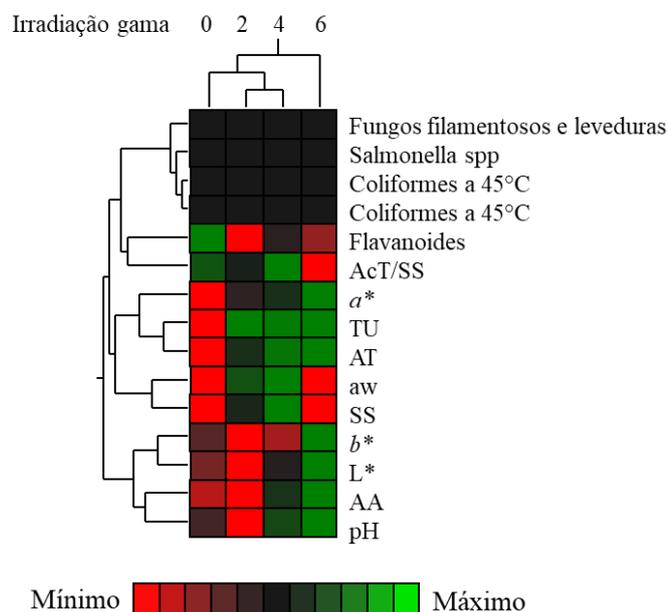


Figura 5. Dendrograma de dissimilaridade para as diferentes doses de Irradiação Gama aplicadas em frutos de araçá-boi (*Eugenia stipitata*)

Pôde-se observar que a dose 6 mostrou características diferenciadas dos demais tratamentos proporcionando maior teor de vitamina C, pH, luminosidade* e atividade de água.

4. CONCLUSÕES

As diferentes, doses de Irradiação Gama garante a qualidade microbiológica da polpa de araçá-boi, mantendo-se apta ao consumo e em conformidade com o que determina a legislação. Mesmo havendo uma redução no teor de flavonoide com as doses testadas, a utilização do tratamento de irradiação é viável para este produto, uma vez que houve manutenção das características físico-químicas e de compostos bioativos em que as diferentes doses de Irradiação Gama não alteraram o pH, teor de sólidos solúveis, acidez titulável, vitamina C da polpa do araçá-boi .

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHARI MOSTAFAVI, H.; MAHYAR MIRMAJLESSI, S.; FATHOLLAHI, H.; SHAHNAZI, S.; MOHAMMAD MIRJALILI, S. Integrated effect of gamma radiation and biocontrol agente on quality parameters of apfle fruit: Na innovative comercial preservation method. **Radiation Physics and Chemistry**. v. 91, p.193-199, 2013.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 18th ed, 3th review, Washington, USA: AOAC, 2010. 1094 p.

ALAM KHAN, K.; ABRAHEM, M. Effect of irradiation on quality of spices. **International Food Research Journal**, v.17, p. 825-836, 2010.

ALCARDE, A. R.; WALDER, J. M. M.; HORII, J. Fermentation of irradiated sugarcane must. **Science Agriculture**, v. 60, p. 677 - 681, 2003.

APHA - American Public Health Association. Committee on Microbiological for foods. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4.ed. Washington: American Public Health Association, 2001. 676p.

AQUINO, S. **Efeitos da radiação gama no crescimento de *Arpergillus flavus* produtor de aflotoxinas e no emprego da técnica da reação em cadeia de polimerase (PCR) em amostras de grãos de milho inoculadas artificialmente**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia Nuclear) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2003.

BENASSI, M.T.; ANTUNES, A. J. A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1988.

CELLI, G. B.; PEREIRA-NETTO, A. B.; BETA, T. Comparative analysis of total phenolic content, antioxidant activity, and flavonoids profile of fruits from two varieties of Brazilian cherry (*Eugenia uniflora* L.) throughout the fruit developmental stages. **Food Research International**, v. 44, n. 8, p. 2442-2451, 2011.

FANARO, G. B. Efeito da radiação ionizante em chás de planta *Camellia sinensis* irradiados com diferentes atividades de água. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologia Nuclear) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2013.

FARKAS, J.; MOHÁCSI-FARKAS, C. History and future of food irradiation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 2-3, p.121-126, 2011.

FARKAS, J. Irradiation for better foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, n. 4, p.148-152, 2006.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins in foods. In: Markakis P. **Anthocyanins as Food Colors**. New York, Academic Press, p. 181-207, 1982.

IAL - Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2005, 1018 p.

GARZÓN, G. A.; NARVÁEZ-CUENCA, C. E.; KOPEC, R. E.; BARRY, A. M.; RIEDL, K. M.; SCHWARTZ, S. J. Determination of carotenoids, total phenolic content, and antioxidant activity of Arazá (*Eugenia Stipitata* McVaugh), an Amazonian fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n.18, p. 4709-4717, 2012.

IACOBUCCI, G. A.; SWEENEY, J. G. The chemistry of anthocyanins, anthocyanidins, and related flavilium salts. *tetrahedron Lett*, v. 39, p. 3005-3012. 1983.

KUME, T.; FURUTA, M.; TODIRIKI, S.; VENOYAMA, N.; Y KOBAYASHI, Y. 2009. Status of food irradiation in the world. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 78, n. 3 p. 222 - 229.

NASSUR, R. C. M.; LIMA, R. A. Z.; LIMA, L. C. O.; CHALFUN, N. N.J. Doses de radiação gama na conservação da qualidade de morangos. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 1, p. 38-48, 2016.

NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 153, n. 1, p. 375- 380, 1944.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **Harvestplus handbook of carotenoids analysis**. Washington, DC and Cali: International Food Policy Research Institute (IFPRI) and International Center for Tropical Agriculture (CIAT), 2004.

SACRAMENTO, C. K.; BARRETTO, W. S.; FARIA, J. C. Araçá-boi: uma alternativa para agroindústria. **Bahia Agrícola**, v. 8, n. 2, 1-9, 2008.

SANTILLO, A. G. **Efeitos da radiação ionizante nas propriedades nutricionais das uvas de mesa benitaka e uvas passas escuras**. Dissertação (Mestrado em Ciências). 96 f. Universidade de São Paulo. Instituto de Pesquisas Energética e Nucleares. São Paulo, Brasil. 2011

SANTOS, P. H. S. **Estudo da cinética de degradação do ácido ascórbico na secagem se abacaxi em atmosfera modificada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) 114 f. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. 2008.

SILVA, L. M. R.; FIGUEIREDO, E. A. T. de; RICARDO, N. M. P. S.; VIEIRA, I. G. P.; FIGUEIREDO, R. W. de; BRASIL, I. M.; GOMES, C. L. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 143, p. 398-404, 2014.

SILVA, M. P.; GOMES, F. S.; FREIRE JUNIOR, M.; CABRAL, L. M. Avaliação dos efeitos da radiação gama na conservação da qualidade da polpa de amora-preta (*Rubus* spp. L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 3, p. 620-627, Sept. 2014.

SOMOGYI, M. A new reagent for the determination of sugar. **The Journal of Biological Chemistry**, v.160, n.1, p. 61-68, set. 1945

TEZOTTO-ULIANA, J. V.; BERNO, N. D.; SAJI, F. R. Q.; KLUGE, R. A. Gamma radiation: An efficient technology to conserve the quality of fresh raspberries. **Scientia Horticulturae**, n. 164, p.348–352, 2013.

YOUSSEF, K. A.; HAMMAD, A. I.; ABD ELKALEK, H. H.; ABD EL-KADER, R. M. Ensure Microbial Safety and Extending Shelf-Life of Tomato Juice by γ Irradiation. **Nature and Science**, v. 11, p. 154-163, 2011.

MOTA, R. V. Caracterização do suco de amora-preta elaborado em extrator caseiro. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n.2, p.303-308, 2006.

VIRGOLIN, L. B.; SEIXAS, F. R. F.; JANZANTTI, N. S. Composition, content of bioactive compounds, and antioxidant activity of fruit pulps from the Brazilian Amazon biome. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 10, p. 933-941, 2017.

ARTIGO II

MICROESTRUTURA E PROPRIEDADE REOLÓGICA DE POLPAS DE ARAÇÁ-BOI SUBMETIDAS À IRRADIAÇÃO GAMA

PROPRIEDADE REOLÓGICA DE POLPAS DE ARAÇÁ-BOI SUBMETIDAS À IRRADIAÇÃO GAMA

RESUMO: O comportamento reológico de polpas de frutas permite a obtenção de importantes informações sobre seu escoamento em distintas condições e nas diversas etapas do processo. Em vista disso, objetivou-se analisar a microestrutura e o comportamento reológico da polpa de araçá-boi tratados com diferentes doses de Irradiação Gama. A microestrutura da polpa foi analisada, em um microscópio óptico (HIROX KH1300) acoplado a um Software 2D Measure. Os parâmetros reológicos obtidos foram: tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade aparente, em triplicata, para a polpa de araçá-boi nas diferentes doses de irradiação gama (2, 3, 4 kGy) e amostra não irradiada (controle) utilizando-se um viscosímetro nas temperaturas de 10, 30 e 60 °C, medidas com o auxílio de um termostato, à pressão atmosférica ambiente. Verificou-se que após a aplicação das doses, a microestrutura apresentaram se ramificações diferenciadas quando comparadas com o tratamento controle. O processo de irradiação não afetou o comportamento reológico das polpas de araçá-boi.

PALAVRAS-CHAVE: Irradiação em alimentos, reologia, viscosidade

REOLOGICAL PROPERTY OF “ARAÇÁ-BOI” POLES SUBMITTED TO RANGE IRRADIATION

ABSTRACT: The rheological behavior of fruit pulps allows the obtaining of important information about their flow under different conditions and in the different stages of the process. The objective of this study was to analyze the microstructure and rheological behavior of the “araçá-boi” pulp treated with different doses of Gamma Irradiation. The microstructure of the pulp was analyzed under an optical microscope (HIROX KH1300) coupled to a 2D Measure Software. The rheological parameters obtained were: shear stress, deformation rate and apparent viscosity, in triplicate, for the araçá-boi pulp at different doses of gamma irradiation (2, 3, 4 kGy) and non-irradiated sample (control). Using a digital Brookfield viscometer DV-II + PRO, model RVT at

temperatures of 10, 30 and 60 °C, measured with the aid of a thermostat, at ambient atmospheric pressure. It was verified that after the application of the doses, the microstructure presented differentiated ramifications when compared with the control treatment. The irradiation process did not affect the rheological behavior of the “araçá-boi” pulps.

KEYWORDS: Irradiation in food, rheology, viscosity

1. INTRODUÇÃO

Fruto nativo da região Amazônica o araçá-boi é pouco conhecido, mas apresenta um vasto potencial econômico, possui fácil cultivo e cresce em diversos tipos de solos firmes, dando frutos com aproximadamente dois anos de idade, contém uma quantidade de polpa considerável, contribuindo assim para um maior aproveitamento na industrialização de seus derivados como sucos, sorvetes, doces e creme (GOMES et al., 2010).

A perecibilidade desta fruta é vista como motivo para inviabilizar seu consumo em diferentes regiões na forma *in natura* (VIANA et al., 2012). Assim, a utilização de tecnologias de conservação é de fundamental importância na manutenção de suas propriedades funcionais e nutricionais, possibilitando o alcance de novos mercados e assim seu aproveitamento *in natura* para outros fins sem a necessidade de processamento.

A irradiação ionizante é um processo comprovadamente seguro e sua eficácia tem sido avaliado em muitas aplicações. Em função da dose aplicada no alimento, observou-se melhoria na qualidade microbiológica do produto, resultando na redução de perdas no armazenamento e prolongamento da vida útil. Diante dos aspectos positivos do processo de irradiação por raios gama em alimentos em comparação á alguns processos comerciais pós-produção, tais como a microfiltração e o tratamento térmico que possam conduzir a baixa produtividade, destruição de vários nutrientes e alterações indesejáveis na qualidade sensorial e microbiológica por contaminação cruzada. Após aplicação desse método é importante verificar as propriedades bioativas, microestruturais e reológicas, para garantir uma segurança química e de

otimização das condições de processamento, como a avaliação de equipamentos, projeto de tubulações, bombas, trocadores de calor, evaporadores, esterilizadores e misturadores (ALAM KHAN; ABRAHEM, 2010).

Contudo, apesar do sabor e da forma característica de apresentação, serem alguns dos fatores mais importantes na qualidade das polpas de frutas e diante das limitações dos processos de conservação tradicionais e da necessidade e dificuldade de se determinar a combinação mais segura e saudável dos métodos de conservação, não há na literatura informações sobre o efeito do tratamento por Irradiação Gama (60) nas propriedades reológicas e do de composto bioativos da polpa de araçá-boi.

