



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

**ESTUDO DE ESTABILIDADE DO SUCO MISTO DE ACEROLA E CIRIGUELA
ATOMIZADO**

ANA LAURA ROTELA RIVEROS

Recife

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

R621e Riveros, Ana Laura Rotela.
Estudo de estabilidade do suco misto de acerola e ciriguela atomizado / Ana
Laura Rotela Riveros. – Recife, 2019.
67 f.: il.

Orientador(a): Maria Inês Sucupira Maciel.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa
de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos, Recife, BR-PE, 2019.
Inclui referências.

1. Armazenamento 2. Atomização 3. Físico-químicas – Características
4. Compostos bioativos I. Maciel, Maria Inês Sucupira, orient. II. Título.

CDD 640

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

ANA LAURA ROTELA RIVEROS

**ESTUDO DE ESTABILIDADE DO SUCO MISTO DE ACEROLA E CIRIGUELA
ATOMIZADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

ORIENTADORA: Profa. Dra. Maria Inês Sucupira Maciel

Recife

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

**ESTUDO DE ESTABILIDADE DO SUCO MISTO DE ACEROLA E CIRIGUELA
ATOMIZADO**

Por Ana Laura Rotela Riveros

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos e aprovada em 27/02/2019 pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimento em sua forma final.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Enayde de Almeida Melo
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profa. Dra. Samara Alvachian Cardoso Andrade
Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Christine Maria Carneiro Maranhão Ribeiro
Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar presente a cada passo que dou, por colocar pessoas tão especiais a meu lado, sem as quais certamente não teria dado conta.

A meus pais, Verónica e Modesto, pilares fundamentais na minha vida, por seus sacrifícios, apoio e amor eterno.

A meus irmãos, Fernando e Julio e minhas irmãs, Carol e Lizzy, por seus apoios e cumplicidade na distância.

Aos meus amigos e minhas amigas de sempre, pela confiança, apoio e pelas conexões online incondicionais.

As amigas e companheiras do apartamento, pela torcida e experiências ganhadas.

À família Carnaval, por me acolher e me permitir ser parte dela.

As minhas colegas e amigas do mestrado, Luana, Hákylla e Amanda, por seus companheirismos e momentos divididos juntas dentro e fora da sala de aula ou laboratório.

A Michelle Barreto, pela paciência e conselhos desde início até o fim da pesquisa. Gratidão!

A Thais Rodrigues, pela amizade e companheirismo. Obrigada!

Aos companheiros e companheiras de laboratório, pelas vivências e imprevistos de cada análise. Muito obrigada.

Às professoras e colegas de sala, pelo aprendizado e experiências ganhadas.

À professora Maria Inês Sucupira Maciel, por suas orientações e por aceitar o desafio de me acompanhar nesta conquista.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro durante o período do curso.

À Organização dos Estados Americanos (OEA) e ao Grupo Coimbra das Universidades Brasileiras (GCUB), pelo auspício da bolsa acadêmica de pós-graduação.

Finalmente, à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pela oportunidade de cursar a Pós-graduação e por todos os benefícios que me proporcionaram como estudante.

Obrigada a todos que me acompanharam neste caminho de uma conquista mais na minha vida.

RESUMO

A região Nordeste do Brasil tem uma ampla variedade de frutas nativas e exóticas, fontes de fitoquímicos que exercem propriedades benéficas na saúde humana. O processo de secagem por atomização de frutas é um método viável, confere uma maior estabilidade do produto, permitindo ao consumidor a aquisição durante o ano inteiro. Devido a sua natureza amorfa, os sucos de frutas em pó são sensíveis a variações de fatores extrínsecos que podem levar à perda de nutrientes e compostos bioativos, especialmente durante o armazenamento. A vida de prateleira é o tempo que um alimento pode ser armazenado em condições apropriadas enquanto mantém uma ótima qualidade e segurança. Neste contexto, objetivou-se avaliar a estabilidade do suco misto de acerola e ciriguela atomizado (SMACA) determinando, assim, as condições ótimas de armazenamento para minimizar as alterações físico-químicas e a perda de compostos bioativos. A secagem por atomização foi realizada em um mini *spray dryer*, com temperatura de 140 °C, vazão de alimentação de 0,60 L/h e a quantidade de 10% de maltodextrina 5 DE. O SMACA foi armazenado em diferentes condições de a_w de 0,11, 0,23 e 0,34 a 25 °C durante 90 dias. Nas amostras de SMACA foram avaliados os parâmetros de a_w , umidade, pH, acidez titulável, sólidos solúveis, parâmetros de cor, compostos bioativos (ácido ascórbico, carotenóides e fenólicos totais) e atividade antioxidante, no tempo inicial, após 30, 60 e 90 dias de armazenamento. Além disso, foi realizada a determinação das isotermas de sorção. Os maiores valores para a_w e umidade não ultrapassaram 0,40 e 6,77 %, respectivamente, considerados estáveis e seguros para alimentos em pó. Com o aumento de a_w e tempo de armazenamento, o SMACA apresentou um aumento significativo na diferença de cor e tendo também alterações de textura. Perdas significativas foram observadas ao final do período de armazenamento (90 dias) nos teores de ácido ascórbico, carotenóides e fenólicos totais. Os modelos GAB, BET linear e Halsey foram os que tiveram melhor ajuste aos dados para a obtenção da isoterma de adsorção do SMACA a 25 °C. O armazenamento do SMACA de 30 a 60 dias em a_w 0,11 a 25 °C mantém as características físico-químicas, compostos bioativos e atividade antioxidante mais estáveis.

Palavra-chave: Armazenamento, atomização, características físico-químicas, compostos bioativos.

ABSTRACT

The Northeast region of Brazil has a wide variety of native and exotic fruits, sources of phytochemicals that exert beneficial properties in human health. The fruit spray drying process is a viable method, giving greater stability of the product, allowing the consumer to purchase throughout the year. Because of their amorphous nature, fruit juice powder is sensitive to variations in extrinsic factors that can lead to loss of nutrients and bioactive compounds, especially during storage. Shelf life is the time a food can be stored under proper conditions while maintaining optimum quality and safety. In this context, the objective was to evaluate the stability of the mixed juice of acerola and ciriguela atomized (SMACA), thus determining optimal storage conditions to minimize physico-chemical changes and loss of bioactive compounds. The spray drying was performed in a mini spray dryer, with a temperature of 140°C, feed rate of 0.60 L / h and the amount of 10% maltodextrin 5 DE. The SMACA was stored under different a_w conditions of 0.11, 0.23 and 0.34 at 25°C for 90 days. In the SMACA samples the parameters of a_w , moisture, pH, titratable acidity, soluble solids, color parameters, bioactive compounds (ascorbic acid, carotenoids and total phenolic) and antioxidant activity were evaluated in the initial time after 30, 60 and 90 days of storage. In addition, the sorption isotherms were determined. The highest values for a_w and humidity did not exceed 0.40 and 6.77%, respectively, considered stable and safe for powdered foods. With increasing a_w and storage time, SMACA showed a significant increase in color difference and also having texture changes. Significant losses were observed at the end of the storage period (90 days) in ascorbic acid, carotenoid and total phenolic contents. The GAB, BET linear and Halsey models were those that had the best fit to the data to obtain the adsorption isotherm of the SMACA at 25 ° C. Storage of SMACA for 30 to 60 days at a_w 0.11 to 25 ° C maintains the most stable physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity.

Key words: Atomization, physico-chemical characteristics, bioactive compounds, *Malpighia emarginata* DC, *Spondias purpurea* L.

LISTA DE FIGURAS

Revisão da Literatura

Figura 1. Sistema de secagem por atomização21

Artigo

Figura 1. Atividade de água do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.43

Figura 2. Teor de umidade do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.44

Figura 3. Teor dos sólidos solúveis do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.....45

Figura 4. Valor de pH do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.46

Figura 5. Acidez titulável do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.47

Figura 6. Parâmetros colorimétricos do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.....48

Figura 7. Diferença de cor (ΔE) do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.....50

Figura 8. Registros visuais do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.51

Figura 9. Teor de carotenóides totais do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.....52

Figura 10. Teor de carotenóides totais do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.....54

Figura 11. Teor de fenólicos totais do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.....55

Figura 12. Ação antioxidante frente ao DPPH do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.56

Figura 13. Atividade antioxidante pelo método ABTS do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.58

Figura 14. Isotermas de adsorção do suco misto de acerola e ciriguela atomizado usando modelagem de GAB, BET (linear) e Halsey a 25 °C.60

Figura 15. Aparência física do suco misto de acerola e ciriguela atomizado submetido a diferentes umidades relativas a 25 °C.....60

LISTA DE TABELAS

Artigo

Tabela 1. Umidade relativa das soluções saturadas de sais selecionadas a 25 °C	41
Tabela 2. Modelos matemáticos da isoterma de sorção	41
Tabela 3. Parâmetros estimados dos modelos matemáticos (GAB, BET, Halsey) para o suco misto de acerola e ciriguela atomizado a 25 °C.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS

SMACA	Suco misto de acerola e ciriguela atomizado
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
aw	Atividade de água
X_{eq}	Umidades de equilíbrio
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazil
ABTS	2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)
AA	Ácido Ascórbico
AOAC	Association of Official Analytical Chemistry
OMS	Organização Mundial da Saúde
Tg	Temperatura de Transição Vítrea

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE	14
3. REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1. Frutas Tropicais	15
3.2. Acerola	16
3.3. Ciriguela	18
3.4. Sucos mistos	19
3.5. Secagem	20
3.5.1. Secagem por atomização	20
3.5.2. Microencapsulação	22
3.5.3. Agentes Encapsulantes	23
3.6. Estabilidade de produtos em pó	24
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
5. RESULTADOS	33
ARTIGO. Estudo de estabilidade do suco misto de acerola e ciriguela atomizado	33
5.1. INTRODUÇÃO	35
5.2. MATERIAL E MÉTODOS	36
5.2.1. Polpas de acerola e ciriguela.....	36
5.2.2. Agente Encapsulante.....	36
5.2.3. Preparação do suco misto de acerola e ciriguela atomizado.....	36
5.2.4. Condições para o estudo de estabilidade	37
5.2.5. Características físico-químicas do SMACA	37
5.2.5.1. Atividade de água	37
5.2.5.2. Umidade.....	37
5.2.5.3. pH	38
5.2.5.4. Acidez titulável	38
5.2.5.5. Sólidos Solúveis.....	38
5.2.5.6. Determinação de cor	38
5.2.6. Análises de compostos bioativos do SMACA.	39
5.2.6.1. Ácido ascórbico.....	39
5.2.6.2. Carotenóides totais.	39

5.2.6.3. Compostos fenólicos.....	39
5.2.6.4. Atividade antioxidante	40
5.2.7. Isoterma de sorção	40
5.2.8. Tratamento estatístico	42
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.3.1. Características físico-químicas do SMACA	43
5.3.1.1. Atividade de água (aw) e Umidade	43
5.3.1.2. Sólidos Solúveis.....	45
5.3.1.3. pH e Acidez Titulável.	46
5.3.1.4. Parâmetros de cor.....	48
5.3.2. Compostos biativos e atividade antioxidante do SMACA.	52
5.3.2.1. Carotenóides totais.	52
5.3.2.2. Ácido Ascórbico.	53
5.3.2.3. Compostos Fenólicos.....	55
5.3.2.4. Atividade antioxidante	56
(A) Método DPPH.....	56
(B) Método ABTS	57
5.3.3. Isoterma de sorção	59
5.4 CONCLUSÃO	61
5.5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	62

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma grande extensão territorial e apresenta condições favoráveis para o agronegócio. Isso contribui para que receba o título de terceiro maior produtor de frutas do mundo, com um total de 41,5 milhões de toneladas produzidas, segundo dados do IBGE (2016).

Atributos que contribuem para o aumento de consumo de frutas e hortaliças são principalmente, a qualidade de vida e a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis. A quantidade mínima de frutas e hortaliças recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) é de 400 g diários, devido à presença de compostos nutricionais e funcionais com propriedades antioxidantes benéficos para a saúde humana.

O Nordeste do Brasil tem uma ampla variedade de frutas exóticas, que possuem um valor agregado superior às frutas nativas. Atualmente, há um mercado crescente tanto para o mercado interno quanto para o externo, principalmente para a produção de bebidas, polpas, geleias, suplementos, entre outros.

A tendência de inovação vai tornando-se o fator principal na demanda dos consumidores. O suco misto de frutas traz vantagens como a diminuição da perda pós-colheita, melhoramento das características nutricionais e funcionais por meio da complementação de nutrientes e compostos antioxidantes fornecidos pelas diferentes frutas, bem como o desenvolvimento de novos sabores que atendam às expectativas dos consumidores.

As frutas são alimentos altamente perecíveis, portanto exigem uma logística diferente de colheita e pós-colheita, por meio de técnicas de processamento adequadas que visam estender a vida de prateleira, favorecendo a estabilidade nutricional e funcional do produto.

Dentre as várias técnicas de processamento pós-colheita com o objetivo de conservação, encontra-se a secagem por atomização, que consiste basicamente na transformação de um alimento líquido em sólido. O uso de altas temperaturas permite a evaporação rápida de água, que favorece sua aplicação em alimentos

com compostos sensíveis ao calor. Apresenta vantagens como a redução do custo de transporte, facilidade de armazenamento e aumento da vida de prateleira. Além de proporcionar que o consumo de frutas sazonais e seus derivados, não se mantenha restrito apenas ao período de colheita destas frutas.

No entanto, a atomização de sucos de frutas pode apresentar alguns problemas durante o processamento, manuseio e armazenamento, devido à presença de açúcares e ácidos que possuem baixa temperatura de transição vítrea. Neste processo de secagem, a utilização de agentes encapsulantes se torna positiva visto que aumenta a temperatura de transição vítrea e reduz a viscosidade e higroscopicidade do alimento atomizado.

A partir da perspectiva de combinar as alternativas que expõem a secagem por atomização e os benefícios que têm as frutas para a saúde humana, surge a proposta de estudar a estabilidade do suco misto de acerola e ciriguela atomizado no período de armazenamento. Devido a sua natureza amorfa, os sucos de frutas em pó são sensíveis a variações de umidade, atividade de água, temperatura e luz, que podem levar à perda de nutrientes e compostos bioativos.

O estudo de vida de prateleira de um alimento, consiste em submeter amostras a condições de armazenamento e analisar durante um período específico, observando as alterações na qualidade do produto. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo, avaliar a estabilidade do suco misto de acerola e ciriguela atomizado (SMACA), determinando assim as condições ótimas de armazenamento para reduzir as alterações físico-químicas, a perda de compostos bioativos e a atividade antioxidante deste produto.

2. PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE

Os sucos de frutas atomizados são considerados estáveis durante o armazenamento por possuírem baixa atividade de água. A hipótese levantada por essa pesquisa é que, as características físico-químicas e os compostos bioativos do suco misto de acerola e ciriguela atomizado se manterão estáveis por um período de 90 dias de armazenamento em 25 °C. A partir dessa hipótese surge o problema da pesquisa.

Em quais condições pode se estender a vida de prateleira do suco misto de acerola e ciriguela atomizado de modo a preservar os parâmetros físico-químicos e compostos bioativos?

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Frutas Tropicais

A produção de frutas tropicais há um longo tempo apresenta uma forte expansão, tanto na América Latina como em regiões tropicais, abrindo novos espaços à produção e diversidade de frutas e trazendo aos consumidores uma vasta variedade de produtos. A demanda por frutas tropicais, frescas e processadas, aumentou bastante requerendo aumento de produtividade com avanços nas técnicas de cultivo, processamento e armazenamento (CORADIN; CAMILLO; PAREYN, 2018).

O Brasil possui uma grande diversidade de espécies frutíferas nativas e exóticas, com alto potencial para a agroindústria e que representa uma oportunidade para os produtores locais captar um mercado especial devido ao caráter exótico, ao valor nutricional e terapêutico dessas frutas, uma vez que estas são capazes de prevenir diversas doenças como certos tipos de câncer, cardiovasculares, degeneração macular e doenças neurodegenerativas (SILVA et al., 2014).