Objetivou-se neste trabalho avaliar a microestrutura e verificar o comportamento reológico da polpa de araçá-boi tratados com diferentes doses de Irradiação Gama.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados, como matéria-prima, frutos de araçá-boi em estágio de maturação maduros, adquiridos da Fazenda Amizade, Vila Brasil - Una/BA. Os frutos foram lavados em água corrente, sanitizados em água clorada (100 ppm) por 15 minutos. A obtenção da polpa de araçá-boi foi realizada no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), ambos de Campina Grande, PB.

Os frutos foram selecionados, lavados e despulpados, com o auxílio de uma despulpadeira horizontal com uma peneira de 0,8 mm de diâmetro e acondicionados em sacos plásticos de polietileno contendo 100 g por unidade e congelados à -18 °C até o momento da aplicação dos tratamentos.

2.1. Aplicação da Irradiação Gama

A irradiação da polpa de araçá-boi foi realizada no Laboratório de Irradiação Gama do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), localizado na UFPE – Recife- PE. O laboratório conta com uma

câmara irradiadora de Cobalto 60 que mantém um padrão de segurança internacional para operação de irradiadores.

As polpas acondicionadas em embalagens polietileno e transportadas em caixas térmicas e etiquetadas com as respectivas doses para o Laboratório de Metrologia da Universidade federal de Pernambuco (UFPE). As amostras foram divididas e receberam diferentes doses de Irradiação Gama (2, 3, 4 kGy) para posterior comparação com a amostra não irradiada (controle). Logo após o processo de Irradiação Gama, a polpa foi armazenada em uma temperatura de 4 °C, por 60 dias, para serem caracterizadas.

2.2. Avaliação das microestruturas

A microestrutura da polpa foi analisada, em um microscópio óptico (HIROX KH1300) acoplado a um SOFTWARE 2D Measure, disponível no Laboratório de Certificação de Biomateriais (CERTBIO) da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da UFCG. As imagens das estruturas foram ampliadas para (400x) e fotomicrografadas para observação das estruturas das polpas após o processo de irradiação.

2.3. Propriedades reológicas

Este experimento foi realizado no Laboratório de Reologia de Fluidos de Matriz Agrícola da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA) da UFCG.

Os parâmetros reológicos obtidos foram tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade aparente, em triplicata, para a polpa de araçá-boi nas diferentes doses de Irradiação Gama (2, 3, 4 kGy) e amostra não irradiada (controle) utilizando-se um viscosímetro Brookfield digital DV-II+PRO, modelo RVT, nas velocidades de rotação de 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 150, 160, 180 e 200 rpm, e temperaturas de 10 ,30 e 60 °C, medidas com o auxílio de um termostato, à pressão atmosférica ambiente.

Para transformar as leituras dos torques em medidas reológicas, utilizou-se a metodologia proposta por Mitschka (1982).

Com os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, foram traçados os reogramas e ajustados os modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle ou Lei de Potência, Herschel-Bulkley e Mizrahi & Berk , utilizando-se o programa Statistica versão 5.0.

Para avaliar o ajuste dos modelos reológicos aos dados coletados, foram calculados os valores dos coeficientes de determinação (R^2), sendo a porcentagem de variação total explicada.

2.4. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e, com base na significância do teste F, análise de regressão polinomial para experimentar o efeito das doses de Irradiação Gama, testando-se até nível quadrático, foi considerado a significância de até 5% de probabilidade e coeficiente de determinação (R^2) acima de 90%. Utilizou-se o software SAS 9.3 (2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Avaliação das microestruturas

As microestruturas da polpa de araçá-boi após irradiação podem ser observadas na Figura 2 com aumentos de 400x. Verificou-se que após a aplicação das doses, a microestrutura apresentou-se ramificações diferenciadas quando comparadas com o tratamento controle.

Ao sofrer processamento, a microestrutura do alimento é destruída e reconstituída, o que pode ser entendido como uma série de operações de reestruturação e reorganização. Brito (2015) ao avaliar a microestruturas dos cristais de gelo da água disponível da polpa de limão congelada a -20 ± 2 °C, observadas com aumentos de 100 e 200x.

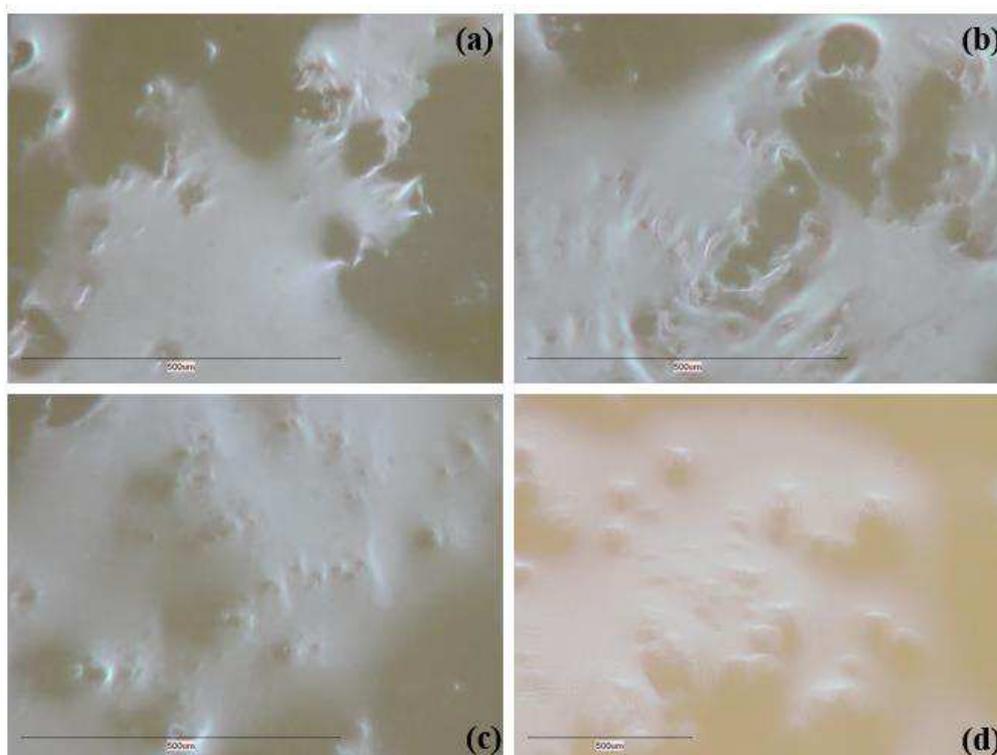


Figura 1. Fotomicrografias da polpa de araçá-boi para o controle (a), dose 2 kGy (b), dose 4 kGy (c) e dose 6 kGy (d) com aumento de 400x

Observou-se que após o processo de congelamento, os cristais de gelo apresentaram estruturas com ramificações semelhantes à de uma árvore, caracterizada como dendrítica, presente na grande maioria dos processos de solidificação.

A organização estrutural desempenha um importante papel nas propriedades sensoriais, tais como cor, sabor e textura. Dentre estes atributos, o mais influenciado foi à textura (AGUILERA e STANLEY, 1999). Aguilera (2005) cita como exemplo qualitativo a relação entre a força de penetração e a microestrutura de legumes cozidos.

3.3. Propriedade reológica

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros dos modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Mizrahi-Berk e Herschel-Bulkley, para a polpa de araçá-boi irradiada nas doses de 2, 4 e 6 kGy, respectivamente, na temperatura de 10 °C, bem como os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

Tabela 1. Parâmetros e coeficientes de determinação (R^2) dos modelos reológicos ajustados aos reogramas das diferentes doses de Irradiação Gama (2, 3, 4 kGy) e amostra não irradiada (controle) na temperatura de 10 °C

Ostwald-de-Waelle	Irradiação Gama	K	n	R²	
	0	1,000	0,000	1	
	2	5,875	0,389	0,973	
	4	6,096	0,388	0,978	
	6	23,046	0,336	0,978	
Mizrahi-Berk	Irradiação Gama	K_{OM}	K_M	n_M	R²
	0	-0,003	1,000	0,999	1,000
	2	-64,660	66,374	0,026	0,988
	4	13,096	-11,531	-0,198	0,992
	6	5,126	0,386	0,297	0,993
	Irradiação Gama	t_{OH}	K_H	n_H	R²
Herschel-Bulkley	0	-0,001	1,000	0,999	1,000
	2	-141,588	141,707	0,044	0,991
	4	-75,052	76,018	0,077	0,992
	6	26,942	3,348	0,779	0,994

Verificou-se que para todos os modelos os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 0,97. Dentre os modelos testados, Herschel-Bulkley foi o que apresentou os melhores ajustes, com os maiores coeficientes de determinação (R^2), todos superiores a 0,99 em ambas as doses de radiação testadas. Silva et al. (2014) em seu estudo sobre o comportamento reológico da polpa e da geleia de umbu obtiveram ajustes semelhantes ao deste estudo, sendo o melhor para o modelo de Herschel-Bulkley apresentando coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99.

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros dos modelos reológicos de Herschel-Bulkley, Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) e Mizrahi-Berk, para a polpa de aração irradiada nas doses de 2, 4 e 6 kGy, respectivamente, na temperatura de 30 °C bem como os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

Tabela 2. Parâmetros e coeficientes de determinação (R^2) dos modelos reológicos ajustados aos reogramas da diferentes doses de Irradiação Gama (2, 3, 4 kGy) e amostra não irradiada (controle) na temperatura de 30 °C

Ostwald-de-Waelle	Irradiação Gama	K	n	R²	
	0	10,833	0,198	0,985	
	2	3,973	0,417	0,983	
	4	3,498	0,415	0,986	
	6	11,383	0,355	0,921	
Mizrahi-Berk	Irradiação Gama	K_{OM}	K_M	n_M	R²
	0	-35,869	39,0171	0,022	0,986
	2	-0,900	2,758	0,345	0,985
	4	-1,0201	2,757	0,328	0,989
	6	4,694	0,0180	2,418	0,996
Herschel-Bulkley	Irradiação Gama	t_{OH}	K_H	n_H	R²
	0	-116,833	126,127	0,0271	0,992
	2	-5,197	7,891	0,299	0,985
	4	-4,370	6,796	0,302	0,988
	6	22,206	0,102	0,388	0,996

Os resultados da Tabela 2 demonstram que todos os valores do coeficiente de determinação (R^2) foram superiores a 0,921. Dentre os modelos testados o de Herschel-Bulkley apresentou os maiores valores de R^2 entre 0,985 a 0,996 para as doses de radiação aplicadas. Entretanto o modelo de Mizrahi-Berk apresentou valores de coeficiente de determinação (R^2) próximos aos encontrados no modelo anterior, variando entre 0,985 e 0,995. Nota-se que os valores do índice de comportamento (n) aumentaram de acordo com o aumento nas dosagens. Segundo Youssef et al. (2002) os valores inferiores a 1 revelam fluidos de caráter não newtoniano, independentes do tempo do fluido pseudoplástico. Os autores em seu trabalho utilizaram dosagens de 1,0 a 2,0 kGy em polpa de manga armazenada a temperatura refrigerada, obtendo valores de n próximos aos encontrados neste estudo para as dosagens de 2 e 4 kGy.

Na Tabela 3 são apresentados os parâmetros dos modelos reológicos de Herschel-Bulkley, Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) e Mizrahi-Berk, para a polpa de araçá irradiada nas doses de 2, 4 e 6 kGy, respectivamente, na

temperatura de 60 °C, bem como os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

Tabela 3. Parâmetros e coeficiente de determinação (R^2) dos modelos reológicos ajustados aos reogramas da diferentes doses de Irradiação Gama (2, 3, 4 kGy) e amostra não irradiada (controle) na temperatura de 60 °C

Ostwald-de-Waelle	Irradiação Gama	K	n	R^2	
	0	5,621	0,274	0,969	
	2	2,182	0,518	0,995	
	4	1,353	0,614	0,985	
	6	1,366	0,588	0,963	
Mizrahi-Berk	Irradiação Gama	K_{OM}	K_M	n_M	R^2
	0	-89,929	91,977	0,011	0,981
	2	1,2939	0,499	0,876	0,996
	4	1,805	0,099	0,542	0,998
	6	2,057	0,027	0,080	0,997
Herschel-Bulkley	Irradiação Gama	t_{OH}	K_H	n_H	R^2
	0	-115,441	118,909	0,026	0,989
	2	1,786	1,257	0,629	0,996
	4	3,441	0,216	0,014	0,997
	6	4,338	0,058	0,290	0,998

Observou-se que para todos os modelos os coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 0,96. Dentre os modelos testados, o modelo de Herschel-Bulkley foi o que apresentou os melhores ajustes, com os maiores coeficientes de determinação (R^2), todos superiores a 0,98 em ambas as doses de radiação testadas.

Os valores do índice de comportamento (n) apresentaram um aumento crescente de acordo com as dosagens aplicadas, em que na dosagem de 2 kGy os mesmos foram inferiores para os modelos de Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk. O índice de comportamento do fluido (n) apresentou-se com

valores inferiores a unidade ($n < 1$), caracterizando, portanto, os fluidos de caráter não newtoniano, independentes do tempo do fluido pseudoplástico.

A pseudoplasticidade é um comportamento característico para a maioria das polpas de frutas, sendo também observado por Oliveira et al. (2011), para as polpas de gabioba e goiaba, nas temperaturas de 20 e 35 °C; por Quek et al. (2013), para a polpa de graviola em diferentes concentrações (10-5 °Brix) e temperaturas de 10 a 6 °C.

O índice de consistência (K) indica o grau de resistência do fluido ao escoamento, notou-se que os valores do índice de consistência (K) diminuíram de acordo com o aumento das temperaturas, esse fato pode ser atribuído à degradação dos carboidratos da polpa de araçá-boi pela radiação e temperatura aplicadas, refletindo numa conseqüente redução da viscosidade aparente da polpa. Esse comportamento também foi observado por Sousa et al. (2014), ao avaliarem o efeito da temperatura sobre o comportamento reológico da polpa de pequi (*Caryocar coriaceum*) com diferentes concentrações de sólidos.

De maneira geral, os menores valores para a tensão de cisalhamento são observados nas temperaturas mais altas a uma dada taxa de deformação fixa, indicando que a viscosidade aparente diminui com o aumento da temperatura (Figura 2).

Esse comportamento é semelhante aos resultados obtidos por Oliveira et al. (2012), para a polpa de morango, em que ocorreram variações da viscosidade aparente com a variação da tensão de cisalhamento nas diversas temperaturas estudadas, percebendo-se que a viscosidade aparente foi maior nas temperaturas mais baixas.

Observou-se que as polpas de araçá-boi, por ser um fluido pseudoplástico, não apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação.

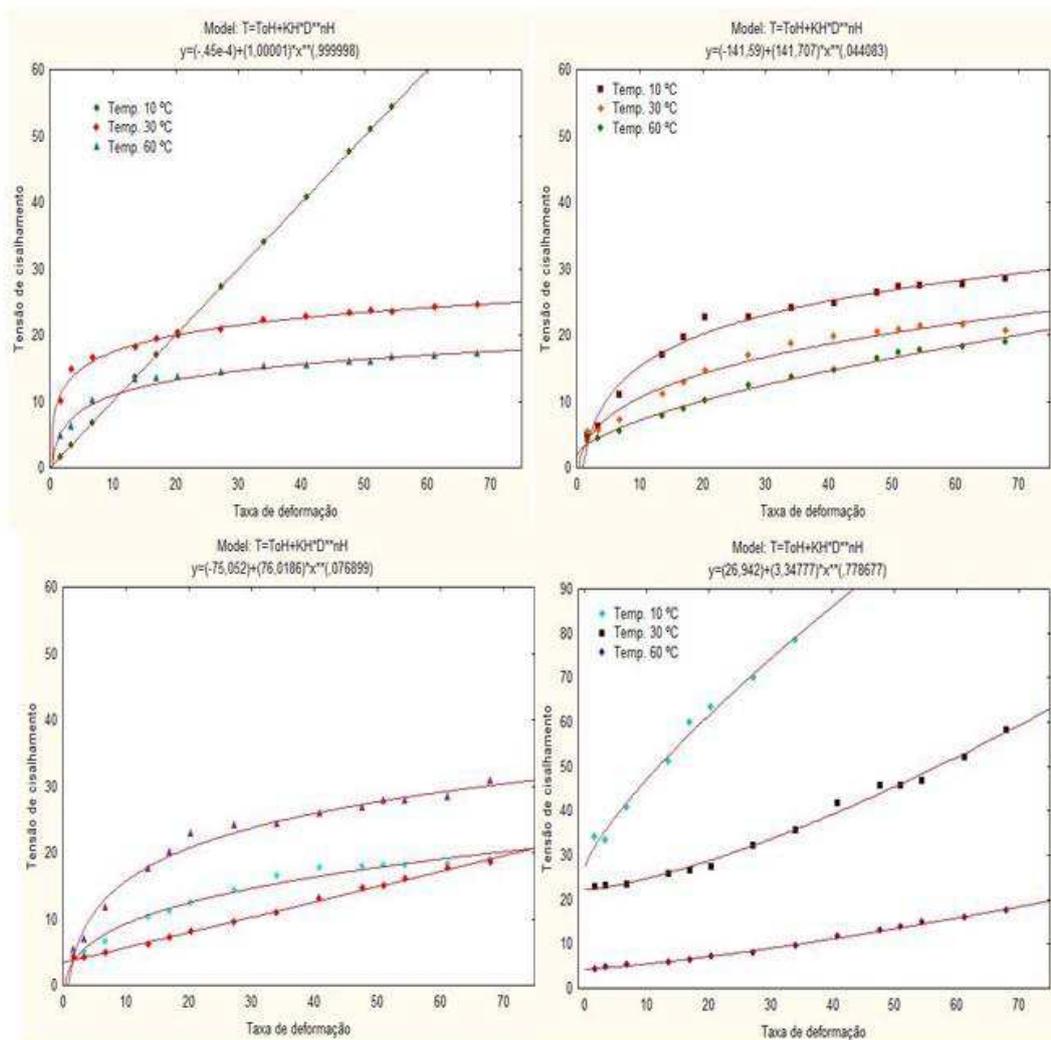


Figura 2. Reogramas das polpas de araçá-boi irradiada em diferentes doses de Irradiação Gama e temperaturas com o modelo Herschel-Bulkley ajustado aos dados experimentais: Dose 0 KGy; Dose 2 KGy; Dose 4 KGy e Dose 6 KGy

4. CONCLUSÕES

Dos modelos testados, o modelo de Herschel-Bulkley é o que apresenta os melhores ajustes, com os maiores coeficientes de determinação (R^2).

O processo de irradiação não afeta o comportamento reológico das polpas de araçá-boi, apresentaram valores para índice de comportamento do fluido menores que um ($n < 1$), sendo caracterizadas, portanto, como fluidos não newtonianos com comportamento pseudoplástico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILERA, J. M.; STANLEY, D. W. Microstructural principles of food processing and engineering (2nd ed.). Gaithersburg, MD: Aspen Publishers, Inc., 1999.

ALAM KHAN, K.; ABRAHEM, M. Effect of irradiation on quality of spices. **International Food Research Journal**, Selangor, v.17, p. 825-836, 2010.

BRITO, K. D.; OLIVEIRA, L. S. C.; LIMA, A. G. B. de.; SANTIAGO, A. M.; ALVES, D. E. G. Avaliação do processo físico de congelamento da polpa de limão tahiti (*Citrus latifolia* tanaka), In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 20, **Anais...Blucher Chemical Engineering Proceedings**, 2015, p. 3591-3598.

GOMES, R. B.; VIANA, E. de S.; JESUS, J. L. de; SILVEIRA, S. M. da; FONSECA, M. D.; SACRAMENTO, C. K. do. Avaliação físico-química de geleia de araçá-boi com banana. In: Jornada Científica – Embrapa Mandioca e Fruticultura, **Anais...Embrapa**, 2010.

MITSCHKA, P. Simple conversion of Brookfield R.V.T. readings into viscosity functions. **Rheologica Acta**, v. 12, p. 207-209, 1982.

OLIVEIRA, R. C.; ROSSI, R. M.; BARROS, S. T. D. Estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico das polpas de gabioba e goiaba. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 1, p. 31-37, 2011.

OLIVEIRA, R. C.; ROSSI, R. M.; BARROS, S. T. D. Estudo reológico da polpa de morango (*Fragaria vesca*) em diferentes temperaturas. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 34, n. 3, p. 283-288, 2012.

QUEK, M. C.; CHIN, N. L.; YUSOF, Y. A. Modelling of rheological behaviour of soursop juice concentrates using shear rate– temperature–concentration superposition. **Journal of Food Engineering**, v. 118, n. 4, p. 380-386, 2013.

SILVA, M. P.; GOMES, F. S.; FREIRE JUNIOR, M. F.; CABRAL, L. M. Avaliação dos efeitos da radiação gama na conservação da qualidade da polpa de amora-preta (*Rubus spp. L.*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 3, p. 620-627, 2014.

SOUSA, E. P.; QUEIROZ, A. J. de M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; LEMOS, D. M. Comportamento reológico e efeito da temperatura da polpa de pequi em diferentes concentrações. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 3, p. 226-235, 2014.

SOUSA, S. F.; QUEIROZ, A. J. de M.; FIGUEIREDO, R. M. F. de; SILVA, F. B. Comportamento reológico das polpas de noni integral e concentradas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 1-10, 2017 .

VIANA, E. de S.; JESUS, J. L. de; REIS, R. C.; FONSECA, M. D.; SACRAMENTO, C. K. do. Caracterização físico-química e sensorial de geleia de mamão com araçá-boi -. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 4, p. 1154-1164, 2012.

YOUSSEF, K. A.; HAMMAD, A. I.; ABD ELKALEK, H. H.; ABD EL-KADER, R. M. Ensure microbial safety and extending shelf-life of tomato juice by γ irradiation. **Nature and Science**, v. 11, p. 154-163, 2011.

ARTIGO III

**CINÉTICA DE CONGELAMENTO DE POLPAS DE POLPA DE ARAÇA-BOI
COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE MALTODEXTRINA**

CINÉTICA DE CONGELAMENTO DE POLPAS DE POLPA DE ARAÇA-BOI COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE MALTODEXTRINA

RESUMO: Os frutos de araçá-boi apresentam baixa conservação pós-colheita, devido às altas taxas respiratórias e perda de água durante o armazenamento. Dessa forma, o conhecimento de tecnologia de processamento e conservação é de grande importância para que se tenham subsídios técnicos que visem à ampliação do seu tempo de armazenamento. Um dos métodos de conservação mais empregado pela pequena e média indústria para preservação e ampliação da vida útil de polpa de frutas é o congelamento, que pode variar de -20 °C até temperaturas criogênicas. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar e a cinética de congelamento da polpa de araçá-boi -30 °C com diferentes concentrações de maltodextrina. Antes da etapa de congelamento e avaliação da microestrutura foi necessário preparar formulações contendo diferentes concentrações de maltodextrina DE 10 (0, 7, 14 e 21%). As polpas foram caracterizadas quanto aos parâmetros teor de água, ATT, pH, SST, atividade de água, vitamina C e flavonoides. Para realização da cinética de congelamento, foi feito um furo no centro geométrico de cada amostra e inserido um termopar para monitoramento da temperatura no interior da amostra e outro termopar inserido no interior da unidade de congelamento cuja finalidade foi monitorar o meio congelante, de modo a se determinar o instante de equilíbrio térmico para a temperatura de -30 °C. O pH quantificado apresentou incrementos com o aumento da concentração de maltodextrina, variando de 2,46 a 2,55. A vitamina C apresentou redução com o aumento da concentração de maltodextrina, onde as formulações 14 e 21% proporcionaram menores valores de teor de vitamina C. A curva de congelamento à 30 °C mostrou-se similar a curva obtida para a água pura, permitindo distinguir claramente os três estágios típicos durante a conversão da água em gelo. O tempo de congelamento aumentou proporcionalmente a inclusão de maltodextrina, com maiores tempos obtidos para 21% de maltodextrina e menores para o controle (0% de maltodextrina) na temperatura de 30 °C.

Palavras-chave: *Eugenia stipitata*, curvas de congelamento, difusividade térmica efetiva.

KINETICS OF FREEZE OF PULP POLES OF HOLLOW BOI WITH DIFFERENT CONCENTRATIONS OF MALTODEXTRIN

ABSTRACT: “Araçá-boi” fruits present low postharvest conservation, due to high respiratory rates and loss of water during storage, so the knowledge of processing and conservation technology is of great importance for technical subsidies aimed at the expansion of its storage time. One of the most widely used preservation methods in small and medium industry for preservation and extended shelf-life of fruit pulp and freezing, which can range from -20 °C to cryogenic temperatures. The objective of this work was to evaluate the freezing kinetics of the “araçá-boi” pulp at of the -30 °C and with different concentrations of maltodextrin. Prior to the microstructure freezing and evaluation step, it was necessary to prepare formulations containing different concentrations of maltodextrin DE 10 (0, 7, 14 and 21%). The pulps were characterized as parameters: water content, ATT, pH, SST, water activity, vitamin C and flavonoids. To perform the freezing kinetics, a hole was drilled in the geometric center of each sample and a thermocouple was inserted to monitor the temperature inside the sample and another thermocouple inserted inside the freezing unit whose purpose was to monitor the freezing medium, in order to determine the time of thermal equilibrium for the temperature of -30 °C. The quantified pH presented increases with increasing maltodextrin concentration, ranging from 2.46 to 2.55. Vitamin C showed a significant reduction with increasing maltodextrin concentration, where formulations at 14 and 21% provided lower values of the freezing curve of the pulp at -30 °C was very similar to the curve obtained for pure water, allowing to clearly distinguishing the three typical stages during the conversion of water into ice. Freezing time increased proportionally to the inclusion of maltodextrin in the steer pulp, with longer times for Formulation 3 (21% maltodextrin) and lower for control (0% maltodextrin) at 30 °C.