O valor nutricional e funcional são os motivos principais do crescimento contínuo da produção mundial de frutas, colocando o Brasil como terceiro maior produtor do mundo, atrás da China e da Índia, que são o primeiro e segundo lugar, respectivamente (OCDE-FAO, 2015). A região do Vale do São Francisco é uma das regiões mais importantes para a fruticultura nacional e, a alta tecnologia associada ao clima e a irrigação permite que nessa região se produzam frutas de excelentes qualidades, geralmente direcionadas ao mercado internacional. Entre os diversos municípios que compõem a região, a cidade de Petrolina-PE possui o maior valor de produção no ranking, com 1,9% no valor nacional das frutíferas (IBGE, 2016).

As frutas desempenham um importante papel nutricional e funcional na alimentação humana, o que justifica os programas mundiais incentivarem o aumento de seu consumo pela população. Esses produtos fornecem calorias, sais minerais, vitaminas, fibras e água, contribuindo, dessa forma, para a manutenção da saúde (SILVA et al., 2014, LAGO; MAIA; MATTA, 2016). Recomenda-se o

consumo mínimo de 400 g de frutas e hortaliças por dia (excluindo batatas e outros tubérculos) (OMS/FAO, 2014).

Além dos nutrientes, as frutas também contêm substâncias que conferem as suas características de aroma, sabor, cor e textura, essas substâncias são responsáveis por tornar as frutas mais desejadas e apreciadas pela maioria dos consumidores, particularmente quando estão no seu ponto adequado de maturação (LAGO; MAIA; MATTA, 2016). Tratando-se de alimentos altamente perecíveis, as frutas exigem uma aplicação de tecnologia adequada para prevenir a deterioração pós-colheita dos componentes nutricionais e funcionais, aumentando assim sua vida de prateleira e proporcionar produtos com a qualidade desejada pelos consumidores (DURIGAN, 2013; CORADIN; CAMILLO; PAREYN, 2018)

3.2. Acerola

A acerola, *Malpighia emarginata* DC, também chamada de “cereja de Barbados”, “cerejeira das Índias Ocidentais” e “cereja das Antilhas” pertence ao gênero *Malpighia* e à família *Malpighiaceae* e contém cerca de 45 espécies de arbustos que são nativas da América Central e do norte da América do Sul e, atualmente, estão sendo cultivadas principalmente no Brasil, no México e em algumas partes do sudeste da Ásia e da Índia (MOHAMMED, 2011; MOURA, et al., 2018; BELWAL et al., 2018), sendo o Brasil o maior produtor e exportador mundial dessa fruta.

Estima-se que o mercado global de extrato de acerola alcance US\$ 17,5 bilhões até 2026, com uma taxa de crescimento anual de 8,5%. Alguns dos principais fabricantes de produtos à base de acerola são a Green Labs LLC, Nutrilite (Amway), Naturex, Nature's Power Nutraceuticals Corp., Florida Food, Inc., Diana Naturals e Vita Forte, que operam no mercado global de extrato de acerola (BELWAL et al., 2018).

A acerola pode ser consumida fresca e, por ser altamente perecível, é também, processada na forma de diversos produtos como polpas, sucos, concentrados, geleias, sorvetes, xaropes, licores, produtos de panificação e confeitaria (SILVA; DURATE; BARROZO, 2016). A parte não comestível dessa

fruta, considerada os subprodutos de seu processamento (sementes, grãos e bagaço) também são aproveitados para a fabricação de suplementos alimentares (REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018).

A importância econômica da acerola se dá devido ao elevado valor nutricional que apresenta e aos altos níveis de compostos antioxidantes presentes nessa fruta. Dentre essas substâncias se destacam o ácido ascórbico, carotenoides e compostos fenólicos, sendo o seu resíduo rico, principalmente, em antocianinas totais, carotenoides, compostos fenólicos e flavonóides totais, inclusive, em maior proporção no resíduo da acerola, quando comparado à parte comestível dessa fruta (MOHAMMED, 2011; REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018).

A fruta é uma drupa de aspecto trilobado, carnosa variando de forma, peso e volume (MOHAMMED, 2011). Apresenta diferentes tonalidades, verde em desenvolvimento, passando a amarelo e finalmente vermelho escuro quando maduro. Após o estabelecimento das frutas, em média 22 dias acontece o desenvolvimento de uma polpa madura, carnuda, macia, suculenta com sabor ácido e rica em vitamina C. Todavia, a passagem entre os estágios de maturação, amadurecimento e a senescência da acerola são rápidos, o que dificulta seu manuseio e armazenamento após a colheita (JAESCHKE et al., 2016; MOURA et al., 2018).

De acordo com a variedade entre espécies desta fruta, lugar de plantação e a incidência de luz, o teor de ácido ascórbico varia entre 862,86 a 1465,22 mg / 100 g de polpa de fruta madura (JAESCHKE et al., 2016, ESTEVAM et al., 2018). À medida que a acerola amadurece a concentração de vitamina C diminui, devido principalmente à oxidação bioquímica (MOURA et al., 2018). Para atender a ingestão diária recomendada (IDR) desta vitamina é suficiente a ingestão de duas a quatro frutas de acerola (ALMEIDA et al., 2011). Atuando principalmente em processos como à absorção do ferro, redução do estresse oxidativo, síntese de colágeno e tirosina e na imunidade do corpo humano (BOONPANGRAK et al., 2016).

Assim, a acerola é considerada um bom ingrediente para o desenvolvimento de novos produtos como, suplementos dietéticos e alimentos com propriedades funcionais (BELWAL et al., 2018).

3.3. Ciriguela

A ciriguela, *Spondias purpúrea* L. pertence à família Anacardiaceae, que envolve aproximadamente 70 gêneros e 600 espécies, consistindo principalmente de árvores e arbustos típicos de clima tropical, subtropical e regiões temperadas do mundo, onde 14 gêneros e 57 espécies ocorrem no Brasil (ENGELS et al., 2012). A ciriguela é originalmente da Mesoamérica, embora sua distribuição seja do México central para o Peru e o Brasil, sendo endêmica em regiões semi-áridas e também se destaca dentre as frutas tropicais (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014).

De acordo com a localização, percebe-se que a ciriguela adquiriu diferentes nomes. No México e América Central é conhecida como ciruela, chiabal, cirguela, ciruela tuxpana, ciruela mexicana, ciruela roja, jocote, jocote amarillo (yellow form), entre outros. Na América do Sul é chamada de ameixa espanhola, ciruela de huesito, cajá vermelho, ciruela e no Brasil, por sua vez, essa fruta é designada por diferentes formas ortográficas sendo, ciriguela, siriguela ou ceriguela (SILVA; FIGUEIREDO; LIMA, 2016; VARGAS-SIMÓN, 2018).

A ciriguela é uma fruta do tipo drupa, redonda, oblonga ou obvoide. A variedade botânica e fase de amadurecimento são fatores que influenciam na variedade de cor dessa fruta, que pode ser verde, amarelo, laranja, vermelho ou violeta, com tamanho aproximado de 3 a 5 cm de comprimento, peso médio de 12 a 28 g e sabor adocicado e levemente ácido, além de aroma intenso e polpa succulenta (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014; SILVA; FIGUEIREDO; LIMA, 2016; VARGAS-SIMÓN, 2018). Essa fruta é rica em minerais, vitaminas e compostos fenólicos tais como, taninos, ácidos fenólicos e flavonoides (SILVA et al., 2016).

Os compostos fenólicos presentes na ciriguela apresentam forte capacidade antioxidante. Estes compostos desempenham um papel importante na saúde humana. O estresse oxidativo é gerado pelo desequilíbrio de oxidante e antioxidante no organismo, ou seja, é provocado pelo excesso dos radicais livres e a redução de antioxidante que está envolvida no surgimento de muitas doenças, como câncer, artrite reumatoide, entre outras (VARGAS-SIMÓN, 2018).

Outro composto funcional a ressaltar da ciriguela são os carotenóides, tendo maior teor comparado com outras frutas de coloração amarelo-avermelhada, como pêsego, mamão, marolo e caju. O principal carotenóide na polpa de ciriguela é a β -criptoxantina, composto que contribui diretamente na biossíntese da vitamina A, que fortalece o sistema imunológico e necessária para a renovação celular do corpo humano (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014; LINS et al., 2014).

A indústria alimentícia vem inserindo no mercado interno e externo produtos derivados da ciriguela, possibilitando um aumento na sua comercialização e a redução de sua perda ou descarte, apresentando como desafio a safra curta e o tempo limitado de armazenamento sob condições ambientais e de refrigeração dessa fruta. Polpas em pó, geleias e néctares, são exemplos dos produtos obtidos do processamento da ciriguela (TODISCO; COSTA; CLEMENTE, 2015; LÓPEZ et al., 2018). Assim, nota-se a importância de lançar mão de tecnologias que visem o total aproveitamento destas frutas, gerando menos desperdício e maior variedade e disponibilidade de produtos no mercado.

3.4. Sucos mistos

As indústrias na área de alimentos buscam cada vez mais a produção de produtos diferenciados, que atendam às exigências dos consumidores. Por exemplo, produtos nutritivos com quantidades significantes de vitaminas, minerais e compostos antioxidantes.

O suco misto é uma opção viável para desenvolver novas bebidas, e a produção deste produto traz para o setor industrial inúmeras vantagens, como a redução de custos, pela adição de frutas mais baratas; o aumento da disponibilidade de nutrientes e fitoquímicos; a variação de sabores, permitindo amenizar sabores excessivamente fortes, além de também amenizar a acidez elevada, adstringência, ou amargor de certas frutas; a correção dos baixos níveis de sólidos solúveis e o equilíbrio dos atributos sensoriais entre as misturas (MACHADO DE SOUSA et al., 2010, CARVALHO; MATTIETTO; BECKMAN, 2016).

De acordo com o Decreto N° 6871 que regulamenta a Lei N° 8918 de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a

inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas; suco misto é o suco obtido pela mistura de frutas, com a combinação de fruta e hortaliça, utilizando partes comestíveis de hortaliças ou mistura de suco de fruta e hortaliça. Sua denominação, por sua vez, deve ser constituída da expressão suco misto, seguida da relação de frutas ou hortaliças utilizadas, em ordem decrescente das quantidades presentes na mistura (BRASIL, 2009).

Na literatura, diversos trabalhos são encontrados utilizando a mistura de uma ou mais frutas tropicais, como o suco tropical misto de mangaba e cagaita (MARTINS et al., 2017); suco misto de acerola, abacaxi, açaí, caju, cajá e camu-camu (CARVALHO; MATTIETTO; BECKMAN, 2016); suco misto de manga, goiaba e acerola (FARAONI et al., 2012); suco misto de uva e azedinha (LEONE; RAMOS; ROCHA, 2011) enfatizando nas avaliações das características físico-químicas, compostos bioativos e na estabilidade do produto.

A diversificação de produtos fortificados com vitaminas e outros suplementos, dentre eles sucos de frutas mistos. Destacando neste trabalho, a acerola rica em ácido ascórbico e polifenóis e a ciriguela caracterizada por vitaminas, minerais e compostos bioativos como fenóis e carotenóides, apresentando vários efeitos benéficos para a saúde humana. Assim, a combinação de frutas é uma ótima opção para o desenvolvimento de novos produtos, como por exemplo, na fabricação de suplementos dietéticos e alimentos com propriedades funcionais.

3.5. Secagem

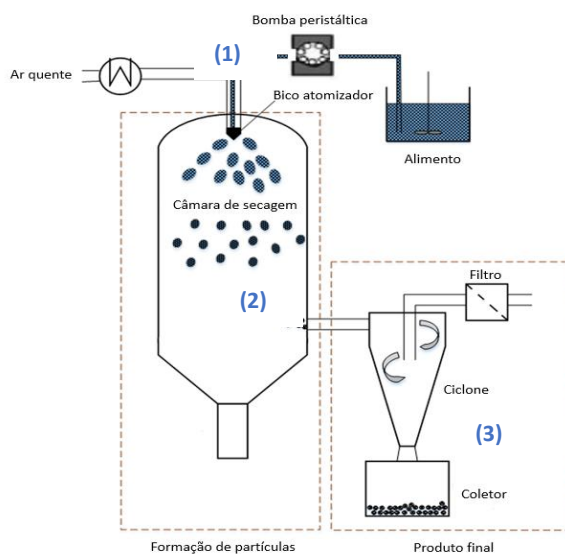
3.5.1. Secagem por atomização

O processo de atomização é uma técnica que tem se destacado na indústria de alimentos e vem sendo usado há décadas em diversos processos industriais para a obtenção de produtos desidratados na forma de pós finos. Desde 1901 se fabrica, por este método, leite e detergentes em pó (MAFART, 1994). No caso de sucos de frutas, em 1978 Ashis S. Gupta patenteou uma serie de combinações de parâmetros para obter suco de laranja em pó atomizado de alta qualidade (GUPTA, 1978).

A atomização é uma operação unitária utilizada para transformar alimentos líquidos (solução, dispersão e emulsões) em partículas sólidas, muito apropriada para ingredientes sensíveis ao calor por utilizar temperaturas altas por um tempo bastante curto (AVILA; RODRÍGUEZ; VELÁSQUEZ, 2015; WISNIEWSKI, 2015).

O sistema geral da secagem por atomização (Figura 1) consiste em três etapas: a atomização da amostra, a secagem de gotículas e a coleta do pó. Durante a atomização (1), o produto líquido com ajuda da bomba peristáltica passada através de um bico atomizador para a câmara de secagem (2), distribuído em gotas que no contato com ar quente ocorre uma rápida evaporação da água, formando partículas sólidas que são direcionadas para o ciclone (3), ocorrendo a separação das partículas secas do ar úmido para serem coletadas (SHISHIR; CHEN, 2017; STUNDA-ZUJEVA; IRBE; BERZINA-CIMDINA, 2017).

Figura 1. Sistema de secagem por atomização



Fonte: Adaptação STUNDA-ZUJEVA; IRBE; BERZINA-CIMDINA, 2017

O destaque da secagem por atomização na indústria alimentar, é devido à flexibilidade do processo, produção em modo contínuo, redução do tempo de exposição à alta temperatura, disponibilidade de matéria prima no período fora de safra, redução de custos de transporte, de mão de obra, operação e manutenção relativamente simples (ROCHA et al., 2014; BARBOSA; TEIXEIRA, 2016).

Os teores de umidade do pó produzido pelo atomizador, geralmente são inferiores a 5%, permitindo que esses produtos sejam classificados seguros do ponto de vista microbiológico. Além disso, a baixa umidade dos pós atomizados reduz a aglomeração do pó durante o armazenamento (SHISHIR; CHEN, 2017).

Sucos de frutas apresentam uma proporção de açúcar de baixo peso molecular e ácidos orgânicos de cadeia curta em sua composição, que contribuem para uma temperatura de transição vítrea baixa e uma maior viscosidade do produto, podendo causar uma tendência à formação de aglomerados, tendo uma aparência pegajosa durante o processamento, manuseio e armazenamento do pó (ALVES et al., 2016; BARBOSA; TEIXEIRA, 2016; SHISHIR; CHEN, 2017). Nessa circunstância, surge a necessidade da utilização de agentes encapsulantes, que quando escolhido de forma precisa, melhoram a estabilidade do produto obtido após a secagem (CANO-HIGUITA et al., 2015).

3.5.2. Microencapsulação

O conceito de microencapsulação foi desenvolvido principalmente pelo setor farmacêutico, tendo como objetivo principal o controle e/ou a modificação da liberação de princípios ativos das substâncias medicamentosas. Atualmente, na área de alimentos vem crescendo bastante o interesse pela encapsulação de extratos e compostos bioativos que permite proteger e preservar essas substâncias ao revesti-las ou aprisioná-las por uma parede ou deixá-las dispersas em uma matriz (DIAS; FERREIRA; BARREIRO, 2015; PAULO; SANTOS, 2017).

A microencapsulação propicia, portanto, barreira entre os compostos ativos e o meio, promovendo a estabilidade da substância bioativa contra condições adversas do ambiente externo, como da presença de luz, calor, umidade e oxigênio (GONÇALVES; ESTEVINHO; ROCHA, 2016). Geralmente, a morfologia das microcápsulas obtidas se apresenta em duas formas: (1) tipo de casca, onde o núcleo, o próprio componente bioativo ou um transportador que o contém (compostos que facilitam a liberação) são protegidos por uma membrana e (2) tipo de matriz, onde o componente bioativo é disperso na matriz de um material (DIAS; FERREIRA; BARREIRO, 2015).