Key words: *Eugenia stipitata*, freezing curves, effective thermal diffusivity

1. INTRODUÇÃO

O araçá-boi (*Eugenia stipitata*) é uma espécie frutífera da família *Myrtaceae* e originada da Amazônia Peruana, usualmente cultivada no Brasil, Peru e Bolívia. No Brasil a mesma faz parte de espécies nativas e cultivadas no Bioma Amazônia de sabor característico muito apreciado pela população local. No Nordeste, esse fruto foi introduzido no sul da Bahia na década de oitenta e vem sendo cultivado comercialmente em alguns pomares da região, como alternativa de diversificação da lavoura cacaueteira (SACRAMENTO, 2008). Os pequenos frutos apresentam baixa conservação pós-colheita, devido às altas taxas respiratórias e de perda de água durante o armazenamento, dessa forma o conhecimento de tecnologia de processamento e conservação é de grande importância para que se tenham subsídios técnicos que visem à ampliação do seu tempo de armazenamento.

Segundo Cavalcanti-Mata et al. (2012), um dos métodos de conservação mais empregado pela pequena e média indústria para preservação e ampliação da vida útil de polpa de frutas é o congelamento, que pode variar da temperatura de -20 °C até temperaturas criogênicas (-196 °C), além de ser uma etapa que precede a operação de liofilização, é o congelamento do material, uma etapa indispensável para otimização do processo de secagem por liofilização. A baixa temperatura diminui as atividades fisiológicas, bioquímicas e microbiológicas que ocasionam a deterioração do produto e a alteração de suas características nutritivas e sensoriais, comprometendo a qualidade (SAMIRA et al., 2013).

A velocidade de congelamento é um dos fatores mais importantes, visto que, os produtos biológicos apresentam teor de água elevado e o tamanho e a forma dos cristais de gelo estão relacionados às velocidades de congelamento. No congelamento lento, sua velocidade vai decrescendo gradativamente (taxa de 1 °C/min) havendo a formação de grandes cristais de gelo, exclusivamente no meio extracelular. Em altas taxas de congelamento (congelamento rápido), ocorre a formação de pequenos cristais de gelo nos espaços intercelulares e intracelulares, em grande quantidade, com mínimo deslocamento de água (BELCHOIR, 2012; COLLA E PRENTICE-HERNÁNDEZ, 2003; SOARES et al., 2012).

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar e a cinética de congelamento da polpa de araçá-boi a temperatura de -30 °C e com diferentes concentrações de maltodextrina.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As análises foram desenvolvidas no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), na Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Os frutos de araçá-boi (*Eugenia stipitata*) foram adquiridos da Fazenda Amizade, Vila Brasil – Una/BA A obtenção da polpa de araçá-boi foi realizada no Laboratório de Secagem e Processamento de Alimentos da UFCG. Os frutos foram selecionados, lavados e despulpados, com o auxílio de uma despulpadeira horizontal e uma peneira de 0,8 mm de diâmetro. A polpa foi homogeneizada e embalada em sacos de polietileno de baixa densidade com volume de 200 mL, em seguida congelada e armazenada em câmara frigorífica a -18 °C até o momento da realização do experimento.

2.1. Concentrações de maltodextrina

Antes da etapa de congelamento e avaliação da microestrutura foi necessário preparar as formulações contendo diferentes concentrações de maltodextrina DE 10 (0, 7, 14 e 21). Realizou-se homogeneização em triturador de alimentos 2, marca Britânia, durante 60 s, para as formulações apresentadas. As formulações foram distribuídas em sacos de polietileno, contendo aproximadamente 100 g de amostra, seladas e medidas o comprimento, largura e altura em milímetros da amostra a ser congelada.

2.2. Caracterização física e físico-química das formulações

O valor da atividade de água foi determinada através do higrômetro Aqualab modelo 3 TE Aqualab e a cor determinada em colorímetro HunterLab. Os valores de cor foram expressos de acordo com o sistema de coordenadas CIELAB, nos quais as variáveis L* (luminosidade), a* (componente vermelho-

verde) e b^* (componente amarelo-azul) foram utilizadas para o cálculo da tonalidade cromática (h_o) e saturação da cor (C^*).

Foram analisados, ainda, o teor de sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix), pH, acidez total titulável (ATT) e relação SS/ATT (ratio), de acordo com o IAL (2005).

A determinação do teor de ácido ascórbico das polpas das frutas foi baseada na oxidação do ácido ascórbico pelo reagente 2,6-diclorofenolindofenol (BENASSI; ANTUNES, 1988; AOAC, 2010). Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa. Os flavonoides amarelos das polpas foram avaliados segundo metodologia descrita por Francis (1982) baseada na extração dos mesmos com etanol (95%) e HCl 1,5 M (85:15, v:v). A leitura da absorvância foi realizada em espectrofotômetro, sendo o conteúdo de flavonoides amarelos expressos em 100 g de polpa como descrito por Silva et al. (2014).

2.3. Avaliação das microestruturas

A microestrutura da polpa foi analisada, em um microscópio óptico (HIROX KH1300) acoplado a um SOFTWARE 2D Measure, disponível no Laboratório de Certificação de Biomateriais (CERTBIO) da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da UFCG. As imagens das estruturas serão ampliadas para (200 e 400x) e fotomicrografadas para observação das estruturas das polpas após o processo de irradiação.

2.4. Cinética de congelamento

Para realização da cinética de congelamento, foi feito um furo no centro geométrico de cada amostra e inserido um termopar para monitoramento da temperatura no interior da amostra e outro termopar inserido no interior da unidade de congelamento (*freezer* horizontal) cuja finalidade foi monitorar o meio congelante, de modo a se determinar o instante de equilíbrio térmico para a temperatura de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Com os valores da temperatura em função do tempo (s) foi feita a plotagem gráfica dos dados utilizando o *software* OriginPro8. A velocidade de congelamento foi determinada de acordo com a Equação 1.

$$Vc = \frac{T_i - T_f}{\Delta\tau} \text{ (}^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

(1)

em que:

Ti - temperatura inicial ($^\circ\text{C}$);

Tf - temperatura final ($^\circ\text{C}$); e,

$\Delta\tau$ - Tempo necessário para a temperatura cair de Ti para Tf (s).

De acordo com Mohsenin (1980), para se calcular a transferência de calor em regime transiente, de uma forma que se assemelhe a uma placa, de espessura 2L, para $Fo = \alpha t/L^2$, a solução analítica pode ser expressa pela seguinte Equação (5):

$$RT = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \text{Exp}(\sigma_n^2 \cdot Fo) \quad (2)$$

onde:

$$RT = \frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} \quad (3)$$

$$A_n = \frac{2 \cdot \text{sen } \sigma_n}{\sigma_n + \text{sen } \sigma_n \cdot \text{cos } \sigma_n} \quad (4)$$

$$Fo = \left(\frac{\alpha}{L^2}\right) \cdot t \quad (5)$$

Em que:

RT - Razão de temperatura, adimensional;

T - Temperatura em cada momento, $^\circ\text{C}$;

T_∞ - Temperatura do meio de congelamento, $^\circ\text{C}$;

To - Temperatura inicial do produto, $^\circ\text{C}$;

Fo - Número de Fourier, adimensional;

An - Constante que depende do produto;

σ_n - Raiz transcendental;

L - Espessura da amostra/2;

t - Tempo, s; e,

α - Difusividade térmica efetiva, $\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$.

Com os dados de razão de temperatura em função do tempo, foi realizada uma análise de regressão não-linear, utilizando-se o *software* Statistic, versão 7.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, estão apresentados os valores da caracterização física, físico-química e de compostos bioativos das polpas de araçá-boi integral e formulada.

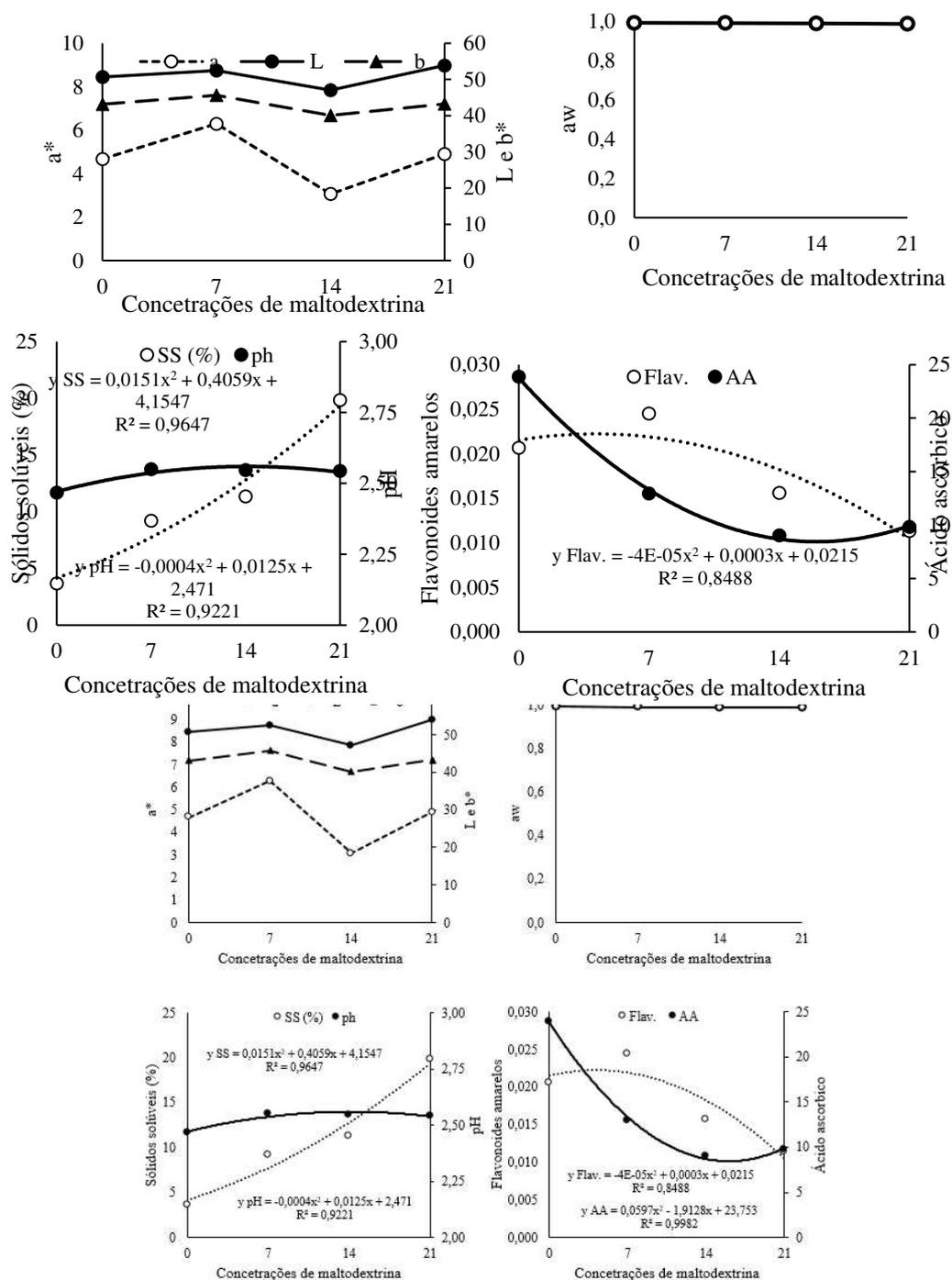


Figura 1. Caracterização física, físico-química e de compostos bioativos das polpas integrais e formuladas com diferentes concentrações de maltodextrina

O parâmetro L^* é uma medição da luminosidade, avaliando de maneira a estabelecer uma escala cinza, com valores entre preto (0) e branco (100) (PATHARE et al., 2013). Para a luminosidade, os valores de L^* variaram com o aumento da concentração de maltodextrina (Figura 1) variando de 49,98 a 53,63. Canuto (2010) ao avaliar as características de polpas de nove espécies frutíferas amazônicas, encontrou valor de luminosidade para polpa de araçá-boi de $40,7 \pm 0,3$.

As polpas apresentaram variações significativas entre si, sendo considerada uma tendência de uma polpa de araçá-boi mais clara, ressaltando que as polpas adicionadas de maltodextrina apresentaram os maiores valores para este parâmetro, tal fato já era esperado, uma vez que, a adição de maltodextrina eleva os valores de L^* , por ser um pó branco. Com relação à da intensidade a^* , valores positivos correspondem à cor vermelha das amostras, enquanto que os valores b^* positivos correspondem à cor amarela, ambos foram influenciadas significativamente pela adição de maltodextrina.

A adição de maltodextrina à polpa integral reduziu o teor de água devido ao aumento dos sólidos na formulação, resultando em uma diferença significativa. Esta interferência do agente carreador foi constatada por Melo (2012) ao estudar o comportamento de polpa de atemoia integral e formulada com 25% de maltodextrina. O pH quantificado apresentou incrementos com o aumento da concentração de maltodextrina, variando de 2,46 a 2,55. As médias foram inferiores por Canuto et al. (2010), com média de 4,0 para polpa de araçá-boi.

Os sólidos solúveis totais apresentaram variações significativas com o aumento da concentração de maltodextrina, no qual a maior média foi observado na formulação a 21%, os valores obtidos apresentaram valor médio de 11 °Brix entre a amostra controle e as concentrações de maltodextrina, estando superior ao valor encontrado no Garzón et al. (2012) que reportaram para a polpa de araçá-boi teores de sólidos solúveis de 4,6 °Brix.

A vitamina C apresentou uma redução significativa com o aumento da concentração de maltodextrina, no qual as formulações 14 e 21% proporcionaram menores valores de teor de vitamina C. O valor médios para teor de vitamina C foi de 13,91 mg de ácido ascórbico por 100 g entre todos os tratamentos, sendo superior ao constatado por Virgolin, Seixas e Janzanti

(2017), ao encontrar teor médio de 8,30 em acerola, fruta de araçá-boi de diferentes safras. Verificou-se que não ocorreu perda significativa nos valores de flavonoides, no entanto ocorreu um decréscimo com o aumento da concentração de maltodextrina quando comparado com o tratamento controle. Para os flavonoides, esses autores reportaram valor médio de 2,21 do fruto de araçá-boi em 5 safras diferentes.

Na Figura 2 tem-se as curvas de congelamento das polpas integral e formuladas (controle, 0, 7 e 14 e 21% de maltodextrina congelada a temperaturas de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. A curva de congelamento da polpa a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 1) mostrou-se muito similar a curva obtida para a água pura, permitindo distinguir claramente os três estágios típicos durante a conversão da água em gelo.

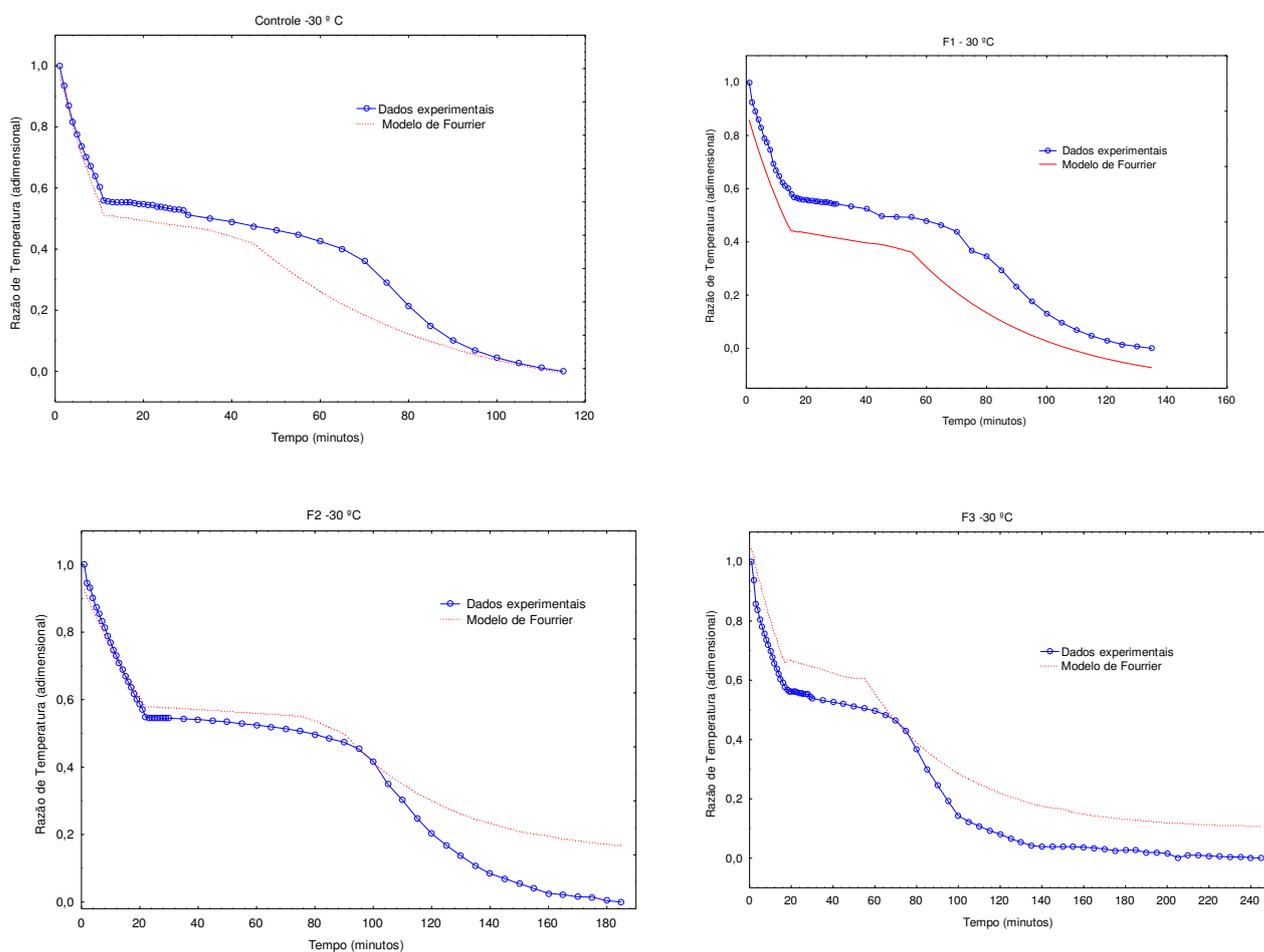


Figura 2. Curva de congelamento: controle = polpa integral; (F1) polpa a 7%; (F2) polpa a 14%; (F3) polpa a 21% de maltodextrina

A primeira temperatura de congelamento foi determinada quando se iniciou Fase II (nucleação). No segundo estágio, a mudança de fase ocorreu lentamente, no qual a temperatura reduziu de -0,1 a -2,6 (polpa integral), -0,1 a -2,4 °C (polpa 7%), -0,2 a -2,5 °C (polpa a 14%) e -0,5 a -2,7 °C (polpa a 21%), o tempo requerido neste segundo estágio foi de 30, 40, 75 e 40 min. Os valores experimentais determinados estão coerentes com os especificados na literatura: polpa de morango congelada a -20 °C apresentou $T_{ic} = -0,7$ °C (FERNANDES et al., 2010); congelamento de mangaba obteve $T_{ic} = -1,0$ °C (SOARES et al., 2012). Já Pereira et al. (2014), congelando polpa de acerola em câmara fria á -25 °C, obteve uma temperatura de início de congelamento de -1,1 °C.

No período de congelamento observou-se uma elevação no tempo de cristalização com a inclusão de maltodextrina nas amostras, nesta fase ocorre o aumento dos cristais de gelo e remoção do calor latente, como também aumento da concentração dos sólidos solúveis (SOARES et al., 2012). A fase III corresponde ao pós-congelamento, onde acontece a diminuição de temperatura do produto congelado (CAVALCANTI-MATA et al., 2005). O decréscimo da temperatura foi de -3,2 à -30,2 °C (polpa integral) no tempo de 115 min; -3,9 à -30,7 °C (polpa a 7%) em 135 min; -3 à -30,2 °C (polpa a 14%) em 185 min ; e -3 à -30 °C (polpa a 21%) em 245 min. A adição de sólidos ao material altera o ponto de congelamento da água livre, o que dificulta seu congelamento, portanto o tempo total do processo de congelamento de polpa araçá-boi aumentou com a adição de maltodextrina no produto. Feitosa et al. (2017), ao analisarem grãos de feijão-fava submetido à 15, 25 e 50 °C, verificaram que para atingir as temperaturas pré-estabelecidas foi necessário o tempo de 4.485 s, 3.075 s e 1.730 s, respectivamente, e que a redução da temperatura fez com que as amostras congelassem mais rápido.

Na Tabela 1 encontram-se os parâmetros de coeficiente de difusão, coeficiente do modelo (K), difusividade efetiva (α), difusividade efetiva média, coeficiente de determinação (R^2), erro médio estimado (SE) e erro médio relativo (P%) desvio-padrão da estimativa para polpa de araçá boi nos estágios de congelamento a -30 °C.

Observou-se que, a difusividade térmica aumenta com a concentração de maltodextrina. Segundo Tres et al. (2011), a difusividade térmica de um

material é influenciada pela quantidade de água, temperatura, composição e porosidade; como em muitos processos, o conteúdo de água e a temperatura de um produto podem variar, consideravelmente, o valor da difusividade térmica também varia.

Tabela 1. Parâmetros e coeficientes do modelo de Fourier na cinética de congelamento da polpa de araçá-boi com diferentes concentrações de maltodextrina DE10

Temperatura	Formulação	Fases	α (m ² s ⁻¹)	α média (m ² s ⁻¹)	R ²	SE	P(%)
-30 °C	Controle	I	219,35		99,330	0,0001	0,0001
		II	-	83,60	-	-	-
		III	92,76		84,325	0,0011	0,0179
	F1(7%)	I	192,76		94,775	0,0002	0,0004
		II	-	100,11	-	-	-
		III	118,04		85,178	0,0005	0,0212
	F2 (14%)	I	164,85		99,839	0,0001	0,0002
		II	-	111,36	-	-	-
		III	163,24		90,906	0,0017	0,0661
	F3 (21%)	I	164,37		97,171	0,0001	0,0005
		II	-	121,54	-	-	-
		III	134,91		94,795	0,0009	0,0498

Os resultados de R² foram superiores a 98% em todas as formulações, o que caracteriza um bom ajuste dos dados, e o emprego correto da equação de Fourier para descrever o comportamento cinético. O modelo de Fourier aplicado aos dados experimentais apresentou bons coeficientes de determinação, acima de 98 % e baixos SE e P%.

A inclusão de maltodextrina alterou a velocidade do congelamento. O aumento do teor de sólidos promovido pela inclusão da maltodextrina foi o responsável por esse comportamento. Para o congelamento, o conhecimento do coeficiente da difusividade térmica é de fundamental importância, por ser uma propriedade de transporte necessária na modelagem e nos cálculos de transferência de calor transiente, além de ser essencial para a simulação

durante o congelamento no interior de um alimento, tornando-se de grande valia para a indústria, pois sem esta propriedade termofísica não seria possível calcular a transferência de calor nas substâncias (TRES et al., 2011).

4 . CONCLUSÕES

A adição de maltodextrina promove modificações significativas em todos os parâmetros físico-químicos analisados.

O tempo de congelamento aumenta proporcionalmente a inclusão de maltodextrina na polpa de araçá-boi, com maiores tempos obtidos para F3 (21% de maltodextrina) e menores para o Controle (0% de maltodextrina) na temperatura de 30 °C.

A difusividade média efetiva da polpa de araçá-boi é diretamente proporcional ao aumento do gradiente térmico e do teor de maltodextrina.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 18th ed, 3th review, Washington, USA: AOAC, 2010. 1094p.

BARBIN, D. F.; DAVILA, L. S. M.; SILVEIRA JUNIOR, V. S. Avaliação da estabilidade de soluções modelo (CMC-Sacarose) em recongelamentos. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 125-132, 2010.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1988.

BELCHIOR, N. C. **Transferência de calor no congelamento de polpa de maracujá**. 2012. 126p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais, MG.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008. Regulamento Técnico**

CANUTO, G. A. B.; XAVIER, A. A. O.; NEVES, L. C.; BENASSI, M. T. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade antirradical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1198-1205, 2010.

CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; MORAIS, J. O.; DUARTE, M. E. M.; FARIAS, P. A.; QUEIROZ, A. J. de M. Cinética de congelamento do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) a baixas temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 6, p. 667–674, mar. 2012.

CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; ALSEMO, G. C. S.; RODRIGUES, E.; GUEDES, M. A.; CAVALCANTI, A. S. R. R. M.; OLIVEIRA, C. C. A. Obtenção de graviola em pó pelo processo de liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 2, p.165-172, 2005.