Dependendo da técnica empregada no processo de microencapsulação, bem como, do tipo de agente encapsulante e do núcleo, as microcápsulas assumem diferentes morfologias. O tamanho das partículas pode ser classificado como: macro ($> 5000 \mu\text{m}$), micro ($1,0\text{-}5000 \mu\text{m}$) e nano ($<1,0 \mu\text{m}$) (AGUIAR; ESTEVINHO; SANTOS, 2016; SILVA et al., 2015).

Várias técnicas podem ser utilizadas a fim de encapsular compostos de interesse, a atomização, leite fluidizado, extrusão, liofilização, coacervação são exemplos dessas técnicas (MORAGA et al., 2012).

3.5.3. Agentes Encapsulantes

Agentes encapsulantes, carreadores ou transportadores, são basicamente materiais poliméricos naturais ou sintéticos capazes de formar filmes. Os que podem ser utilizados são geralmente carboidratos (amidos, maltodextrina, xaropes de milho, dextranas, sacarose e ciclodextrinas), celulose (carboximetilcelulose, metilcelulose, etc.), gomas (goma arábica, ágar, carragena), lipídeos (cera, parafina, etc.) e proteínas (glúten, gelatinas, albumina e peptídeos) (EZHILARASI et al., 2013, MORENO et al., 2016).

Uns dos fatores importantes na estabilidade do composto encapsulado são, as propriedades físico-químicas do núcleo (porosidade e solubilidade) e da parede (viscosidade, propriedades mecânicas, transição vítrea e capacidade de formação de filme), compatibilidade do núcleo com a parede, o mecanismo de controle e fatores econômicos (COSTA et al., 2015).

O agente encapsulante mais utilizado na secagem por atomização de sucos de frutas, é a maltodextrina, devido principalmente à capacidade de aumentar a temperatura de transição vítrea, à sua alta solubilidade, baixa viscosidade e higroscopicidade evitando assim a aglomeração do produto em pó (SANTHALAKSHMY et al., 2015, JAFARI; GHALENOEI; DEHNAD, 2017).

A maltodextrina é um polímero composto por unidades de D-glucose unidas por ligações glicosídicas tipo α ($1\rightarrow4$), obtida por hidrólise ácida ou enzimática do amido. O amido utilizado pode ser de diferentes fontes, como o milho, a batata e o arroz, bem como de outros materiais amiláceos tais quais a mandioca, o trigo e o

sorgo, dependente da disponibilidade e do preço da matéria-prima (DA SILVA; JUNIOR; VISENTAINER, 2014).

Classificada pelo valor de Dextrose Equivalente (DE), que vai até 20 DE e indica o nível de hidrólise do polímero de amido às suas unidades monoméricas constituintes (COSTA et al., 2015; MORENO et al., 2016; TONTUL; TOPUZ, 2017). O valor DE é inversamente proporcional ao peso molecular e ao grau de polimerização, ou seja, quanto maior o DE menor é o peso molecular e menor o grau de polimerização, fundamentando a disponibilidade de diferentes pesos moleculares da maltodextrina (COSTA et al., 2015).

Na literatura, em diversos trabalhos, a maltodextrina tem sido amplamente utilizada no encapsulamento de sucos e extratos de frutas, como por exemplo em sucos probióticos de abacaxi, melão e laranja (FONTES et al., 2014), suco de melancia (OBEROI; SOGI, 2015), suco de romã (JAFARI; GHALENOEI; DEHNAD, 2017), polpa e resíduo de acerola (REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018), a fim de facilitar a secagem e aumentar a estabilidade do pó durante o armazenamento.

3.6. Estabilidade de produtos em pó

O estudo de estabilidade de um alimento, também conhecido como o tempo de comercialização, ou vida de prateleira, consiste em submeter várias amostras a condições de armazenamento (umidade, concentração de oxigênio, luz e temperatura) e examiná-las durante um período específico, observando as alterações na qualidade do produto com o tempo (MARTINS et al., 2011).

Muitos fatores podem influenciar a vida de prateleira de um produto, sendo esses fatores classificados em intrínsecos e extrínsecos. Os fatores intrínsecos são representados pela atividade de água, valor de pH, acidez total, oxigênio disponível, microbiota natural e contagens de microrganismos sobreviventes, bioquímica natural da formulação e o uso de conservantes no produto. Os fatores extrínsecos incluem o manuseio do consumidor, composição atmosférica dentro da embalagem, controle de temperatura, umidade relativa, exposição à luz, contagem microbiana ambiental durante o processamento, armazenamento e distribuição (SHISHIR; CHEN, 2017)

Alterações químicas deteriorantes podem ocorrer a partir de fatores externos, como o oxigênio, que pode gerar ações enzimáticas que limitam a vida de prateleira de frutas e hortaliças causando perda de nutrientes, assim como reações químicas provocando modificações no sabor. As alterações também podem ocorrer por exposição à luz, incluindo a perda de cor e vitaminas do produto (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2011). No caso de alimentos de baixa atividade de água, a perda de qualidade está associada principalmente à absorção de água, que acelera reações deteriorantes (TONTUL; TOPUZ, 2017).

Durante o armazenamento, os alimentos são frequentemente sujeitos a variações da temperatura ambiente, e em relação à temperatura de transição vítrea (T_g) apresentam mudanças no estado físico.

A T_g é uma temperatura em que o estado do produto muda de material vítreo (amorfo) para borracha (pegajoso), por processo de sorção térmica ou plastificante. Afetado principalmente, pela composição do alimento como açúcares e ácidos no caso de frutas, e pelo teor de umidade do produto em pó (TONTUL; TOPUZ, 2017, ISLAM et al., 2016, FERRARI et al., 2013).

Considerada como uma temperatura de referência, uma vez que ao armazenando numa temperatura abaixo da T_g espera-se que o alimento esteja estável, e quando armazenado acima da T_g , a diferença entre T_g e a temperatura de estocagem é que controla a velocidade das alterações físicas, químicas e biológicas do alimento (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; KONG; SINGH, 2016).

A vida de prateleira de um produto se mostra intimamente relacionada com a qualidade dos alimentos, e depende da formulação do produto, das condições de processamento, envase e condições de armazenamento, assim como pode ser visualizado em algumas pesquisas. Daza et al. (2016) avaliando a estabilidade do extrato de cagaita atomizado reportam uma perda maior de 25% no teor de compostos fenólicos ao final do armazenamento a 30°C em 32,8% de umidade relativa por 120 dias. Shishir et al. (2017) estudaram a retenção de propriedades físico-químicas de goiabada em pó envasadas e concluíram que durante 10 semanas a 5 °C, o envasado com filme PET apresentou a máxima vida útil com maior retenção de licopeno. Zoric et al. (2017) analisaram o efeito das condições

de armazenamento no teor de fenólicos e na capacidade antioxidante da cereja azeda em pó, e reportaram que o período ideal de armazenamento foi de 6 meses a baixas temperaturas (4 °C). Mishra, Brahma, Seth (2017) estudaram a estabilidade físico-química e funcionalidade do suco de ameixa atomizado durante o armazenamento por 30 dias a 4 e 25 °C. Estes autores observaram perdas dos compostos fenólicos e atividade antioxidante do suco atomizado, nas duas temperaturas de armazenamento

O conceito de qualidade engloba aspectos sensoriais, físico-químicos, nutricionais e higiênico-sanitário. Aspectos que poderiam prevenir ou permitir a deterioração física, química e microbiologia, especialmente na vida de prateleira dos produtos (SUBRAMANIAM; WAREING, 2016).

Nesta pesquisa foi dada mais ênfase ao estudo das características físico-químicas, teores dos compostos bioativos e a atividade antioxidante do suco misto de acerola e ciriguela atomizado durante o armazenamento em diferentes atividades de água a 25°C.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J.; ESTEVINHO, B. N.; SANTOS, L. Microencapsulation of natural antioxidants for food application – The specific case of coffee antioxidants – A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 58, p. 21–39, 2016.

ALMEIDA, M. M. B.; SOUSA, P. H. M.D.; ARRIAGA, Â. M. C.; PRADO, G.M.D., MAGALHÃES, C.E.C.D.; MAIA, G. A.; LEMOS, T.L.G.D. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2155-2159, 2011.

ALVES, N. N.; MESSAOUD, G. B.; DESOBRY, S.; COSTA, J. M.; RODRIGUES, S. Effect of drying technique and feed flow rate on bacterial survival and physicochemical properties of a non-dairy fermented probiotic juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 189, p.45-54, 2016.

AVILA, E. L.; RODRÍGUEZ, M. C.; VELÁSQUEZ, H. J. C. Influence of Maltodextrin and Spray Drying Process Conditions on Sugarcane Juice Powder Quality. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 68, n. 1, p. 7509–7520, 2015.

BARBOSA, J.; TEIXEIRA, P. Development of probiotic fruit juice powders by spray drying: a review. **Food Reviews International**, v. 33, n. 4, p. 335-358, 2016.

BELWAL, T., DEVKOTA, H.P., HASSAN, H.A., AHLUWALIA, S., RAMADAN, M. F., MOCAN, A., ATANASOV, A.G. Phytopharmacology of Acerola (*Malpighia* spp.) and its potential as functional food. **Trends in Food Science & Technology**, v. 74, p. 99-106, 2018.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Decreto 6871 de 4 de junho de 2009 Regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Disponível em:

<<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1265102>>. Acesso em: 19 julh. 2018.

BOONPANGRAK, S.; LALITMANAT, S.; SUWANWONG, Y.; PRACHAYASITTIKUL, S.; PRACHAYASITTIKUL, V. Analysis of ascorbic acid and isoascorbic acid in orange and guava fruit juices distributed in Thailand by LC-IT-MS/MS. **Food analytical methods**, v. 9, n. 6, p. 1616-1626, 2016.

CANO-HIGUITA, D.M.; VILLA-VÉLEZ, H.A.; TELIS-ROMERO, J.; VÁQUIRO, H.A.; TELIS, V R.N. Influence of alternative drying aids on water sorption of spray dried mango mix powders: A thermodynamic approach. **Food and Bioproducts Processing**, v. 93, p.19–28, 2015.

CARVALHO, A. V.; DE ANDRADE MATTIETTO, R.; 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. e2016023, 2017.

COSTA, S. S.; MACHADO, B. A. S.; MARTIN, A. R.; BAGNARA, F.; RAGADALLI, S. A.; ALVES, A. R. C. Drying by spray drying in the food industry: Microencapsulation, process parameters and main carriers used. **African Journal of Food Science**, v. 9, n. 9, 462-470, 2015.

CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. **Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial**. Plantas para o Futuro: Região Nordeste. Ministerio do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade. Brasília, 2018.

DA SILVA, M. V.; JUNIOR, B. D.; VISENTAINER, J. V. Produção e caracterização de maltodextrinas e sua aplicação na microencapsulação de compostos alimentícios por spray drying. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, n. 16, v. 1, 2014.

DAZA, L. D.; FUJITA, A.; FÁVARO-TRINDADE, C.S.; RODRIGUES-RACT, J. N.; GRANATO, D.; GENOVESE, M. I. Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. **Food and Bioproducts Processing**, v. 97, p. 20-29, 2016.

DIAS, M. I., FERREIRA, I. C., BARREIRO, M. F. Microencapsulation of bioactives for food applications. **Food & Function**, v. 6, n. 4, p. 1035-1052, 2015.

DURIGAN, J. Pós colheita de frutas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2. 2013.

ENGELS, C., GRÄTER, D., ESQUIVEL, P., JIMÉNEZ, V. M., GÄNZLE, M. G., & SCHIEBER, A. Characterization of phenolic compounds in jocote (*Spondias purpurea* L.) peels by ultra high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry. **Food Research International**, v. 46, n. 2, p.557-562, 2012.

ESTEVAM, M. I. F.; DE SOUZA, P. A.; MARACAJÁ, P. B.; BATISTA, E. M.; REGES, B. M. Físico-química de variedades de acerola em dois estádios de maturação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 4, p. 459-465, 2018.

EZHILARASI, P. N.; KARTHIK, P.; CHHANWAL, N.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Nanoencapsulation techniques for food bioactive components: a review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 3, p. 628-647, 2013.

FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; GUEDES, D. B.; OLIVEIRA, A. D. N.; LIMA, T. H. S. F. D.; SOUSA, P. H. M. D. Development of a mixed juice of mango, guava and acerola using mixture design. **Ciência Rural**, v. 42, n. 5, p. 911-917, 2012.

FERNANDES, V.B., BORGES, S.V., BOTREL, D.A. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 524–532, 2014.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; ALVIM, I. D.; AGUIRRE, J. M. Storage stability of spray-dried blackberry powder produced with maltodextrin or gum Arabic. **Drying Technology**, v. 31, p. 470-478, 2013

FONTES, C. P.; SILVA, J. L.; SAMPAIO-NETA, N. A.; DA COSTA, J. M. C.; RODRIGUES, S. Dehydration of prebiotic fruit drinks by spray drying: Operating conditions and powder characterization. **Food and bioprocess technology**, v. 7, n. 10, p. 2942-2950, 2014.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Shelf Life: Uma pequena introdução. **Revista Food Ingredients Brasil**, São Paulo, n. 18, 2011. Disponível em: <http://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201606/2016060846037001467203864.pdf> Acesso em: 15 de ago de 2018.

GONÇALVES, A.; ESTEVINHO, B.N.; ROCHA, F. Microencapsulation of vitamin A: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 51, p. 76-87, 2016.

GUPTA, A.S. Spray drying of orange juice, US Patent, 4112130, 1978. Disponível: <https://www.google.com/patents/US4112130#forward-citations>. Acesso em: 20 de out. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção agrícola municipal. 2016. Disponível: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2016_v43_br.pdf Acesso em: 19 de out 2017.

ISLAM, M. Z.; KITAMURA, Y.; YAMANO, Y.; KITAMURA, M. Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 169, p. 131-140, 2016.

JAFARI, S. M., GHALENOEI, M. G., DEHNAD, D. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. **Powder Technology**, 311, 59-65, 2017.

KONG, F.; SINGH, R. P. Chemical Deterioration and Physical Instability of Foods and Beverages. In **The Stability and Shelf Life of Food**, p. 43-76, 2016.

LAGO, R.C.A., MAIA, M.L.L., MATTA, V.M.D. O sabor das frutas tropicais no Brasil. **EMBRAPA Agroindústria de Alimentos**, p.49, 2016.

LEONE, R.S, RAMOS, A. M., ROCHA, F. I. G. Avaliação de componentes bioativos em suco misto de frutas e hortaliça durante 100 dias de armazenamento. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 5, n. 1s, 2011.

LINS, A.D.; ROCHA, A.; GOMES, J.P.; FEITOSA, R.M.; ARAUJO, G.T.; SANTOS, D.D.C. Adsorption isotherms of the red mombin powder produced in spouted bed

dryer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 8, p. 562-567. 2017.

LÓPEZ, C.M., GARCIA, G.R.U., FERNANDEZ, M.J., JIMÉNES, G.D.C.R., SOLANO, G.L. Effect of drying methods on the physicochemical and thermal properties of Mexican plum (*Spondias purpurea* L.). **CyTA-Journal of Food**, v. 16, n. 1, p. 127-134, 2018.

MACHADO DE SOUSA, P. H., MOTA RAMOS, A., ARRAES MAIA, G., SOUSA DE BRITO, E., DOS SANTOS GARRUTI, D., & VASCONCELOS DA FONSECA, A. V. Adição de extratos de Ginkgo biloba e Panax ginseng em néctares mistos de frutas tropicais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 2, 2010.

MAFART, P. Procesos físicos de conservación. **Ingeniería industrial alimentaria**. España: Editorial Acribia, p. 253-275, 1994.

MALDONADO-ASTUDILLO, Y.I.; ALIA-TEJACAL, I.; NÚÑEZ-COLÍN, C.A.; JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ, J., PELAYO-ZALDÍVAR, C.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.; ANDRADE-RODRIGUEZ, M.; BAÑOS, S.B., VALLE-GUADARRAMA, S. Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. **Scientia Horticulturae**, v. 74, p. 93-206, 2014.

MARTINS DA SILVA, H., PERFEITO, D., DA SILVA, A., PEIXOTO, N. Caracterização e estudo da estabilidade física de suco misto adoçado de mangaba e cagaita. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 81-87, 2017.

MISHRA, P.; BRAHMA, A.; SETH, D. Physicochemical, functionality and storage stability of hog plum (*Spondia pinnata*) juice powder produced by spray drying. **Journal of food science and technology**, v. 54, n. 5, p. 1052-1061, 2017.

MOHAMMED, M. Acerola (*Malpighia emarginata* DC.). **Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits**, p. 27-48e, 2011.

MORAGA, G. A.; IGUAL, M.A.; MARTÍNEZ, E.G.; MOSQUERA, L. H.; NAVARRETE, N.M. Effect of relative humidity and storage time on the bioactive compounds and functional properties of grapefruit powder. **Journal of Food Engineering**, v. 112, n. 3, p. 191–199, 2012.

MORENO, T.; DE PAZ, E.; NAVARRO, I.; RODRÍGUEZ-ROJO, S.; MATÍAS, A., DUARTE, C.; SANZ-BUENHOMBRE, M.; COCERO, M. J. Spray drying formulation of polyphenols-rich grape marc extract: evaluation of operating conditions and different natural carriers. **Food and Bioprocess Technology**, v. 9, n. 12, p. 2046-2058, 2016.

MOURA, C. F.; OLIVEIRA, L. D. S.; SOUZA, K. O.; FRANCA, L. G.; RIBEIRO, L. B.; SOUZA, P. A.; MIRANDA, M. R. Acerola—*Malpighia emarginata*. In **Exotic Fruits Reference Guide**, p. 7-14, 2018.

OBEROI, D. P. S.; SOGI, D. S. Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 165, p. 172-178, 2015.

OECD/FAO. **Organisation for Economic Cooperation and Development / Food and Agriculture Organization**. Perspectivas agrícolas 2015-2024, 2015. Disponível: <http://www.fao.org.br/download/PA20142015CB.pdf>. Acesso em: 20 de out 2017.

OMS/FAO. **Organização Mundial da Saúde/Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação**, 2002. Disponível: <http://www.who.int/dietphysicalactivity/publications/releases/pr84/en/>. Acesso em: 19 de out 2017.

PAULO, F; SANTOS, L. Design of experiments for microencapsulation applications: A review. **Materials Science and Engineering**, v. 77, p. 1327-1340, 2017.

REZENDE, Y.R.R.S., NOGUEIRA, J.P., NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, v. 254, p. 281-291, 2018.

ROCHA, E.M.; SOUSA, S.L.; COSTA, J.D.P.; RODRIGUES, S.; ALFONSO, M.R.; COSTA, J. Obtenção de suco de caju atomizado através do controle das condições de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 646-651, 2014.

SANTHALAKSHMY, S., BOSCO, S. J. D., FRANCIS, S., SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, 274, 37-43, 2015.

SHISHIR, M. R. I.; TAIP, F. S.; SAIFULLAH, M.; AZIZ, N. A.; TALIB, R. A. Effect of packaging materials and storage temperature on the retention of physicochemical properties of vacuum packed pink guava powder. **Food packaging and shelf life**, v. 12, p. 83-90, 2017.

SILVA, P.B., DUARTE, C.R., BARROZO, M.A.S. Dehydration of acerola (*Malpighia emarginata*D.C.) residue in a new designed rotary dryer: Effect of process variables on main bioactive compounds. **Food and Bioproducts Processing**, v. 98, p. 62-70, 2016.

SILVA, Q.J.D., FIGUEIREDO, F.J.D., LIMA, V.L.A.G.D. Physical and chemical characteristics of red mombin trees cultivated in the forest zone in the North of Pernambuco, Brazil. **Revista Ceres**, v. 63, n. 3, p. 285-290, 2016.

SILVA, L.M.R.D., FIGUEIREDO, E.A.T.D., RICARDO, N.M.P.S., VIEIRA, I.G.P., FIGUEIREDO, R.W.D., BRASIL, I.M, GOMES, C.L. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v143, p. 398-404, 2014.

SHISHIR, M. R. I., CHEN, W. Trends of spray drying: a critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science & Technology**, v. 65, p. 49-67, 2017.

STUNDA-ZUJEVA, A.; IRBE, Z.; BERZINA-CIMDINA, L. Controlling the morphology of ceramic and composite powders obtained via spray drying—a review. **Ceramics International**, v. 43, n. 15, p. 11543-11551, 2017.

SUBRAMANIAM, P., & WAREING, P. (Eds.). **The stability and shelf life of food**. Woodhead Publishing, 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=YVwNCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=shelf+life+evaluation+of+foods&ots=OzLyLpvCBG&sig=OW6T8YJBpqQ9Pt5Nz0YQGoHUbs&redir_esc=y#v=onepage&q=shelf%20life%20evaluation%20of%20foods&f=false> Acesso em: 15 de ago de 2018.

TODISCO, K.M.; COSTA, J.M.C.; CLEMENTE, E. Alterations in carotenoids, phenolic compounds, flavonoids and ascorbic acid contents in red mombin (*Spondias purpurea* L.) microencapsulated pulp. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.13, p.24-28, 2015.

TONTUL, I., TOPUZ, A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: effect of drying conditions on the product yield and physical properties. **Trends in Food Science & Technology**, v. 63, p. 91-102, 2017.

VARGAS-SIMÓN, G. Ciruela/Mexican Plum—*Spondias purpurea* L. In: **Exotic Fruits Reference Guide**, p. 141-152, 2018.

WISNIEWSKI, R. Spray Drying Technology. **International Conference on Environmental Systems**, n. July, p. 1–223, 2015.

ZORIĆ, Z.; PELAIĆ, Z.; PEDISIĆ, S.; GAROFULIĆ, I. E.; KOVAČEVIĆ, D. B.; DRAGOVIĆ–UZELAC, V. Effect of storage conditions on phenolic content and antioxidant capacity of spray dried sour cherry powder. **LWT-Food Science and Technology**, v. 79, p. 251-259, 2017.

5. RESULTADOS

ARTIGO. Estudo de estabilidade do suco misto de acerola e ciriguela atomizado

RESUMO

Neste trabalho, objetivou-se avaliar a estabilidade do suco misto de acerola e ciriguela atomizado (SMACA), determinando assim as condições ótimas de armazenamento para minimizar as alterações físico-químicas e a perda de compostos bioativos. A secagem por atomização foi realizada em um mini spray dryer, com temperatura de 140 °C, vazão de alimentação de 0.60 L/h e com agente encapsulante, maltodextrina 5 DE. As condições de armazenamento foram aw 0,11, 0,23 e 0,34 a 25 °C durante 90 dias. Foram avaliados, atividade de água, umidade, pH, acidez titulável, sólidos solúveis, cor, ácido ascórbico, carotenóides totais, fenólicos totais e atividade antioxidante, no tempo inicial, após de 30, 60 e 90 dias de armazenamento do SMACA. Além da obtenção das isotermas de sorção. O SMACA apresentou os maiores valores para aw e umidade de 0.40 e 6.77 %, respectivamente, considerados estáveis e seguros para alimentos em pó. Com o aumento de aw e tempo de armazenamento, o SMACA apresentou um aumento significativo na diferença de cor e tendo também alterações de textura. Perdas significativas foram observadas ao final do período de armazenamento (90 dias) nos teores de ácido ascórbico, carotenóides totais e fenólicos totais. O armazenamento do SMACA por 30 a 60 dias em aw 0,11 a 25 °C mantém as características físico-químicas, compostos bioativos e atividade antioxidante mais estáveis.

Palavra chaves: Atomização, características físico-químicas, compostos bioativos, estabilidade

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the stability of the mixed juice of acerola and ciriguela atomized (SMACA), thus determining optimal storage conditions to minimize physico-chemical changes and loss of bioactive compounds. The spray drying was performed in a mini spray dryer, with a temperature of 140 ° C, feed rate of 0.60 L / h and with encapsulating agent, maltodextrin 5 DE. Storage conditions were aw at 0.11, 0.23 and 0.34 at 25°C for 90 days. Water activity, moisture, pH, titratable acidity, soluble solids, color, ascorbic acid, total carotenoids, total phenolics and antioxidant activity were evaluated at the initial time, after 30, 60 and 90 days of SMACA storage. In addition to obtaining the sorption isotherms. The SMACA showed higher values for aw and humidity of 0.40 and 6.77%, respectively, considered to be stable and safe for powdered foods. With increasing aw and storage time, SMACA showed a significant increase in color difference and also having texture changes. Significant losses were observed at the end of the storage period (90 days) in ascorbic acid, total carotenoids and total phenolics. Storage of SMACA for 30 to 60 days at aw 0.11 to 25 ° C maintains the most stable physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity.

Key words: Atomization, physico-chemical characteristics, bioactive compounds, stability.

5.1. INTRODUÇÃO

A região nordeste do Brasil é conhecida pela alta produção de diversas frutas nativas e exóticas que apresentam propriedades nutritivas para o organismo humano. Dentre essas frutas produzidas na região, está a acerola (*Malpighia emarginata* DC), caracterizada por elevados teores de ácido ascórbico, carotenoides e compostos fenólicos (ALMEIDA et al., 2011; JAESCHKE; MARCZAK; MERCALI, 2016) e a ciriguela (*Spondias purpurea* L.), composta por substâncias nutritivas como minerais, carboidratos e compostos fenólicos (TODISCO et al., 2015). Essas frutas apresentam um curto período de colheita, elevada perecibilidade e são bastante apreciadas pelos consumidores, devido suas excelentes qualidades sensoriais. O processamento dessas frutas permite a produção de uma variedade de produtos no mercado, como bebidas, polpa congelada, geleia, suplementos e outros produtos (SILVA et al., 2016; LINS et al., 2017).

A tendência de inovação vai tornando-se fator principal na demanda dos consumidores. O suco misto de frutas traz como vantagens a diminuição da perda pós-colheita, melhoramento das características nutricionais e funcionais por meio da complementação de nutrientes e compostos antioxidantes fornecidos por diferentes frutas, bem como o desenvolvimento de novos sabores que atendem às expectativas dos consumidores (MACHADO DE SOUSA et al., 2010; BATISTA et al., 2018).

As frutas são alimentos altamente perecíveis, portanto é importante a correta escolha da técnica de processamento, que visem estender a vida de prateleira e favorecer a estabilidade nutricional e funcional do produto. Dentre as várias técnicas de processamento, destaca-se a secagem por atomização, que consiste em submeter um produto líquido em contato com ar quente, transformando-se em gotículas que perdem umidade, obtendo assim, um produto em pó com estado físico mais estável, fácil de manusear, transportar e armazenar (TONTUL; TOPUZ, 2017).

A remoção do teor de água no processo de secagem por atomização resulta em produtos com uma matriz vítrea amorfa e bastante higroscópica, onde a estabilidade de sucos atomizados está diretamente relacionada com as condições

ambientais como a umidade, temperatura e luz. Essas condições quando não são controladas podem provocar uma diminuição na qualidade do alimento, tendo um produto com alterações de cor, susceptível as reações químicas e enzimáticas indesejáveis levando, conseqüentemente, a perdas na funcionalidade do alimento (BARBOSA; TEIXEIRA, 2016; JAFARI; GHALENOEI; DEHNAD, 2017). Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar a estabilidade do suco misto de acerola e ciriguela atomizado (SMACA), determinando assim as condições ótimas de armazenamento para minimizar as alterações físico-químicas e a perda de compostos bioativos.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1. Polpas de acerola e ciriguela

As frutas foram adquiridas no Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco (CEASA - PE) localizado na cidade de Recife. Foi realizada a seleção de acordo com a coloração (vermelha da acerola e amarelo-laranja da ciriguela) e a integridade das frutas (livre de lesões que indiquem indícios de apodrecimento), seguido da higienização, sanitização com solução de hipoclorito de sódio (50 ppm) por 15 minutos e despulpamento utilizando uma despulpadeira semi-industrial (modelo Bobina Compacta 46 Itabauna/BA). As polpas foram peneiradas e, posteriormente, armazenadas em sacos de polietileno de alta densidade, sendo imediatamente congeladas e mantidas a -20°C até a realização dos experimentos.

5.2.2. Agente Encapsulante

O agente encapsulante utilizado foi a maltodextrina 5 DE obtido por meio de doação pela empresa Ingredion (São Paulo, Brasil).

5.2.3. Preparação do suco misto de acerola e ciriguela atomizado

Como mostra a Figura 2, o suco misto de acerola e ciriguela foi constituído de 60% de polpa de acerola e 40% de polpa de ciriguela, de acordo com Ribeiro et al. (2018). Foi adicionada água destilada na proporção 1:1, em relação à polpa mista, para facilitar a passagem da solução pelo bico atomizador e 10% da

maltodextrina 5 DE. Esta solução foi mantida sob agitação em um homogeneizador (Tecnal TE-102) até a completa dissolução.

A atomização foi realizada em um mini atomizador - LM, modelo MSD 1.0 (LABMAQ do Brasil LTDA), que operou com vazão de alimentação de 0,60 L/h, temperatura de entrada de ar de 140 °C (essas condições operacionais foram escolhidas de acordo com estudos preliminares), bico injetor de 1,2 mm de diâmetro, fluxo de ar de 30 m³/h e pressão do ar de 0,6 bar. O produto em pó foi acondicionado em vidros (50 mL) e armazenado nas condições descritas no item 5.2.4, até o momento da realização das análises correspondentes.

5.2.4. Condições para o estudo de estabilidade

Recipientes herméticos com diferentes atividades de água (*a_w*) de 0,11, 0,23 e 0,34 foram preparados usando soluções saturadas de cloreto de lítio, acetato de potássio e cloreto de magnésio, respectivamente (GREENSPAN, 1977). As amostras de SMACA foram armazenadas a 25 ± 1°C, em cada condição da *a_w* mencionadas acima, protegidas da luminosidade. Periodicamente as amostras foram analisadas quanto as características físico-químicas descritas no item 5.2.5 e determinações de compostos bioativos descritas no item 5.2.6 em diferentes tempos de armazenamento: 0 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias.

5.2.5. Características físico-químicas do SMACA

5.2.5.1. Atividade de água

Foi medida utilizando o analisador de *a_w* (AQUA LAB[®], modelo 4TE, Decagon, USA).

5.2.5.2. Umidade

Foi determinada em balança infravermelha com fonte de calor infravermelho produzido por resistência encapsulada em quartzo e display LCD (MARTE, ID50, Piracicaba/SP), à temperatura de 105°C por 30 minutos, sendo os resultados expressos em porcentagem (%), conforme a AOAC (2006).

5.2.5.3. pH

Foi utilizado pH-metro (TECNAL® TEC-3MP, Piracicaba/SP) e soluções tampão de pH 7 e 4 para calibração do aparelho. Mediante o eletrodo de vidro foi analisado por medidas diretas da amostra reconstituindo 1 g de pó em 100 mL de água destilada, conforme a AOAC (2006).

5.2.5.4. Acidez titulável

O teor de acidez titulável foi determinada diluindo 1 g de pó em 50 mL de água destilada, e titulando com solução de NaOH 0,1 N padronizada tendo como indicador de ponto de virada a solução de fenolftaleína, conforme descrito na norma AOAC (2006). Os resultados foram expressos em g de ácido cítrico/100 g em base seca.

5.2.5.5. Sólidos Solúveis

Foi utilizado o refratômetro (REICHERT® r2i300) dando leituras diretas das amostras diluídas (1 g em 10 mL de água destilada), sendo o resultado expresso em °Brix.

5.2.5.6. Determinação de cor

A cor do SMACA foi determinada usando colorímetro (Minolta CR-400, Konica Minolta, Sensing Inc), calibrado com azulejo padrão branco, operando em sistema CIELAB ($L^*a^*b^*$), onde L^* indica variação entre claro e escuro, a^* indica variação de cor entre vermelho e verde, b^* indica variação de cor entre amarelo e azul. Segundo Kha et al. (2015) a diferença de cor (ΔE) entre as amostras foi calculada por meio da Equação 1.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$$

Equação 1

Onde, L_0^* , a_0^* e b_0^* são valores da amostra no tempo de armazenamento de 0 dias.

L^* , a^* e b^* valores de cada amostra medidos com tempo de armazenamento de 30,60 e 90 dias

5.2.6. Análises de compostos bioativos do SMACA.

5.2.6.1. Ácido ascórbico.

O teor de ácido ascórbico (AA) foi determinado por método titulométrico de Tillmans, baseado na redução do corante 2,6 diclorofenol indofenol (DCF_I) que é reduzido pelo AA presente na amostra (AOAC, 2006). Os resultados foram expressos em miligrama de ácido ascórbico por 100 gramas de amostra em base seca (mg AA/100g).