COLLA, L. M.; PRENTICE-HERNANDEZ, C. Congelamento e descongelamento: Sua Influência sobre os alimentos. **Vetor**, v. 13, n. 53, p. 53-66, 2003.

FEITOSA, R. M.; SILVA, R. C.; MELO, J. C. S.; LINS, A. D. F.; PÊ, P. R.; OLIVEIRA, S. N. Cinética de congelamento e difusividade térmica efetiva do feijão fava. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 3, p. 147-152, 2017.

FERNANDES, T. N.; RESENDE, J. V.; CRUVINEL, R. S. R.; RENO, M. J. Relação entre o comportamento reológico e a dinâmica do congelamento e descongelamento de polpa de morango adicionada de sacarose e pectina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 188-204, 2010.

FERREIRA, G. M.; GUIMARÃES, M. J. O. C.; MAIA, M. C. A. Interações sinérgicas entre polpa de fruta e polissacarídeos em cisalhamento estacionário e dinâmico. In: Encontro Regional Sul de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 9, 2007, Curitiba. **Anais...** Editora TecArt, 2007. p. 654-660.

GARZÓN, G. A.; NARVÁEZ-CUENCA, C. E.; KOPEC, R. E.; BARRY, A. M.; RIEDL, K. M.; SCHWARTZ, S. J. Determination of carotenoids, total phenolic content, and antioxidant activity of Arazá (*Eugenia Stipitata* McVaugh), an

Amazonian fruit. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 60, n.18, p. 4709-4717, 2012.

IAL - Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas do IAL: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 5.ed. São Paulo, 2008. 1020 p.

MOHSENIN, N. N. **Thermal properties of foods and agricultural materials**. New York, NY. Gordon and Breach Pub. Inc., 1980. 407p.

PATHARE, P.B.; OPARA, U.L.; AL-SAID, F.A-J. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods. A review. **Food and Bioprocess Technology**, v.6, p. 36-60, 2013.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: determinação e modelagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 225-230, 2008.

SACRAMENTO, C. K.; BARRETTO, W. S.; FARIA, J. C. Araçá-boi: uma alternativa para agroindústria. **Bahia Agrícola**, v. 8, n. 2, p. 1-9, 2008.

SAMIRA, A.; WOLDETSADIK, K.; WORKNEH, T. S. Postharvest quality and shelf life of some hot pepper varieties. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 5, p. 842-855, 2013.

SILVA, F. A. S. e; AZEVEDO, C. A. V.de. The Assistat Software Version 7.7 and it's use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SILVA, L. M. R.; FIGUEREIDO, E. A. T.; RICARDO, N. M. SILVA; VIEIRA, I G. P.; FIGUEIREDO, R. W; BRASIL, I. M.; GOMES, C. L. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 143, p. 398-404, 2014.

SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M.; BECKER, F. S.; SOUZA, E. R. B.; VERA, R. Propriedades físicas e químicas de grãos de feijões crioulos vermelhos. **Revista Caatinga**. v. 28, n. 1, p. 263-269, 2015..

SOARES, D. S. C.; SANTOS, J. T. S.; CAMPOS, A. F. P.; COSTA, F. S. C.; NUNES, T. P.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. M. Avaliação do tempo de congelamento de mangaba (*Hancornia Speciosa* Gomes) em ultrafreezer através dos modelos matemáticos de Planck e Pham. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4, p. 1-6, 2012.

TRES, M. V.; BORGES, G. R.; CORAZZA, M. L.; ZAKRZEVSKI, C. A. Determinação da difusividade térmica de alimentos: medidas experimentais e simulação numérica. **Perspectiva**, v. 35, n. 131, p. 43-56, 2011.

VIRGOLIN, L. B.; SEIXAS, F. R. F.; JANZANTTI, N. S. Composition, content of bioactive compounds, and antioxidant activity of fruit pulps from the Brazilian Amazon biome. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 10, p. 933-941, 2017.

ARTIGO IV

**COMPORTAMENTO HIGROSCÓPICO DA POLPA DE ARAÇÁ-BOI EM PÓ
OBTIDA PELO MÉTODO DE LIOFILIZAÇÃO**

COMPORTAMENTO HIGROSCÓPICO DA POLPA DE ARAÇÁ-BOI EM PÓ OBTIDA PELO MÉTODO DE LIOFILIZAÇÃO

RESUMO: A liofilização de polpas de frutas produz pós com alta quantidade de açúcares amorfos sendo, portanto, responsável pela elevada higroscopicidade nesses pós. Uma forma de se conhecer o comportamento higroscópico de alimentos em pó é através de suas isotermas de sorção. Assim, os principais objetivos deste estudo foram avaliar as características físico-químicas do pó de araçá-boi liofilizado, verificar e verificar o seu comportamento higroscópico através das isotermas de adsorção utilizando diferentes modelos matemáticos. As formulações da polpa de araçá-boi + maltodextrina (14, 21 e 28%) foram acondicionadas em formas plásticas e submetidas a congelamento lento através do contato direto das mesmas com o ambiente resfriado em freezer à -18 °C por 48 h, em seguida, desidratadas utilizando liofilizador de bancada. Foram determinadas os parâmetros de teor de água, sólidos totais, pH e acidez titulável em triplicata. As isotermas de adsorção de água do pó de araçá-boi nas temperaturas de 25, 30 e 35 °C. Os modelos de Henderson, Oswin, Halsey, GAB e Peleg foram ajustados às isotermas de adsorção de água utilizando-se regressão não linear. A partir dos valores do coeficiente de determinação (R^2) e do desvio percentual médio (P) apresentado. Verificou-se que, entre os modelos estudados e considerando as temperaturas testadas, os valores de R^2 obtidos em GAB, Halsey e Peleg estão tão próximos entre si que, no pior dos casos, não superam 0,9% de diferença. A melhor representação matemática das isotermas foi obtida pelo modelo de GAB, uma vez que apresentou os menores valores para X_m , sendo, portanto, o modelo que melhor explica o ganho de água.

PALAVRAS-CHAVE: *Eugenia stipitata*, isotermas, modelos matemáticos

HYPROSCOPIC BEHAVIOR OF POLYESTER OF “ARAÇÁ-BOI” IN POWDER OBTAINED BY THE METHOD OF LYOPHILIZATION

ABSTRACT: The lyophilization of fruit pulps produces powders with high amounts of amorphous sugars and is therefore responsible for the high hygroscopicity of these powders. One way of knowing the hygroscopic behavior of powdered foods is through their sorption isotherms. Thus, the main objectives of this study were: to evaluate the physicochemical characteristics of lyophilized “araçá-boi” powder, to verify its hygroscopic behavior through adsorption isotherms using different mathematical models. The formulations of the “araçá-boi” + maltodextrin pulp (14, 21 and 28%) were conditioned in plastic forms and submitted to slow freezing through the direct contact of the pulps with the cooled environment in freezer at -18 °C for 48 h, then , were dehydrated using bench freeze drier. The parameters of water content, total solids, pH and titratable acidity in triplicate. The water adsorption isotherms of “araçá-boi” powder at temperatures of 25, 30 and 35 °C. The Henderson, Oswin, Halsey, GAB and Peleg models were fitted to the water adsorption isotherms using non-linear regression. From the values of the coefficient of determination and the mean percentage deviation (P) presented, it is verified that, between the models studied and considering the temperatures tested, R^2 values obtained in GAB, Halsey and Peleg are so close among which, in the worst case, do not exceed 0.9% difference 3. The best mathematical representation of the isotherms was obtained by the GAB model, since it presented the lowest values for X_m , being therefore the model that best explains the water gain

KEYWORDS: *Eugenia stipitata*, isotherms, mathematical models

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta uma distinta diversidade de frutas nativas, mas boa parte ainda não é explorada, somente alguns dos tipos de frutos são utilizados na comercialização *in natura* e na forma de produtos derivados (CAVALCANTI et al., 2011). Fruto nativo da região Amazônica o araçá-boi é pouco conhecido, mas apresenta um vasto potencial econômico. Esse fruto possui fácil cultivo e cresce em diversos tipos de solos firmes, dando frutos com aproximadamente dois anos de idade, contém uma quantidade de polpa considerável, contribuindo assim para um maior aproveitamento na industrialização de seus derivados como sucos, sorvetes, doces e creme (SOUSA et al., 2012). A perecibilidade desta fruta é vista como motivo para inviabilizar seu consumo em diferentes regiões na forma *in natura* (VIANA et al., 2012). Assim, a utilização de tecnologias de conservação é de fundamental importância na manutenção de suas propriedades funcionais e nutricionais, possibilitando o alcance de novos mercados e assim seu aproveitamento *in natura* para outros fins sem a necessidade de processamento.

Entre as técnicas para melhorar a qualidade de frutas tem-se a de desidratação ou secagem, a qual permite agregar valor, retardar a deterioração e obter um novo produto, nova opção de consumo. Dentre as técnicas de secagem em alimentos, a liofilização tem se destacado como um método eficiente, que trabalha com baixas temperaturas proporcionando a obtenção de produtos com características sensoriais e nutricionais melhores do que os outros métodos de secagem Oikonomopoulou et al. (2011).

A liofilização de polpas de frutas produz pós com altas quantidades de açúcares amorfos sendo, portanto, responsável pela elevada higroscopicidade desses pós (CARLOS et al., 2005). Adjuvantes de secagem podem ser misturados aos sucos ou polpas de frutas com a finalidade de reduzir a higroscopicidade dos pós obtidos. A maltodextrina é um adjuvante muito utilizado na obtenção de alimentos em pó, incluindo aqueles por liofilização. Maltodextrinas são obtidas pela hidrólise do amido constituídas de unidades β -D-glicose e classificadas de acordo com sua dextrose equivalente (DE) (KUROZAWA et al., 2009). Uma forma de conhecer o comportamento higroscópico de alimentos em pó é através de suas isotermas de sorção. A

avaliação da isoterma permite entender a tendência do equilíbrio higroscópico sob diferentes condições de temperatura e umidade do ar, preveja propriedades químicas, reações microbiológicas e no desenvolvimento do tipo de embalagem e nas condições de armazenamento do produto, inclusive quando o mesmo é constituído por componentes de atividade de água diferentes (Oliveira et al., 2011).

Vários modelos matemáticos são usados para determinar a isotermas de sorção, entretanto, segundo Moreira et al. (2013), as precisões desses modelos dependem de intervalos de atividade de água ou tipos de comida; portanto, o uso de apenas um modelo de equação para análise isotérmica de vários tipos de alimentos não é possível devido a condições específicas de atividade de água e composição de alimentos. Assim, os principais objetivos deste estudo foram avaliar as características físico-químicas do pó de araçá-boi liofilizado e verificar o seu comportamento higroscópico através das isotermas de adsorção utilizando diferentes modelos matemáticos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos de araçá-boi (*Eugenia stipitata*) foram adquiridos na Fazenda Amizade, Vila Brasil – Una, localizado no interior da Bahia. Foram selecionados quanto ao estágio de maturação, os que apresentavam injúrias mecânicas foram descartados, não se enquadrando aos padrões estabelecidos para comercialização. Posteriormente, os frutos foram acondicionados em caixas térmicas e transportados para o Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

O processo de sanitização dos frutos foi realizado utilizando hipoclorito de sódio a 100 ppm por 10 min, sendo enxaguados e lavados em seguida. Posteriormente os frutos foram despulpados, utilizando despulpadeira horizontal com peneira de 0,8 mm de diâmetro. A polpa foi acondicionada em sacos plásticos de polietileno (100 g), armazenada em freezer e congelada á - 18 °C, até o momento das análises.

As formulações da polpa de araçá-boi + maltodextrina (14, 21 e 28%) foram acondicionadas em formas plásticas e submetidas a congelamento lento

através do contato direto das mesmas com o ambiente resfriado em freezer à -18 °C por 48 h, em seguida, foram desidratadas utilizando liofilizador de bancada da marca Christ, modelo ALPHA 1-2 LDplus, na temperatura de -40 °C por 48 h. Após liofilização, as polpas formuladas desidratadas foram desintegradas com uso de almofariz.

Foram determinadas, em triplicata, conforme os procedimentos analíticos do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008) as seguintes análises: teor de água e sólidos totais pelo método de secagem das amostras em estufa à 105 °C, até peso constante; pH determinado na amostra diluída em água destilada, utilizando potenciômetro digital; a acidez total titulável por titulometria com NaOH 0,1 N; os sólidos solúveis totais através de leitura direta da amostra em refratômetro portátil.

Seguindo os procedimentos da AOAC (2010) o teor de ácido ascórbico foi determinado através da titulação com o 2,6 diclorofenolindofenol sódio (DCFI) até obtenção da coloração rosa claro. A medida da atividade de água (A_w) foi realizada por meio do equipamento Aqualab modelo 3TE (Decagon Devices, Inc.).