5.2.6.2. Carotenóides totais.

O teor de carotenóides totais foi determinado pelo método espectrofotométrico proposto por Rodriguez-Amaya (1999). Os carotenoides foram extraídos com acetona, seguida por transferência em éter de petróleo, completando o volume em balão volumétrico de 50 mL e posterior a leitura foi realizada a 450 nm em espectrofotômetro (Shimadzu, modelo UV 1650PC, Japão). A expressão matemática descrita por Gross (1987), considerando o coeficiente de absorção de 2500. Os resultados foram expressos em equivalente μg de β -caroteno/g.

5.2.6.3. Compostos fenólicos.

A extração foi feita com 2 g de pó em água destilada mantidos sob agitação em agitador magnético (Fisatom, modelo 752, São Paulo) por 20 minutos e centrifugados (Cientec, modelo CT-6000R, São Paulo) a 5000 rpm por 15 minutos e filtrado. O sobrenadante foi coletado e o precipitado ressuspensão no mesmo solvente, sendo esse processo realizado duas vezes. Em cada processo coloca-se 15 mL de água destilada, que ao término os sobrenadantes filtrados foram combinados completando o volume em balão volumétrico de 50 mL.

A determinação do teor de compostos fenólicos totais foi realizada por método espectrofotométrico utilizando reagente Folin-Ciocalteu (Merck, Darmstadt, Germany), segundo metodologia descrita por Wettasinghe e Shahidi (1999). A absorbância foi registrada a 725 nm em espectrofotômetro (Shimadzu, modelo UV 1650PC, Japão). Para a quantificação dos fenólicos totais foi utilizado uma curva padrão de ácido gálico (0 a 120 $\mu\text{g}/\text{ml}$) em comprimento de onda de 725

nm, e os resultados expressos em miligramas em equivalente de ácido gálico por 100 gramas de amostra em base seca (mg EAG /100g).

5.2.6.4. Atividade antioxidante

A atividade antioxidante do extrato fenólico foi determinada mediante dois métodos:

(A) Capacidade de sequestro do radical 1,1-difenil-2-picrihidrazil (DPPH), segundo método descrito por Brand-Williams et al (1995), modificado por Sanchez-Moreno et al. (1998). Extratos com diferentes concentrações de fenólicos totais de 8,85 µg/mL, 22,83 µg/mL e 48,21 µg/mL. Os resultados foram expressos em EC₅₀ (concentração de extrato em µg/mL capaz de reagir com 50% do radical presente na solução de DPPH).

(B) Capacidade de sequestrar o radical 2,2-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfônico (ABTS), segundo a metodologia descrita por RE et al. (1999). A capacidade antioxidante da amostra foi expressa em µMol TEAC/g do pó (atividade antioxidante equivalente ao Trolox, 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico).

5.2.7. Isoterma de sorção

As isotermas de sorção foram determinadas por método gravimétrico. Nove soluções saturadas foram preparadas a fim de fornecer diferentes valores de umidade relativa (Greenspan, 1977). Os sais utilizados e suas respectivas umidades relativas encontram-se na Tabela 1. Três repetições das amostras foram colocadas em frascos e acondicionadas em vidros herméticos contendo as soluções saturadas a 25 ±1 °C. Na condição de maior teor de umidade relativa (KCl), foi adicionado um béquer contendo 1,5 mL de tolueno, para evitar o crescimento de fungos.

As amostras foram pesadas semanalmente até que não houvesse variação no peso (0,001 g), chegando ao equilíbrio (5 semanas). Para minimizar a interferência da umidade atmosférica sob o peso das amostras, o tempo de remoção, pesagem e acondicionamento no vidro hermético foi menor que 1 minuto.

Tabela 1. Umidade relativa das soluções saturadas de sais selecionadas a 25 °C

Sal	Umidade Relativa (%)
Cloreto de lítio	11,30
Acetato de potássio	22,61
Cloreto de magnésio	32,78
Carbonato de potássio	43,16
Nitrato de magnésio	52,89
Brometo de sódio	57,57
Cloreto de estrôncio	70,85
Cloreto de sódio	75,29
Cloreto de potássio	84,34

Fonte: Adaptação de Greenspan, 1977

Para determinar as isotermas de sorção, a umidade de equilíbrio das amostras foi plotada em função da atividade de água correspondente a cada solução saturada. Os modelos matemáticos usados para descrever a relação entre a umidade de equilíbrio (X_{eq}) e a atividade de água (a_w) são apresentados na Tabela 2

Tabela 2. Modelos matemáticos da isoterma de sorção

Modelo	Equação	Parâmetro
GAB	$X_w = \frac{x_m \cdot C \cdot k \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 + (C - 1) \cdot k \cdot a_w)}$	<p>x_m é a umidade do produto correspondente à situação em que os pontos de adsorção primários estão saturados por moléculas de água</p> <p>C, é a constante de Guggenheim, característica do produto e relacionada com o calor de adsorção da monocamada</p> <p>K, é o fator de correção relacionado com o calor de adsorção da multicamada</p>

BET	$X_w = \frac{x_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w) \cdot (1 + (C - 1) \cdot a_w)}$	x_m é a umidade do produto correspondente a camada monomolecular de água adsorvida C, constante característica do material relacionada com o calor desprendido no processo de sorção
HENDERSON	$X_w = 0.01 \left[\frac{-\log(1 - a_w)}{10^f} \right]^{1/n}$	n e f são parâmetros característicos do produto
CAURIE	$X_w = \exp \left[a_w \cdot 1n(v) - \frac{1}{4.5 \cdot x_s} \right]$	v, é uma constante característica do material x_s conteúdo de umidade de seguridade que proporciona a máxima estabilidade ao alimento desidratado durante o armazenamento
SMITH	$X_w = B + A \cdot \log(1 - a_w)$	A e B são constantes do modelo e características para cada alimento
OSWIM	$X_w = A \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^B$	
HALSEY	$X_w = \left(\frac{A}{1n(1/a_w)} \right)^{1/B}$	

Fonte: Adaptado de GÁLVEZ; ARAVENA; MONDACA, 2006

5.2.8. Tratamento estatístico

As análises foram realizadas em triplicata e as medidas das variáveis dependentes foram avaliadas pela Análise de Variância (ANOVA) e comparados com o teste de Tukey pelo programa SAS, versão 9.0 (2002 INTITUTE INC., CARY, NC, USA) ao nível de 5% de significância. Os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão.

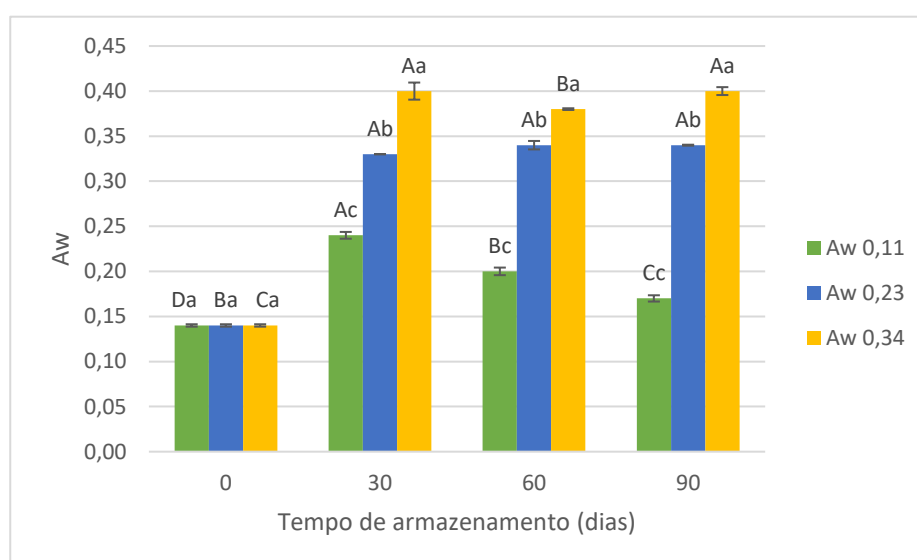
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1. Características físico-químicas do SMACA

5.3.1.1. Atividade de água (aw) e Umidade

As Figuras 1 e 2 mostram o comportamento da aw e do teor de umidade, respectivamente em função do tempo de armazenamento do SMACA nas diferentes aw a 25 °C.

Figura 1. Atividade de água do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.



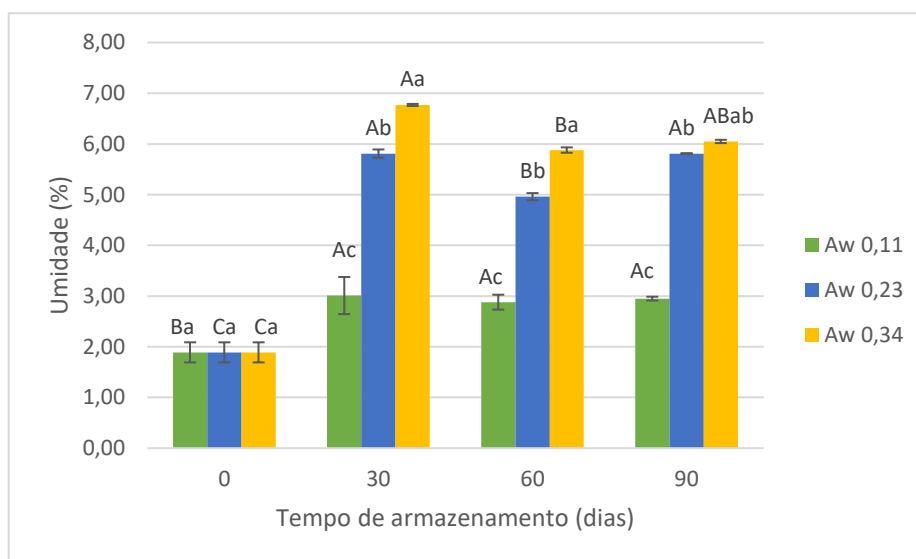
Resultados são expressos como média \pm desvio padrão (n=3). Letras minúsculas iguais não diferem significativamente ($p>0,05$) no mesmo tempo de armazenamento entre as aw pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p>0,05$) entre os tempos de armazenamento na mesma aw pelo teste de Tukey.

De acordo com a Figura 1, na aw 0,11 a aw do SMACA aumentou nos primeiros 30 dias e depois foi decrescendo significativamente ($p<0,05$), com relação ao tempo 0. Este comportamento pode ter sido pela migração de água do ambiente para o pó, chegando a um equilíbrio aos 90 dias de armazenamento (METER GROUP). Na aw 0,23 houve um aumento significativo ($p<0,05$) comparado com o tempo inicial permanecendo estatisticamente estável ($p>0,05$) durante o período de armazenamento. Na condição de aw 0,34, com relação ao tempo inicial, o SMACA

teve um aumento significativo ($p < 0,05$) permanecendo estável no tempo 30 e 90 dias de armazenamento.

Em todas as condições de armazenamento, independentemente do tempo de armazenamento, o produto encontra-se microbiologicamente seguro, pois a aw foi inferior a 0,6 (SCOTT, 1957; LEONG et al., 2011).

Figura 2. Teor de umidade do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.



Resultados são expressos como média \pm desvio padrão ($n=3$). Letras minúsculas iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$) no mesmo tempo de armazenamento entre as aw pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$) entre os tempos de armazenamento na mesma aw pelo teste de Tukey.

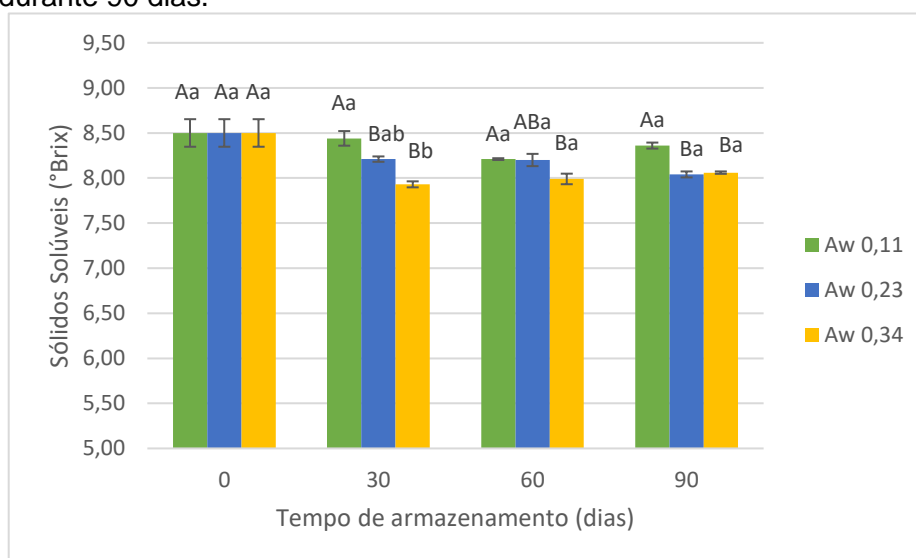
Na Figura 2 visualiza-se que o teor de umidade do SMACA aumentou significativamente ($p < 0,05$) ao transcorrer o tempo de armazenamento como também nas diferentes condições de aw, com relação ao tempo inicial. Na condição de aw 0,11 o SMACA permaneceu estatisticamente constante ($p > 0,05$) entre os tempos 30, 60 e 90 dias de armazenamento. No entanto, na aw 0,23 e 0,34 entre os tempos 30 e 90 dias não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$). A umidade do SMACA não superou o valor de $6,77 \pm 0,02$ %. Até o momento não foi encontrado Regulamento Técnico Brasileiro para sucos em pó atomizados que estabeleça limite de tolerância para umidade. Entretanto existem normativas para outros tipos de alimentos em pó que variam entre 3.5 a 15 % de umidade, como

por exemplo, leite integral, café e farinha de trigo (BRASIL, 1996; BRASIL, 2005; BRASIL, 2010), estando a umidade do SMACA dentro desse padrão.

5.3.1.2. Sólidos Solúveis

A Figura 3 mostra o comportamento de sólidos solúveis em função do tempo de armazenamento do SMACA nas diferentes aw a 25 °C

Figura 3. Teor dos sólidos solúveis do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.



Resultados são expressos como média \pm desvio padrão (n=3). Letras minúsculas iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$) no mesmo tempo de armazenamento entre as aw pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$) entre os tempos de armazenamento na mesma aw pelo teste de Tukey.

Na aw 0,11 o teor de sólidos solúveis do SMACA não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) durante os 90 dias de armazenamento. Na aw 0,23 o teor de sólidos solúveis não diferiu significativamente ($p > 0,05$) entre o tempo 0 e 60 dias de armazenamento, porém aos 30 e 90 dias de armazenamento apresentaram uma redução significativa ($p < 0,05$) com relação ao tempo inicial. Na condição de aw 0,34 observou-se uma redução significativa ($p < 0,05$) durante o armazenamento comparando-se com o tempo 0, permanecendo estatisticamente constante ($p < 0,05$) durante o período de armazenamento.

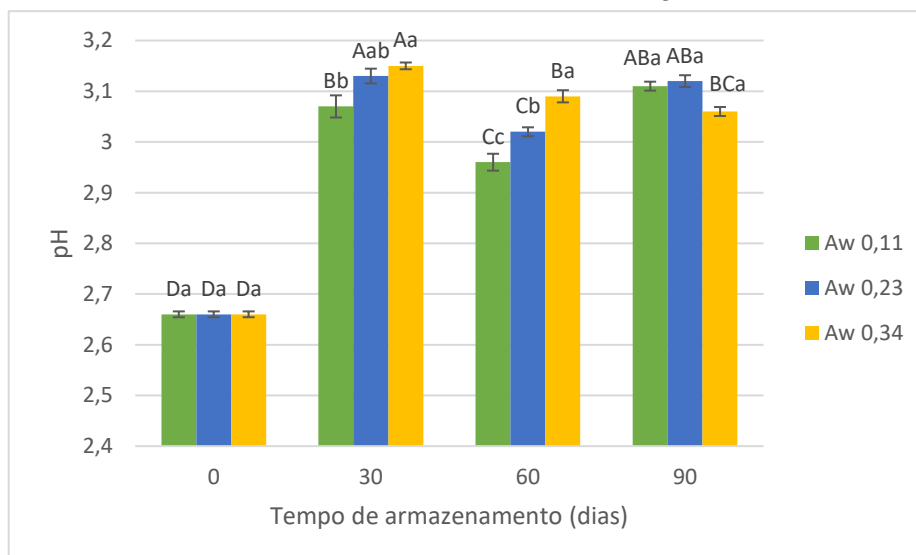
As condições de aw influenciaram mais os sólidos solúveis do SMACA, do que o período de armazenamento, já que estatisticamente não houve diferença significativa ($p>0,05$) no mesmo tempo de armazenamento entre as diferentes aw. Reduções no teor de sólidos solúveis podem ser devidas ao aumento do teor de água durante o armazenamento, alterando a proporção de sólidos na massa total (LOUREIRO et al., 2013)

Esta redução de sólidos solúveis durante o armazenamento também foi reportada por Silva et al. (2005) em umbu-cajá em pó, armazenado durante 60 dias em diferentes tipos de embalagem. Reis et al. (2017) também observaram este mesmo comportamento em farinha de acerola.

5.3.1.3. pH e Acidez Titulável.

As Figuras 4 e 5 mostram o comportamento do pH e acidez titulável em função do tempo de armazenamento do SMACA nas diferentes atividades de água a 25 °C.

Figura 4. Valor de pH do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.

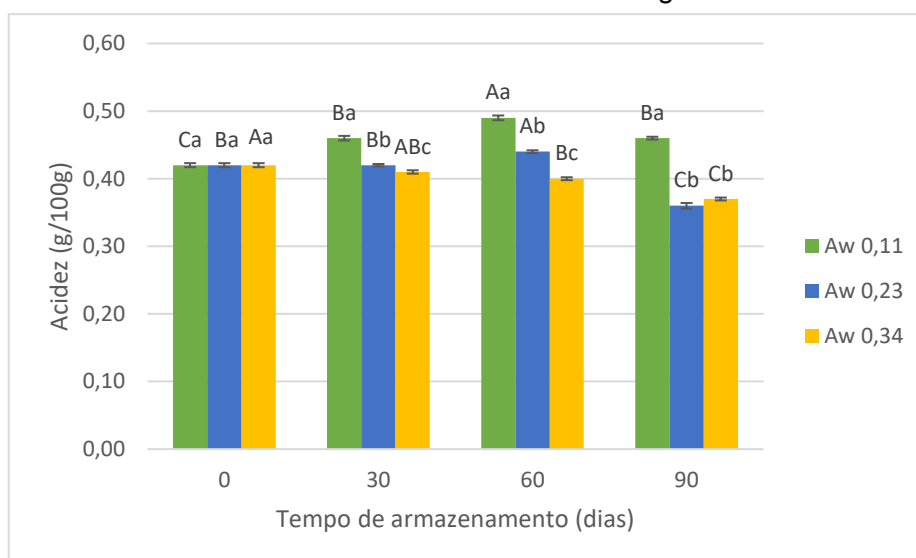


Resultados são expressos como média \pm desvio padrão ($n=3$). Letras minúsculas iguais não diferem significativamente ($p>0,05$) no mesmo tempo de armazenamento entre as aw pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p>0,05$) entre os tempos de armazenamento na mesma aw pelo teste de Tukey.

Na Figura 4 observa-se o efeito dos valores de pH do SMACA, com pH médio inicial de $2,66 \pm 0,01$ e que aumentou durante o armazenamento nas diferentes aw. Na aw 0,11 e 0,23, com relação ao tempo inicial, o pH aumentou significativamente ($p < 0,05$) nos primeiros 30 dias e depois foi decrescendo significativamente ($p < 0,05$), porém aos 90 dias de armazenamento atingiu valores que não diferiram significativamente ($p < 0,05$) do tempo 30 dias. Na aw 0,34 também houve um aumento significativo ($p < 0,05$) nos primeiros 30 dias com relação ao tempo inicial de armazenamento, ficando estatisticamente estável nos tempos 60 e 90 dias.

O SMACA atingiu valores inferiores a 3,15 de pH, o qual encontra-se na faixa de alimentos ácidos, considerada restritiva para o desenvolvimento de bactérias.

Figura 5. Acidez titulável do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.



Resultados são expressos como média \pm desvio padrão ($n=3$). Letras minúsculas iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$) no mesmo tempo de armazenamento entre as aw pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$) entre os tempos de armazenamento na mesma aw pelo teste de Tukey.

Na Figura 5 observa-se o comportamento da acidez do SMACA durante 30, 60 e 90 dias de armazenamento, nas diferentes aw a 25 °C. Na aw 0,11 o SMACA apresentou um aumento significativo nos valores de acidez ($p < 0,05$) comparados com o tempo 0. Na condição de aw 0,23, nos primeiros 30 dias de armazenamento a acidez permaneceu estatisticamente estável ($p > 0,05$) com relação ao tempo

inicial, aos 60 dias atingiu um aumento significativo ($p < 0,05$) que logo aos 90 dias decresceu significativamente ($p < 0,05$) com relação ao tempo inicial. Na aw 0,34, a acidez também apresentou estabilidade estatística ($p > 0,05$) nos primeiros 30 dias de armazenamento comparada com o tempo 0 e aos tempos 60 e 90 dias decresceu significativamente ($p < 0,05$).

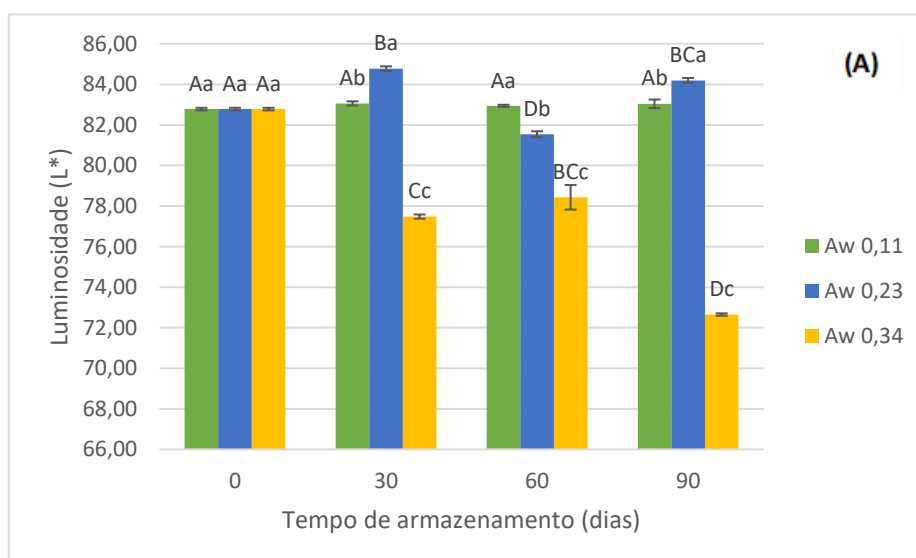
A acidez está relacionada com o pH do SMACA, cujo aumento da acidez corresponde à diminuição no pH ou ao contrário. As alterações na acidez refletem inversamente proporcional ao pH (BORGES et al., 2011).

Estas alterações no pH e na acidez titulável podem ser atribuídas às reações de amins básicas para formar compostos de menor basicidade e também à degradação de açúcares em ácidos durante a reação de Maillard (LIU et al., 2010).

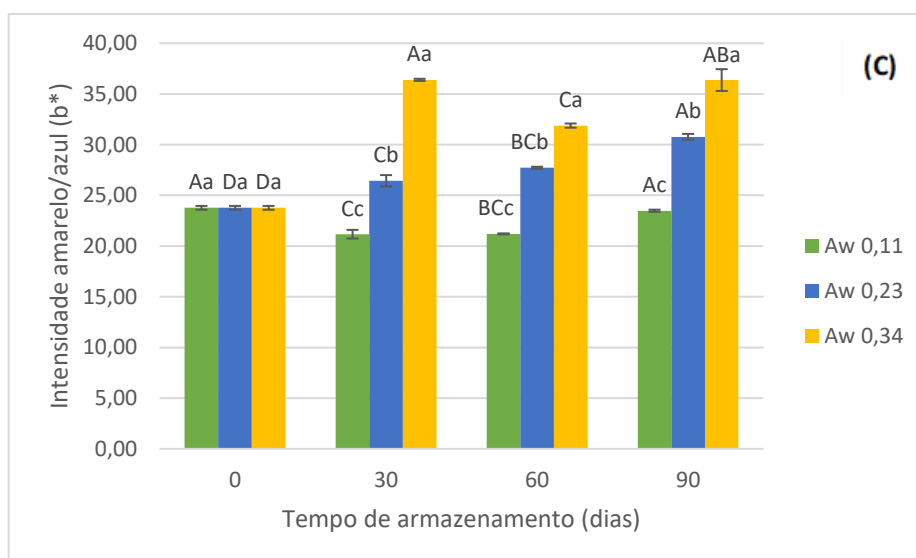
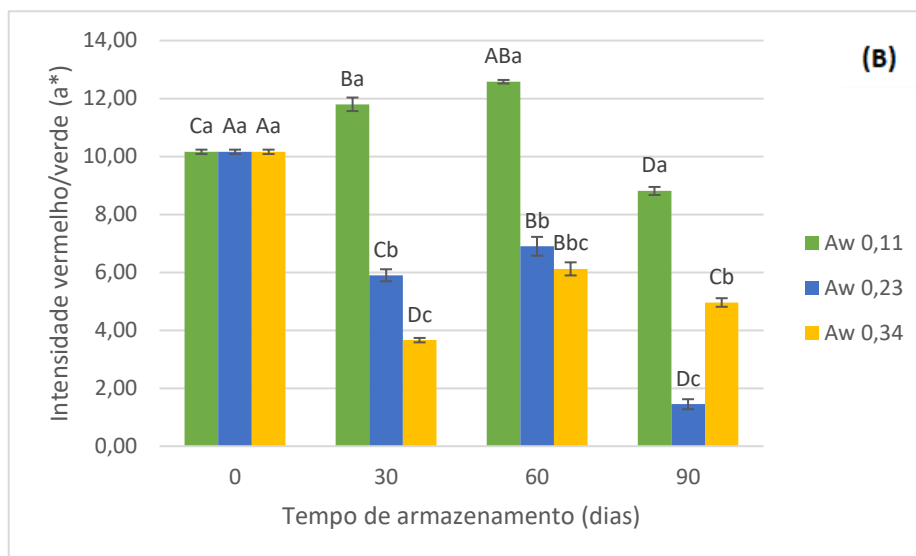
5.3.1.4. Parâmetros de cor.

As Figuras 6 A, 6 B e 6 C mostram os parâmetros de cor, isto é, o valor de luminosidade (L^*), de intensidade de vermelho/verde (a^*) e o de intensidade de amarelo/azul (b^*), respectivamente, e a Figura 7 mostra a diferença de cor (ΔE) durante o período de armazenamento nas diferentes condições de aw a 25 °C para o SMACA.

Figura 6. Parâmetros colorimétricos do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.



(Continuação da Figura 6)



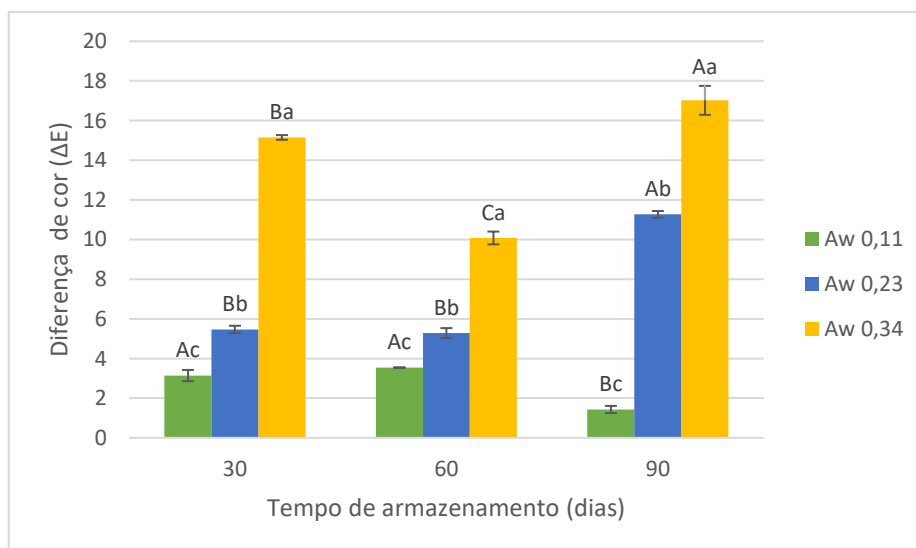
Resultados são expressos como média \pm desvio padrão (n=3). Letras minúsculas iguais não diferem significativamente ($p>0,05$) no mesmo tempo de armazenamento entre as aw pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p>0,05$) entre os tempos de armazenamento na mesma aw pelo teste de Tukey.

Na Figura 6 A, o valor L^* representa a luminosidade da superfície e determina a posição do ponto sobre o eixo vertical que varia entre 0 (preto) a 100 (branco). Na condição de aw 0,11, o valor de L^* não apresentou diferença significativa ($p>0,05$) durante o tempo de armazenamento, demonstrando a estabilidade da luminosidade com relação ao tempo inicial. Na aw 0,23, em comparação ao tempo inicial, houve uma diferença significativa ($p<0,05$) que ao finalizar o tempo de armazenamento atingiu um aumento da luminosidade, ficando

mais clara a superfície do pó. Na condição de aw 0,34 o L* apresentou uma redução significativa ($p < 0,05$) durante o período de armazenamento em relação ao tempo inicial. Ressaltando que essa redução de luminosidade demonstra que pó vai ficando mais escuro ao transcorrer o tempo de armazenamento nessa condição de aw.

Na Figura 6 B e 6 C visualiza-se o comportamento dos valores a^* e b^* respectivamente. Na condição de aw 0,11 com relação ao tempo inicial, o valor a^* (intensidade vermelho) para o SMACA apresentou um aumento significativo ($p < 0,05$) aos 30 e 60 dias e um decréscimo significativo ($p < 0,05$) aos 90 dias de armazenamento. Com respeito ao valor b^* (intensidade amarelo) teve uma redução significativa ($p < 0,05$) aos 30 e 60 dias e mantendo-se estável estatisticamente ($p > 0,05$) aos 90 dias de armazenamento, comparado com o tempo inicial. Na aw 0,23 e 0,34, comparando com o tempo inicial, a intensidade vermelha (a^*) apresentou com uma redução significativa ($p < 0,05$) e a intensidade amarela (b^*) um aumento significativo ($p < 0,05$) ao transcorrer o período de armazenamento do SMACA.

Figura 7. Diferença de cor (ΔE) do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.



Resultados são expressos como média \pm desvio padrão ($n=3$). Letras minúsculas iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$) no mesmo tempo de armazenamento entre as aw pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$) entre os tempos de armazenamento na mesma aw pelo teste de Tukey.

Para a diferença de cor (ΔE) do SMACA (Figura 7) foi observado que nas condições de a_w 0,11 e 0,23, nos tempos de 30 e 60 dias de armazenamento, não houve diferença significativa ($p > 0,05$), porém aos 90 dias houve uma redução significativa ($p < 0,05$) na a_w 0,11 e um aumento significativo ($p < 0,05$) na a_w 0,23. No entanto, na a_w 0,34 visualizou-se maior diferença de cor (ΔE) estatisticamente significativa ($p < 0,05$) durante o período de armazenamento. Na Figura 8, os registros visuais confirmam a mudança de cor e textura durante o período de armazenamento nas diferentes condições de a_w (0.11, 0.23 e 0.34) a 25 °C.

Figura 8. Registros visuais do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.