A determinação da cor das amostras foi realizada obtendo-se os parâmetros L^* , a^* e b^* medidos com espectrofotômetro portátil Hunter Lab Mini Scan XE Plus, em que L^* define a luminosidade ($L^* = 0$ – preto e $L^* = 100$ – branco) e a^* e b^* são responsáveis pela cromaticidade ($+a^*$ vermelho e $-a^*$ verde; $+b^*$ amarelo e $-b^*$ azul).

A partir dos valores de a^* e b^* , foram calculados os valores de croma (C^*) (Equação 1) e ângulo de tonalidade (h) (Equação 2).

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (1)$$

$$h = \tan^{-1}(a^*/b^*) \quad (2)$$

A solubilidade dos pós foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Eastman e Moore (1984), modificada por Cano-Chauca et al. (2005). Foi adicionado 1 g de pó em 100 mL de água destilada, sendo agitado por 5 min em agitador magnético. O pó disperso em água destilada foi centrifugado a 2600 rpm por 5 min. Foi transferida, para uma placa de Petri,

uma alíquota de 25 mL do sobrenadante, e em seguida, pesada e submetida à secagem em estufa a 105 °C por 24 h. A solubilidade foi calculada de acordo com a Equação 3.

$$S = \left[\left(\frac{M_s}{M_a} \right) \times 4 \right] \times 100 \quad (3)$$

em que:

S - solubilidade (%);

Ms - massa dos sólidos dissolvidos no sobrenadante (g); e,

Ma – massa da amostra (g).

A molhabilidade foi determinada através da metodologia descrita por Freudig et al. (1999), na qual consiste em depositar suavemente 1 g de amostra sobre 100 mL de água destilada á 25 °C e determinar visualmente o tempo necessário para que todas as partículas se molhem. O cálculo da taxa de molhabilidade foi realizado conforme a Equação 4.

$$M = \frac{m}{t} \quad (4)$$

em que:

M – molhabilidade (g/s);

m – massa da amostra (mg); e,

t – tempo (s).

Os dados gerados da caracterização química, física e físico-química foram submetidos à análise de variância e à comparação entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade através do programa Assistat, versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

As determinações microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia de alimentos da Universidade Federal da Paraíba, Campus III – Bananeiras, PB. Realizaram-se análises microbiológicas no pó do araçá-boi. Foram determinados fungos filamentosos e leveduras, *Staphylococcus coagulase* positiva, mesófilos aeróbios viáveis, coliformes à 35 °C e

termotolerante (em triplicata) e pesquisa de *Salmonella* spp, segundo recomendações da RDC nº 12 (BRASIL, 2001) e o manual de métodos de análise microbiológica de alimentos a partir da metodologia descrita por Downes e Ito (APHA, 2001). As isotermas de adsorção de água do pó de araçá-boi nas temperaturas de 25, 30 e 35 °C foram determinadas de acordo com o método especial indireto estático proposto por Capriste e Rotstein (1982), utilizando-se o higrômetro Aqualab modelo 3 TE, para medir a atividade de água. Os modelos de Henderson, Oswin, Halsey, GAB e Peleg (Tabela 1) foram ajustados às isotermas de adsorção de água utilizando-se regressão não linear, pelo método Quasi-Newton por meio do programa computacional Statistica 7.7.

Tabela 1. Modelos matemáticos para ajustes de isotermas de sorção de água

Modelo	Equação
Henderson	$X_e = A \cdot \exp(-k \cdot t)$ (5)
Oswin	$X_e = a \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b$ (6)
Halsey	$X_e = \exp\left(\frac{-A}{U_{eq}^B}\right)$ (7)
GAB	$X_e = \left(\frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \right)$ (8)
Peleg	$X_e = k_1 a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2}$ (9)

X_e – teor de água de equilíbrio, kg/kg; X_m – teor de água na monocamada molecular, kg/kg; a_w – atividade de água, adimensional; T – temperatura (°C); a , b , c , k , k_1 , k_2 , n_1 , n_2 – constantes das equações.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculado pela Equação 10.

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(X_{exp} - X_{pre})|}{X_{exp}} \quad (10)$$

em que:

- P - desvio percentual médio (%);
- X_{exp} - valores obtidos experimentalmente;
- X_{pre} - valores preditos pelo modelo; e,
- n - número de dados experimentais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão os dados da caracterização química, física e físico-química das polpas de araçá-boi em pó formulada com diferentes concentrações de maltodextrina. Foi constatada diferença significativa entre os valores médios da atividade de água (A_w) e da umidade. Observou-se que com a adição da maltodextrina à polpa houve redução de A_w e da umidade. Os pós apresentaram $A_w < 0,6$ o que os torna produtos com baixo risco de

desenvolvimento de micro-organismos, desde que sejam embalados em embalagens impermeáveis.

Tabela 2. Caracterização química, física e físico-química das polpas de araçá-boi em pó formuladas com diferentes concentrações de maltodextrina

Parâmetros	Concentração (%)		
	14	21	28
Teor de água (%)	7,63 ± 0,030 b	7,88 ± 0,030 a	7,53 ± 0,040 c
Atividade de água (A_w)	0,146 ± 0,005 a	0,103 ± 0,002 b	0,073 ± 0,003 c
Sólidos totais (%)	92,37 ± 0,03 b	92,12 ± 0,030 c	92,47 ± 0,04 a
Acidez total titulável	1,59 ± 0,000 a	1,22 ± 0,030 b	1,01 ± 0,010 c
pH	2,82 ± 0,020 a	2,86 ± 0,030 a	2,87 ± 0,020 a
Sólidos solúveis totais (°Brix)	8,10 ± 0,120 c	8,47 ± 0,060 b	9,10 ± 0,100 a
Luminosidade (L^*)	73,82 ± 0,080 c	75,94 ± 0,060 b	76,83 ± 0,070 a
Intensidade de vermelho (+a*)	4,35 ± 0,0300 a	3,94 ± 0,030 b	3,87 ± 0,040 b
Intensidade de amarelo (+b*)	26,89 ± 0,090 a	25,25 ± 0,280 b	24,79 ± 0,240 b
Croma (C^*)	27,24 ± 0,090 a	25,55 ± 0,280 b	25,09 ± 0,240 b
Ângulo de tonalidade (°)	80,80 ± 0,050 b	81,14 ± 0,150 a	81,12 ± 0,030 a
Solubilidade (%)	36,12 ± 1,980 a	32,74 ± 1,400 ab	29,99 ± 1,530 b
Molhabilidade (g/s)	42,67 ± 0,430 a	11,70 ± 0,760 b	7,29 ± 0,360 c

O efeito da adição de maltodextrina à polpa de araçá-boi provocou uma diminuição na acidez titulável e em outros componentes. A quantidade de sólidos totais na polpa de araçá-boi está em torno de 4,6 (GARZON et al.,

2012). A adição de maltodextrina à polpa, proporcionou o aumento do teor de sólidos solúveis, chegando a 92,47% do total de sólidos para a formação adicionada de 28% desse aditivo de secagem. Oliveira et al. (2006) também observaram, ao realizar uma análise comparativa entre a composição de polpa de pitanga integral e formulada com 15% de maltodextrina, redução na acidez total.

Não foi observado diferença significativa entre as médias do pH entre as amostras, com todos os valores menores do que 3; no entanto, o pH foi aumentando com adição do aditivo. Isso pode ser explicado pelo fato de que a maltodextrina reduz a concentração dos ácidos orgânicos presentes na amostra, elevando o pH.

Com relação aos resultados da análise colorimétrica tem-se que a luminosidade (L^*) do pó adicionado de maltodextrina apresentou maior valor devido a maltodextrina ser branca, deixando a polpa mais clara. Quanto às coordenadas a^* e b^* , observou-se uma diminuição nesses parâmetros no pó contendo maltodextrina. Esta redução da tonalidade do vermelho e amarelo também está relacionada à diluição da cor, provocada pela presença do agente carreador utilizado (TONON et al., 2009).

Na Tabela 3 estão os dados da determinação microbiológica da polpa araçá-boi em pó formuladas com diferentes concentrações de maltodextrina. Em relação aos microrganismos do grupo coliformes termotolerantes, as amostras liofilizadas obedeceram aos padrões bacteriológicos para consumo, cujos valores de contagem padrão foram < 3 NMP/g para as três amostras analisadas. A legislação brasileira estabelece para frutas secas e desidratadas limite máximo de 10^2 NMP/g para coliformes a 45° . Resultado semelhante foi observado por Brandão et al., (2003), os quais notaram baixos valores (< 3 NMP/g) para coliformes a 45°C em polpa de caju desidratado.

O resultado das análises microbiológicas do pó do araçá-boi apresentou resultados satisfatórios para todas as análises liofilizadas associadas ao agente carreador obedeceram aos padrões bacteriológicos para consumo. De acordo com os resultados obtidos na polpa de araçá-boi liofilizada, todas as amostras analisadas em *relação salmonella*, demonstraram ausência de *salmonella* sp/25g estando em conformidade com a Resolução RDC Nº 12, de 02 de janeiro de 2001.

Isso se deve a redução da atividade de água, que torna as condições desfavoráveis para o desenvolvimento da maioria dos microrganismos. Vale também ressaltar que as boas práticas de higiene e sanificação foram satisfatórias durante a manipulação e elaboração dos produtos contribuindo para a segurança microbiológica dos mesmos.

Tabela 3. Caracterização microbiológica das polpas de araçá-boi formuladas com diferentes concentrações de maltodextrina

Parâmetros	Formulações		
	14	21	28
<i>Enterobacterias</i>	< 1x10 ²	< 1x10 ²	< 1x10 ²
<i>Coliformes termotolerantes</i> (NMP*/mL)	< 3	< 3	< 3
<i>Salmonella</i> spp. (**25 g)	Ausente	Ausente	Ausente
<i>Fungos filamentosos</i> (**UFC/g)	2 x 10 ¹	1,2 x 10 ³	< 3
<i>Staphylococcus aureus</i> (UFC/mL)	1,7 x 10 ¹	1 x 10 ⁰	3,5 x 10 ⁴

*NMP - número mais provável; **A - ausência em 25g; ***UFC - unidade formadora de colônia

As isotermas de adsorção de água foram determinadas na formulação. Na Tabela 4 tem-se os parâmetros de ajuste dos modelos de Henderson, Oswin, Halsey, GAB e Peleg ajustados às isotermas de adsorção de água do pó de Araçá-boi, nas temperaturas de 25, 30 e 35 °C, com seus respectivos coeficientes de determinação (R²) e os desvios percentuais médios (P).

A partir dos valores do coeficiente de determinação (R²) e do desvio percentual médio (P) apresentados na Tabela 4, verificou-se que, entre os modelos estudados e considerando as temperaturas testadas, os valores de R² obtidos em GAB, Halsey e Peleg estão tão próximos entre si que, no pior das hipóteses superam 0,9% de diferença.

Esses resultados são superiores se comparados aos encontrados por Gomes et al. (2002), ao caracterizar isotermas de adsorção de polpa em pó de acerola

Tabela 4. Parâmetros dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água do pó de araçá-boi, nas diferentes temperaturas

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros				R ²	P (%)
		A		B			
Henderson	25	24,061		0,740		0,937	10,830
	30	23,853		0,737		0,940	8,820
	35	25,120		0,867		0,957	11,710
Oswin	Temperatura (°C)	a		b		R ²	P (%)
	25	18,600		0,409		0,985	4,550
	30	18,372		0,422		0,989	4,000
	35	18,616		0,479		0,990	5,600
Halsey	Temperatura (°C)	A		B		R ²	P (%)
	25	300,939		2,078		0,993	1,500
	30	229,523		1,993		0,998	1,19
	35	123,608		1,772		0,997	2,420
GAB	Temperatura (°C)	X _m	c	k		R ²	P (%)
	25	10,149	1214880	0,870		0,990	2,600
	30	10,021	1846,128	0,877		0,996	2,120
	35	9,9756	1018994	0,906		0,996	2,800
Peleg	Temperatura (°C)	k ₁	n ₁	k ₂	n ₂	R ²	P (%)
	25	24,580	0,431	48,634	6,817	0,991	1,870
	30	24,358	0,433	51,915	6,975	0,988	1,530
	35	63,158	7,266	26,130	0,503	0,997	1,560

Considerando os valores do coeficiente de determinação (R²) e do erro médio relativo (P), todos os modelos testados descreveram satisfatoriamente as isotermas de adsorção de água do pó de araçá-boi, nas temperaturas analisadas, uma vez que, seus coeficientes ficaram acima de 98% (com

exceção de Henderson), bem como a média do erro relativo inferior a 4,5%, tendo neste quesito obtido os melhores valores (abaixo da média) nos modelos de Halsey, GAB e Peleg, contudo, a melhor representação matemática das isotermas foi obtida pelo modelo de GAB, uma vez que, apresentou os menores valores para X_m , sendo, portanto, o modelo que melhor explica o ganho de água, esse resultado vai de encontro ao estudo realizado por Gouveia et al. (2004), ao estudar polpa de banana e por Ascheri e Martucci (1996) os quais identificaram que se trata do modelo que melhor representou o fenômeno de adsorção de umidade das microcápsulas do óleo essencial de laranja. Tostes et al. (1996) ao analisarem as isotermas de adsorção de umidade a 15 °C do pó de marapuama.