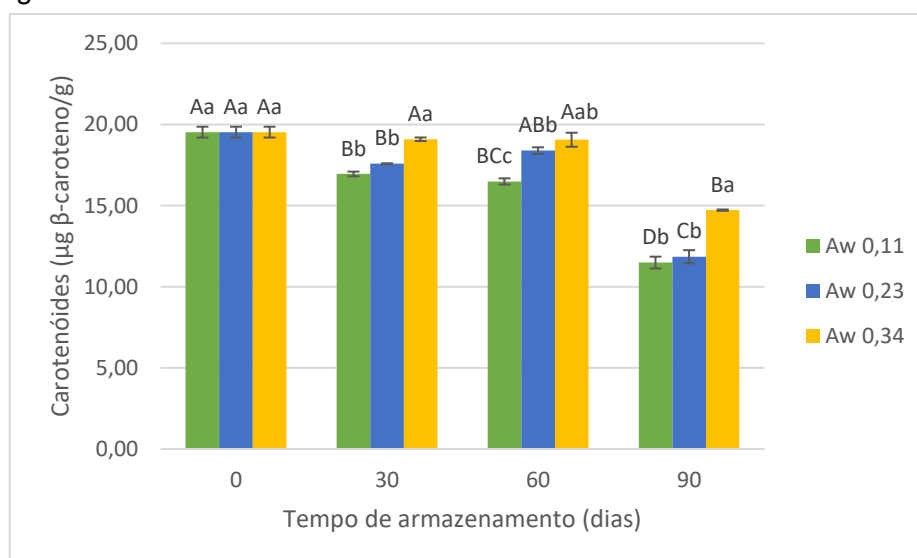
A mudança de cor em decorrência do tempo pode ser atribuída à absorção de umidade, como à degradação de ácido ascórbico e carotenóides (KHA et al., 2015, MUZAFFAR; KUMAR, 2016). A alteração de cor durante o armazenamento foi relatada em estudos de tomate em pó (LIU et al., 2010), subprodutos da uva atomizada (SOUZA et al., 2015), suco de tamarindo atomizado (MUZAFFAR; KUMAR, 2016), suco misto de laranja e beterraba (PORTO et al., 2016) e extrato de beterraba atomizado (CARMO et al., 2018).

5.3.2. Compostos biativos e atividade antioxidante do SMACA.

5.3.2.1. Carotenóides totais.

Os efeitos durante o armazenamento nas diferentes aw 0,11, 0,23 e 0,34 a 25 °C sobre a estabilidade de carotenóides totais no SMACA podem ser observados na Figura 9.

Figura 9. Teor de carotenóides totais do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.



Resultados são expressos como média \pm desvio padrão (n=3). Letras minúsculas iguais não diferem significativamente ($p>0,05$) no mesmo tempo de armazenamento entre as aw pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p>0,05$) entre os tempos de armazenamento na mesma aw pelo teste de Tukey.

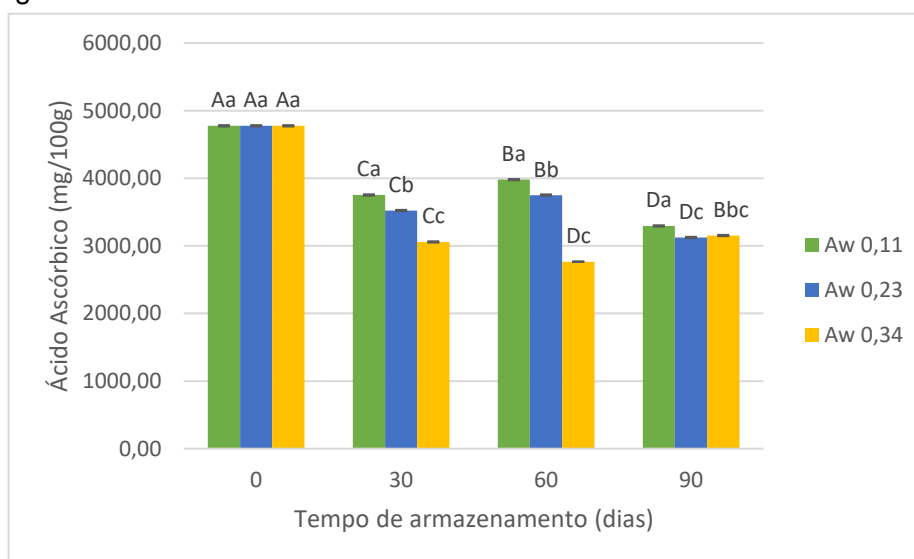
O teor de carotenóides totais do SMACA armazenado na aw 0,11 comparado com o tempo inicial apresentou uma redução significativa ($p < 0,05$) que se manteve constante até os 60 dias e depois decresceu aos 90 dias de armazenamento. Na aw 0,23 houve redução significativa ($p < 0,05$) de teor de carotenóides totais nos tempos 30 e 90 dias de armazenamento, e aos 60 dias permaneceu estatisticamente constante ($p > 0,05$) com relação ao tempo inicial. Na aw 0,34 não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) até os 60 dias de armazenamento e no tempo 90 dias observou-se uma redução significativa ($p < 0,05$) comparando-se com o tempo inicial.

Este comportamento está possivelmente associado à inerente instabilidade deste composto que é susceptível às reações de oxidação e isomerização (KHA et al., 2015, PRZYBYSZ; ONACIK-GÜR; DŁUŻEWSKA, 2016). O comportamento semelhante ao deste estudo foi publicado por Przybysz; Onacik-gür e Dłużewska (2016) que estudaram a estabilidade do β -caroteno, resultando uma diminuição no teor de carotenóides durante o armazenamento. Todisco, Costa e Clemente (2015) observaram uma redução no conteúdo de carotenóides totais ao final do armazenamento do suco de ciriguela atomizado, armazenado em embalagens de polietileno e laminado.

5.3.2.2. Ácido Ascórbico.

A Figura 10 mostra a atuação do teor de ácido ascórbico do SMACA durante o armazenamento nas diferentes condições de aw 0,11, 0,23 e 0,34 a 25 °C.

Figura 10. Teor de carotenóides totais do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.



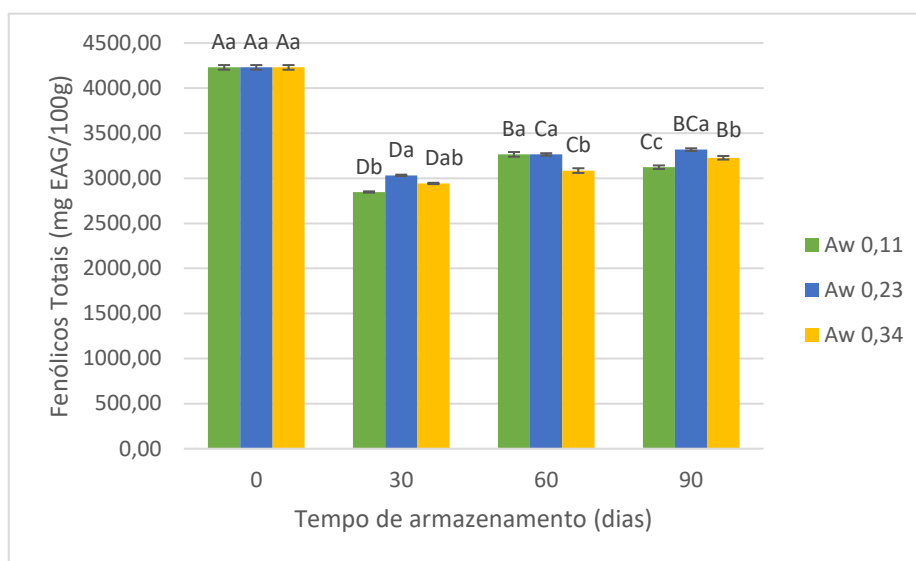
Resultados são expressos como média \pm desvio padrão (n=3). Letras minúsculas iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$) no mesmo tempo de armazenamento entre as aw pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$) entre os tempos de armazenamento na mesma aw pelo teste de Tukey.

Os teores de ácido ascórbico do SMACA armazenados em aw 0,11, 0,23 e 0,34 apresentaram uma redução significativa ($p < 0,05$) com relação ao tempo inicial durante o período de armazenamento. Ressaltando que na condição de aw 0,11 houve menor redução do conteúdo de ácido ascórbico durante o armazenamento. Foi observado que além da condição de aw, o tempo de armazenamento influenciou na estabilidade do composto estudado. O efeito do fator extrínseco umidade favoreceu a degradação do ácido ascórbico, acompanhada de mudanças de cor, devido à formação de compostos intermediários instáveis como o ácido dehidroascórbico (PAVLOVSKA; TANEVSKA, 2013; PORTO et al. 2016; UDOMKUN et al., 2016). Udomkun et al. (2016) avaliaram a estabilidade do mamão seco em diferentes embalagens durante 9 meses e observaram que a degradação do ácido ascórbico acelerou exponencialmente durante os primeiros 3 meses de armazenamento. González et al. (2019) estudaram a estabilidade da toranja atomizada em diferentes umidades relativas por até 9 meses a 20 °C, e observaram a diminuição do ácido ascórbico em umidade relativa maior a 33% durante o período de armazenamento.

5.3.2.3. Compostos Fenólicos

A Figura 11 mostra o comportamento do teor de fenólicos totais no SMACA avaliado durante os 90 dias de armazenamento nas diferentes condições de aw 0,11, 0,23 e 0,34 a 25 °C.

Figura 11. Teor de fenólicos totais do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.



Resultados são expressos como média \pm desvio padrão (n=3). Letras minúsculas iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$) no mesmo tempo de armazenamento entre as aw pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$) entre os tempos de armazenamento na mesma aw pelo teste de Tukey.

Os teores de fenólicos totais armazenados nas condições de aw 0,11, 0,23 e 0,34 apresentaram uma redução significativa ($p < 0,05$) com relação ao tempo inicial. Ressaltando que na aw 0,11 aos 60 dias de armazenamento teve maior redução de compostos fenólicos, na condição de aw 0,23 e 0,34 aos 90 dias resultaram com a maior redução de dito compostos. As ligações insaturadas presentes na estrutura molecular dos compostos fenólicos são as responsáveis pela degradação destes compostos causada por oxidação, luz, calor, pH, temperatura e umidade de armazenamento (UDOMKUN et al., 2016, TSALI; GOULA, 2018).

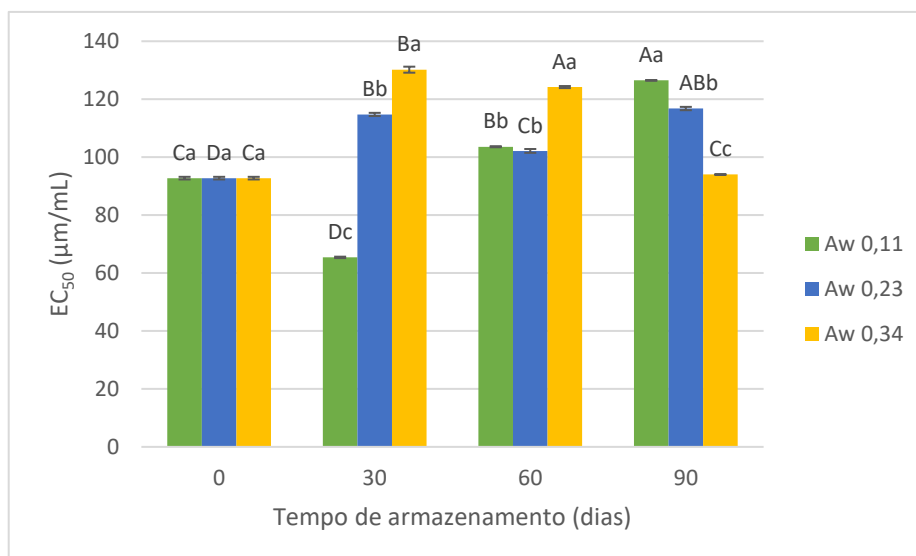
A redução de compostos fenólicos durante o armazenamento também foi reportada por Mishra, Brahma e Seth (2017) no estudo de estabilidade físico-química e funcionalidade do suco de ameixa atomizada e por Udomkun et al. (2016) quando avaliaram a estabilidade do mamão seco em diferentes embalagens durante 9 meses, observaram a degradação destes compostos.

5.3.2.4. Atividade antioxidante

(A) Método DPPH

A ação antioxidante do SMACA frente ao radical DPPH está apresentada na Figura 12. Ressaltando que quanto menor o valor EC_{50} maior será a ação antioxidante do extrato analisado (VIERA et al., 2011).

Figura 12. Ação antioxidante frente ao DPPH do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.



Resultados são expressos como média \pm desvio padrão (n=3). Letras minúsculas iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$) no mesmo tempo de armazenamento entre as aw pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p > 0,05$) entre os tempos de armazenamento na mesma aw pelo teste de Tukey.

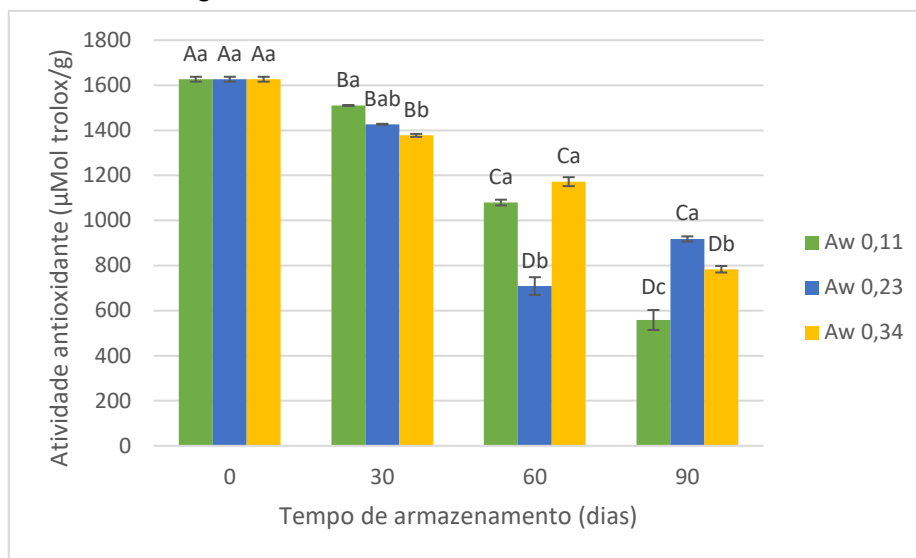
Constata-se que o EC_{50} referente aos 30, 60 e 90 dias apresentaram um aumento significativo ($p < 0,05$) em relação ao tempo 0, portanto houve redução da ação antioxidante em todas as condições de aw exceto na aw 0,11 aos 30 dias que teve uma redução significativa ($p < 0,05$) com relação ao tempo inicial, indicando um incremento da ação antioxidante. Na condição de aw 0,34 aos 90 dias, EC_{50} exibiu uma estabilidade estatística ($p > 0,05$) comparando ao tempo 0.

A redução da ação antioxidante pode estar relacionada a redução do teor de fenólicos. Com relação a maior ação antioxidante observada na condição de aw 0,11 pode decorrer da preservação de determinado composto que teria uma maior ação. Fang; Bhandari (2011) relataram redução da ação antioxidante em diferentes aw e temperaturas durante 6 meses de armazenamento de suco de bayberry em pó. Zoric et al. (2017) também observaram a diminuição da ação antioxidante durante o armazenamento de cereja azeda atomizada durante 12 meses.

(B) Método ABTS

A capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC) é um ensaio baseado no mecanismo de ação do antioxidante frente ao radical ABTS que transfere elétron e/ou hidrogênio, onde valores elevados de TEAC demonstram elevada capacidade antioxidante (CRAFT et al., 2012). Na Figura 13 constata-se o comportamento da atividade antioxidante do SMACA durante o período de armazenamento e nas diferentes condições de aw a 25 °C.

Figura 13. Atividade antioxidante pelo método ABTS do suco misto de acerola e ciriguela atomizado armazenado a 25 °C em diferentes atividades de água durante 90 dias.



Resultados são expressos como média \pm desvio padrão ($n=3$). Letras minúsculas iguais não diferem significativamente ($p>0,05$) no mesmo tempo de armazenamento entre as aw pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p>0,05$) entre os tempos de armazenamento na mesma aw pelo teste de Tukey.

Observa-se uma diminuição significativa ($p<0,05$) na atividade antioxidante do SMACA nos diferentes tempos e nas três condições de aw de armazenamento com relação ao tempo inicial. A redução da atividade antioxidante no período de armazenamento foi observada também em estudos de suco de mirilo atomizado (TURAN et al., 2016), mamão seco (UDOMKUN et al., 2016) e suco de ameixa atomizado (MISHRA; BRAHMA; SETH, 2017).

Assim como foi observado a tendência de diminuição nos teores dos compostos bioativos avaliados, a atividade antioxidante também demonstrou um decréscimo com o aumento do tempo de armazenamento, confirmando a relação existente entre os teores destes compostos e a atividade antioxidante do SMACA.