O bom ajuste obtido com o modelo de GAB confirma descrições da literatura que afirmam que o mesmo, ajusta-se a grande maioria das isotermas de alimentos (MATOS et al., 2014). Costa et al. (2003), comentam que o modelo de GAB (modelo matemático de Guggenheim, Anderson e de Boer) é um dos modelos mais utilizados em produtos alimentícios, tem como objetivo calcular a massa de água da monocamada e o valor do calor de sorção. Sua equação comporta um parâmetro K a mais, que corresponde a um fator de correção das propriedades da multicamada.

As isotermas de adsorção a 25, 30 e 35 °C do pó de araquá-boi com ajuste pelo modelo de GAB e seus valores do teor de água de equilíbrio com diferentes atividades de água (A_w) podem ser visualizados na Figura 1. Conforme explicam Costa et al. (2003), as isotermas são obtidas traçando água de equilíbrio de cada pó em função da A_w . De forma geral, apresentam forma sigmoideal, o que acontece com a maioria dos pós alimentícios.

De acordo com Costa et al. (2003), as isotermas de adsorção são normalmente divididas em três partes diferentes. A primeira que corresponde a uma A_w compreendida entre 0 e 0,3, na qual observa-se um aumento importante do teor de água com o aumento da A_w . Fato percebido, na Figura 1, estando abaixo de 10% de diferença entre a A_w igual a 0 e A_w igual a 0,3. Na segunda parte das isotermas, onde a A_w varia entre 0,3 e 0,6, observa-se um pequeno aumento do teor de água e uma forte modificação da A_w . No presente estudo o comportamento foi o contrário do descrito por Costa et al. (2003), pois, a partir de 0,3 de A_w , percebeu-se um maior aumento do teor de água.

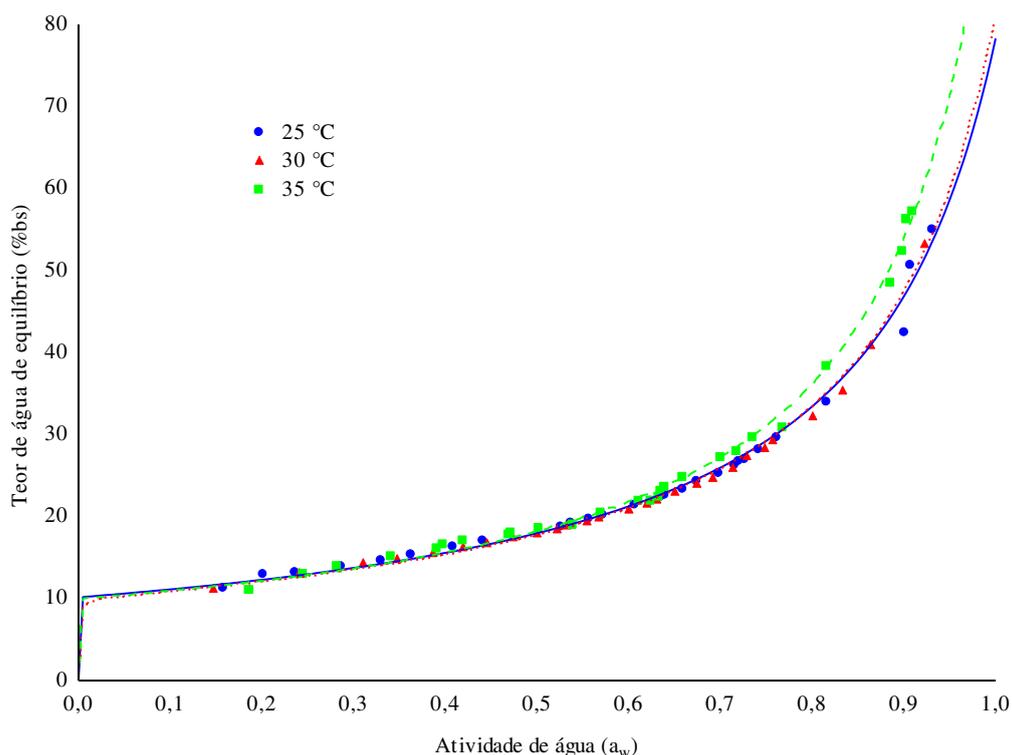


Figura 1. Isotermas de adsorção de água nas temperaturas de 25, 30 e 35 °C do pó de araçá-boi, com ajustes pelo modelo de GAB

O autor explica que nessa etapa, o pó é hidratado por camadas sucessivas da molécula de água, retida por ligações de hidrogênio cada vez mais enfraquecidas, e também por ligações do tipo Van der Waals e que a participação das moléculas de água nesta fase em reações bioquímicas é muito limitada Martin (1991). Na terceira parte a a_w variou de 0,6 a 1, constatando um forte aumento do teor de água. Esse comportamento é verificado na isoterma demonstrada na Figura 1.

De acordo com o autor (COSTA et al., 2003), além de Loisel (1988) e Riganakos et al. (1994), este aumento se dá em consequência da presença de substâncias solúveis e da alta porosidade do substrato. A água presente nesta fase está ligada por forças de natureza capilar ou osmótica, esta água se mantém disponível para as reações bioquímicas.

As isotermas das Figuras 1 demonstram a adsorção de água nas temperaturas de 25, 30 e 35 °C do pó de araçá-boi com ajustes pelo modelos

de GAB . Apresentando ambas comportamento que Al-Munhtaseb et al., (2004), descreveu como que previsto para uma curva de adsorção do tipo S. De acordo com Matos et al. (2014), este comportamento é mais associado à adsorção de alimentos, dadas as características que possuem de absorver grandes concentrações de água com baixa concentração de soluto. Os modelos de Halsey e de Peleg proporcionaram o melhor ajuste para a adsorção a 35 °C, tal como o de GAB foi o melhor modelo. De acordo com o ajuste obtido para o modelo de GAB, o conteúdo de umidade da camada monomolecular (X_0) foi de 0,0582 kg água/kg material seco para o experimento de adsorção a 25 °C e 0,00845 kg água/kg material seco para a adsorção a 40 °C. Em produtos alimentícios, esse valor é indicativo da estabilidade do alimento frente à maioria das transformações físicas e químicas indesejáveis.

4. CONCLUSÕES

O resultado das análises microbiológicas do pó do araquá-boi apresentou resultados satisfatórios para todas as análises liofilizadas associadas ao agente carreador que obedeceram aos padrões bacteriológicos para consumo.

A melhor representação matemática das isotermas é obtida pelo modelo de GAB, uma vez que, apresenta os menores valores para X_m , sendo portanto, o modelo que melhor explica o ganho de água

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-MUNHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders Part1: mathematical description of experimental. **Journal of Food Engineering**. v. 61, n. 1, p. 297-307, 2004.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 18th ed, 3th review, Washington, USA: AOAC, 2010. 1094p.

ASCHERI, D. P. R.; MARTUCCI, E. T. Microencapsulamento de óleo essencial de laranja: determinação de isotermas de adsorção. In: HUMBINGER, M.; MURR, F. X.; AGUILERA, J.; M. Equipos y procesos para la industria de

alimentos. In: Congresso Ibero-Americano de Ingenieria de Alimentos. **Anais...** Valencia, Espãna, 1996.

BRANDÃO, M. C. C.; MAIA, G. A.; LIMA, D. P.; PARENTE, E. J. S.; CAMPELLO, C. C.; NASSU, R. T.; FEITOSA, T.; SOUSA, P. H. M. Análises físico-químicas, microbiológicas e sensoriais de pedúnculos de caju submetidos a desidratação osmótico-solar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n.2, p.139-145, 2003.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, C. Effect of the carriers on the microstructure of mango power obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorption equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 1, p. 1501-1507, 1982.

CAVALCANTI, R. N.; VEGGI, P. C.; MEIRELES, M. A. A. Supercritical fluid extraction with a modifier of antioxidant compounds from jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) byproducts: economic viability. **Procedia Food Science**. v. 1, p. 1672-1678, 2011.

COSTA, J. M. C.; MEDEIROS, M. F. D.; MATA, A. M. L. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 1, p. 1-5, 2003.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold-water-soluble granular starch for gelled food compositions**. US Patent. V. 4, 1984.

FREUDIG, B.; HOGEKAMP, S.; SCHUBERT, H. Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. **Chemical Engineering and Processing**, v. 38, n. 4-6, p. 525-532, 1999.

GARZÓN, G. A.; NARVÁEZ-CUENCA, C. E.; KOPEC, R. E.; BARRY, A. M.; RIEDL, K. M.; SCHWARTZ, S. J. Determination of carotenoids, total phenolic

content, and antioxidant activity of Arazá (*Eugenia Stipitata McVaugh*), an Amazonian fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 18, p. 4709-4717, 2012.

GOMES, P. M. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Caracterização e isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 2, p.157-165, 2002

GOUVEIA, J. P. G.; NASCIMENTO, J.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, M. S.; FARIAS, E. S.; SILVA, F. L. H. Modelos matemáticos para ajuste das isotermas de dessorção da polpa de banana da variedade prata. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 3, p.799-806, 2004.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p.

KUROZAWA, L. E.; PARK, K. J.; HUBINGER, M. D. Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein. **Journal of Food Engineering**, v. 91, p. 287-296, 2009.

LOISEI, C. **Contribution a l'étude des propriétés rhéologiques de quelques poudres alimentaires: influence des contributions hygrométriques**. 1988. 250f. Thèse (Douteur en Sciences et Technologie des Poudructions Végétales et Alimentaires), Université de Nantes, Nantes, France. 1988.

MARTIN, G. **L'eau dans les céréales**. In: GODON, B.; WILLIM, C. Les industries de premier transformation des céréales. **Technique et Documentation Lavoisier**, p.155-156, 1991.

MATOS, E. N. V.; SAMPAIO, R. M.; PAULA, M. L. Determinação das isotermas de adsorção e do calor de sorção de farinha de babaçu comercial. **Cadernos de Pesquisa**, v. 21, n. especial, 2014.

MOREIRA, T. B.; Rocha, E. M. F. F.; Afonso, M. R.; Costa, J. M. C. da. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga

liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1093-1098, 2013.

OIKONOMOPOULOU, V. P.; KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T. The influence of freeze drying conditions on microstructural changes of food products. **Procedia Food Science**, v. 1, p. 647-654, 2011.

OLIVEIRA, F. M. N.; Figueiredo, R. M. F.; Queiroz, A. J. M. Análise comparativa de polpas de Pitanga Integral, Formulada e em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 8, p. 25-33, 2006.

OLIVEIRA, V. S. de; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. da. Physico chemical and hygroscopic behavior of saporilla lyophilized. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, p. 342-348, 2011.

RIGANAKOS, K. A.; DEMERTZIS, P. G.; KONTOMINAS, M. G. Water sorption by wheat and soy flour: comparison of three methods. **Journal Cereal Science**, v. 20, p. 101-106, 1994.

SACRAMENTO, C. K.; BARRETTO, W. S.; FARIA, J. C. Araçá-boi: uma alternativa para agroindústria. **Bahia Agrícola**, v. 8, n. 2, 2008.

SILVA, F. de A. S. e; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and it's use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SOUZA, V. R.; Pereira, P. A. P.; PINHEIRO, A. C. M.; NUNES, C. A.; SILVA, T. L. T.; BORGES, S. V.; QUEIROZ, F. Multivariate approaches for optimization of the acceptance: optimization of a brazilian cerrado fruit jam using mixture design and parallel factor analysis. **Journal of Sensory Studies**, v. 27, p. 417-424, 2012.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, p. 444-450, 2009.

TOSTES, E.; RIBEIRO, C.; GRANDI, J. G. Utilização de equações de dois e três parâmetros na modelagem matemática da isoterma de adsorção de umidade à 15°C do pó de marupuama (*Ptycopetalum olacoides* Benth). In: HUMBINGER, M.; MURR, F.X.; AGUILERA, J.; M. Equipos y procesos para la industria de alimentos. In: Congreso Ibero-Americano de Ingenieria de Alimentos, 1, **Anais...** Valencia, Espãna, 1996.

VIANA, E. de S.; JESUS, J. L. de; REIS, R. C.; FONSECA, M. D.; SACRAMENTO, C. K. do. Caracterização fisico-química e sensorial de geleia de mamão com araçá-boi. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 4, p. 1154-1164, 2012.