5.3.3. Isoterma de sorção

Os resultados descritos na Tabela 3 mostram que os modelos matemáticos mais adequados à curva de adsorção do SMACA foram os modelos GAB, BET (linear) e Halsey a 25 °C, apresentaram R-quadrado ajustado (R^2) próximo a 1.

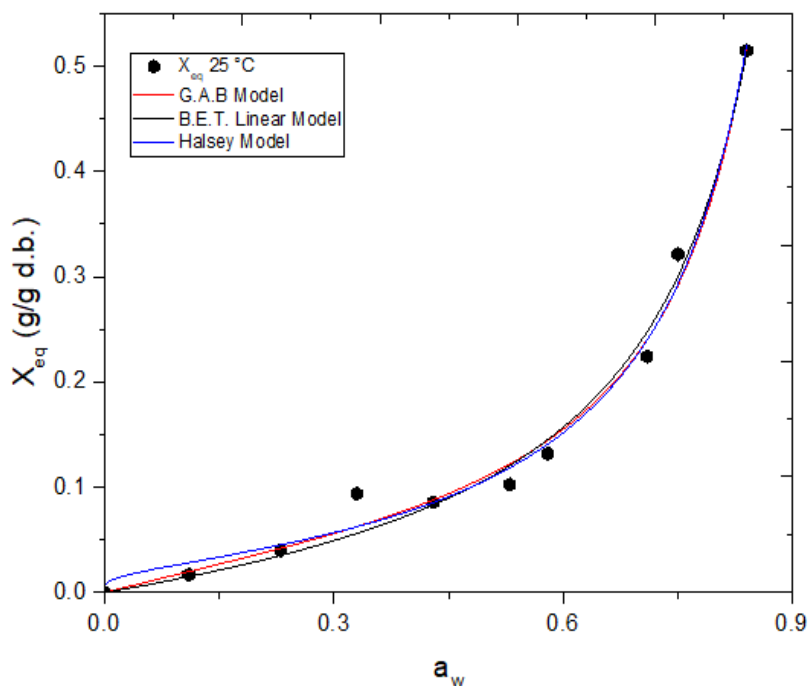
Tabela 3. Parâmetros estimados dos modelos matemáticos (GAB, BET, Halsey) para o suco misto de acerola e ciriguela atomizado a 25 °C.

Modelos	Parâmetros			
	X_m	C	K	R^2
GAB	0.07418	2.45047	1.03047	0.9849
BET (linear)	X_m	C_{BET}		0.98544
	0.09338	1.3706		
Halsey	A	B		0.98755
	0.0985	0.87344		

X_m , umidade da monocamada; C, constante de Guggenheim; K, fator de correlação; C_{BET} , constante do material; A e B, constante do modelo.

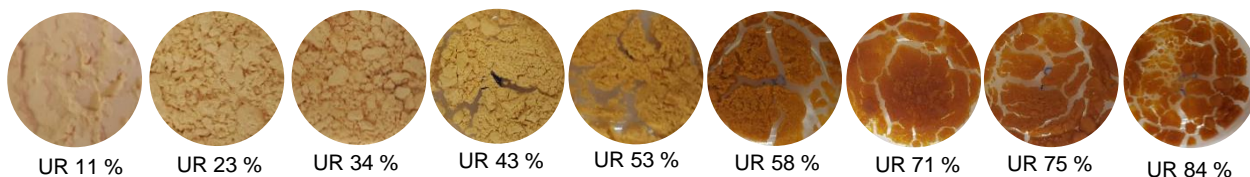
Na Figura 14 encontra-se as curvas isotérmicas de adsorção construídas pelo modelo GAB, BET (linear) e Halsey do SMACA a 25 °C.

Figura 14. Isotermas de adsorção do suco misto de acerola e ciriguela atomizado usando modelagem de GAB, BET (linear) e Halsey a 25 °C.



X_{eq} , umidade de equilíbrio, gramas em base seca

Figura 15. Aparência física do suco misto de acerola e ciriguela atomizado submetido a diferentes umidades relativas a 25 °C



Os resultados revelam que a umidade de equilíbrio aumenta com o aumento da a_w a uma temperatura constante. Característica típica das amostras com quantidades elevadas de compostos hidrofílicos (ISLAM et al., 2017). Em baixas a_w (0 a 0,25), a umidade de equilíbrio aumenta linearmente, enquanto nas altas a_w , observa-se um aumento expressivo na umidade de equilíbrio apresentando maior higroscopicidade, o que facilita as reações de degradação destes compostos.

Comportamento típico de isotermas do tipo III (não sigmoide), de acordo com a classificação de Brunauer (BRUNAUER et al., 1938). Relacionado à natureza hidrofílica dos açúcares presentes no SMACA. Outros estudos reportam um comportamento similar ao encontrado na isoterma de sorção do SMACA como, Islam et al. (2016) em suco de laranja atomizado, Muzaffar e Kumar (2016) em suco de tamarindo atomizado, Carmo et al. (2018) em extrato de beterraba atomizado.

5.4 CONCLUSÃO

Ao final do período de armazenamento, o SMACA apresentou menores alterações em suas características físico-químicas quando armazenado na condição de a_w 0,11 a 25 °C.

Ressaltando a importância do parâmetro de cor, na a_w 0,11 o suco em pó apresentou menor diferença de cor ao longo do armazenamento.

Em relação ao potencial funcional, na a_w 0,11 até os 60 dias de armazenamento houve menor redução de compostos fenólicos e ácido ascórbico e a ação antioxidante (ABTS e DPPH) preservou até os 30 dias de armazenamento do SMACA.

As equações GAB, BET linear e Halsey foram conclusivamente os modelos de melhor ajuste e que foram capazes de representar as curvas de adsorção, demonstrando o relacionamento da natureza hidrofílica dos compostos presentes no SMACA.

Portanto, para uma maior preservação da qualidade físico-química e minimizar as alterações dos compostos bioativos e a ação antioxidante do SMACA, sugere-se armazenar na condição de a_w 0,11 por 30 a 60 dias a 25 °C

O presente estudo fornece informações importantes que podem ser utilizadas no desenvolvimento e seleção de embalagens para manter a estabilidade dos compostos de interesse presentes no suco misto de acerola e ciriguela atomizado.

5.5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY - AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 18th ed. Washington, p.1115, 2006.

ALMEIDA, M. M. B.; SOUSA, P. H. M. D.; ARRIAGA, Â. M. C.; PRADO, G.M.D.; MAGALHÃES, C.E.C.D.; MAIA, G. A.; LEMOS, T.L.G.D. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2155-2159, 2011.

BARBOSA, J.; TEIXEIRA, P. Development of probiotic fruit juice powders by spray drying: a review. **Food Reviews International**, v. 33, n. 4, p. 335-358, 2016.

BORGES, P. R. S. et al. Estudo da estabilidade físico-química de suco de abacaxi 'pérola'. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 4, p. 742-750, 2011.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Decreto nº 1.812 de 08 de fevereiro de 1996. Regulamento técnico de identidade e qualidade de leite em pó. Disponível em: < http://www.agais.com/normas/leite/leite_po.htm>. Acesso em: 08 fev. 2019.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução normativa nº 16, de 24 de maio de 2010. Regulamento técnico para o café torrado em grão e para o café torrado e moído. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=794116535>>. Acesso em: 08 fev. 2019.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução normativa nº 8, de 2 de junho de 2005. Regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=803790937>>. Acesso em: 08 fev. 2019.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v.28, n.1, p.25-31, 1995.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American chemical society**, v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938.

BATISTA, P. F.; LIMA, M.A.C.D.; ALVES, R.E.; FAÇANHA, R. V. Bioactive compounds and antioxidant activity in tropical fruits grown in the lower-middle São Francisco Valley. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 4, p. 616-623, 2018.

CARMO, E. L.; TEODORO, R. A. R.; FÉLIX, P. H. C.; BARROS FERNANDES, R. V.; OLIVEIRA, É. R.; VEIGA, T. R. L. A.; BOTREL, D. A. Stability of spray-dried beetroot extract using oligosaccharides and whey proteins. **Food chemistry**, v. 249, p. 51-59, 2018.

CRAFT, B.D; KERRIHAD, A.L.; AMAROWIEZ, R.; PEGG, R.B.; Phenol-based antioxidants and the in vitro methods used for their assessment. **Food Science**, v. 11, p. 148-173, 2012.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. **Food Chemistry**, v.129, n. 3, p. 1139-1147, 2011.

GÁLVEZ, A.; ARAVENA, E.L.; MONDACA, R.L. Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.). **Food Science and Technology**, v. 26, n. 4, p.821-827, 2006.

GREENSPAN, L. Humidity Fixed Points of Binary Saturated Aqueous Solutions. **Journal of Research of the National Bureau of Standards- A. Physics and Chemistry** , v. 81, n. 1, p.89-96, 1977.

GROSS, J. Carotenoids. In GROSS, J. **Pigments in fruits**. London: Academic Press, p. 87-186, 1987.

GONZÁLEZ, F.; GARCIA-MARTÍNEZ, E.; VIDAL, M. D. M. C.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Stability of the physical properties, bioactive compounds and antioxidant capacity of spray-dried grapefruit powder. **Food Bioscience**, v. 28, p. 74-82, 2019.

ISLAM, M. Z.; KITAMURA, Y.; KOKAWA, M.; MONALISA, K.; TSAI, F. H.; MIYAMURA, S. Effects of micro wet milling and vacuum spray drying on the

physicochemical and antioxidant properties of orange (*Citrus unshiu*) juice with pulp powder. **Food and bioproducts processing**, v. 101, p. 132-144, 2017.

ISLAM, M. Z.; KITAMURA, Y.; YAMANO, Y.; KITAMURA, M. Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 169, p. 131-140, 2016.

JAESCHKE, D.P.; MARCZAK, L.D.F.; MERCALI, G.D. Evaluation of non-thermal effects of electricity on ascorbic acid and carotenoid degradation in acerola pulp during ohmic heating. **Food Chemistry**, v. 199, p. 128-134, 2016.

JAFARI, S. M.; GHALENOEI, M. G.; DEHNAD, D. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. **Powder Technology**, 311, 59-65, 2017.

KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH, P. D.; STATHOPOULOS, C. E. A storage study of encapsulated gac (*Momordica cochinchinensis*) oil powder and its fortification into foods. **Food and Bioproducts Processing**, v. 96, p.113-125, 2015.

LEONG, S. L. L.; PETTERSSON, O. V.; RICE, T., HOCKING, A. D.; SCHNÜRER, J. The extreme xerophilic mould *Xeromyces bisporus*—growth and competition at various water activities. **International journal of food microbiology**, v. 145, n. 1, p. 57-63, 2011.

LINS, A.D.; ROCHA, A.; GOMES, J.P.; FEITOSA, R.M.; ARAUJO, G.T.; SANTOS, D.D.C. Adsorption isotherms of the red mombin powder produced in spouted bed dryer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 8, p. 562-567. 2017.

LIU, F; CAO, X.; WANG, H.; LIAO, X. Changes of tomato powder qualities during storage. **Powder Technology**, v. 204, p.159-166, 2010.

LOUREIRO, M. D. N.; FIGUEIREDO, R. M. F. D.; QUEIROZ, A. J. D. M.; OLIVEIRA, E. N. A. D. Armazenamento de buriti em pó: Efeito da embalagem nas características físicas e químicas. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1092-1100, 2013.

MACHADO DE SOUSA, P. H., MOTA RAMOS, A., ARRAES MAIA, G., SOUSA DE BRITO, E., DOS SANTOS GARRUTI, D., & VASCONCELOS DA FONSECA, A. V. Adição de extratos de Ginkgo biloba e Panax ginseng em néctares mistos de frutas tropicais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 2, 2010.

METER GROUP, Water activity basics for safety and quality in food products. Disponível em: <<http://aqualab.decagon.com.br/educacao/water-activity-basics-for-safety-and-quality-in-food-products/>>. Acesso em 31 de março de 2019.

MISHRA, P.; BRAHMA, A.; SETH, D. Physicochemical, functionality and storage stability of hog plum (*Spondia pinnata*) juice powder produced by spray drying. **Journal of food science and technology**, v. 54, n. 5, p. 1052-1061, 2017.

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 291, p.322-327, 2016.

PAVLOVSKA, G.; TANEVSKA, S. Influence of temperature and humidity on the degradation process of ascorbic acid in vitamin C chewable tablets. **Journal of thermal analysis and calorimetry**, v. 111, n. 3, p. 1971-1977, 2013.

PORTO, M. R. A.; OKINA, V. S.; PIMENTEL, T. C.; PRUDENCIO, S. H. Physicochemical stability, antioxidant activity, and acceptance of beet and orange mixed juice during refrigerated storage. **Beverages**, v. 3, n. 3, 36, 2017.

PRZYBYSZ, M. A., ONACIK-GÜR, S., MAJT CZAK, K., & DŁUŻEWSKA, E. The stability of spray-dried microencapsulated β -carotene in the mixture of gum Arabic, OSA type modified starch and maltodextrin. **Italian Journal of Food Science**, v. 28, n. 4, 716-732, 2016.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICEEVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, 26, p. 1231–1237, 1999.

RIBEIRO, C. M. C. M.; MAGLIANO, L. C. S. A.; COSTA, M. M. A.; BEZERRA, T. K. A.; SILVA, F. L. H.; MACIEL, M. I. S. Optimization of the drying process conditions for acerola and seriguela juice mix. **Food Science and Technology**, 2018.

REIS, D. S.; FIGUEIREDO NETO, A.; FERRAZ, A. D. V.; FREITAS, S. T. D. Production and storage stability of acerola flour dehydrated at different temperatures. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 2017.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. ILSI Press: Washington, p. 64, 2001.

SANCHEZ-MORENO, C.; LARRAURI, J. A.; SAURA-CALIXTO, F., A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 76, p.270–276, 1998.

SILVA, R.V., COSTA, S.C., BRANCO, C.R., BRANCO, A. In vitro photoprotective activity of the *Spondias purpurea* L. peel crude extract and its incorporation in a pharmaceutical formulation. **Industrial Crops and Products**, v. 83, p. 509-514, 2016.

SILVA, R. N. G; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; MELO QUEIROZ, A. J.; OLIVEIRA GALDINO, P. Armazenamento de umbu-cajá em pó. **Ciência Rural**, v. 35, n.5, 2005.

SCOTT, W. J. Water relations of food spoilage microorganisms. In **Advances in food research**. Academic Press, v. 7, p. 83-127, 1957.

TODISCO, K.M.; COSTA, J.M.C.; CLEMENTE, E. Alterations in carotenoids, phenolic compounds, flavonoids and ascorbic acid contents in red mombin (*Spondias purpurea* L.) microencapsulated pulp. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.13, p.24-28, 2015.

TODISCO, M. K.; COSTA, J. M. C.; RODRIGUES, S.; CLEMENTE, E. Microencapsulation of Red Mombin (*Spondias Purpurea* L.) pulp using spray-drying. **International Journal of Sciences**, v. 2, p. 6-11, 2013.

TONTUL, I., TOPUZ, A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: effect of drying conditions on the product yield and physical properties. **Trends in Food Science & Technology**, v. 63, p. 91-102, 2017.

TSALI, A.; GOULA, A. M. Valorization of grape pomace: Encapsulation and storage stability of its phenolic extract. **Powder Technology**, v. 340, p. 194-207, 2018.

TURAN, F. T.; CENGİZ, A.; SANDIKÇI, D.; DERVISOĞLU, M.; KAHYAĞLU, T. Influence of ultrasonic nozzle in spray-drying and storage on the properties of blueberry powder and microcapsule. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, p. 1-15, 2016

UDOMKUN, P.; NAGLE, M.; ARGYROPOULOS, D.; MAHAYOTHEE, B.; LATIF, S.; MÜLLER, J. Compositional and functional dynamics of dried papaya as affected by storage time and packaging material. **Food chemistry**, v. 196, p. 712-719, 2016.

VIEIRA, L. M.; SOUSA, M. S. B.; MANCINI-FILHO, J.; LIMA, A. D. Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de polpas de frutos tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 2011.

ZORIĆ, Z.; PELAIĆ, Z.; PEDISIĆ, S.; GAROFULIĆ, I. E.; KOVAČEVIĆ, D. B.; DRAGOVIĆ-UZELAC, V. Effect of storage conditions on phenolic content and antioxidant capacity of spray dried sour cherry powder. **LWT-Food Science and Technology**, v. 79, p. 251-259, 2017.