UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS

LEILSON DE OLIVEIRA RIBEIRO

DESENVOLVIMENTO DE *SMOOTHIE* DE JUÇARA, BANANA E MORANGO: PROCESSOS DE CONSERVAÇÃO E ESTUDO DA BIOACESSIBILIDADE DOS COMPOSTOS FENÓLICOS

Rio de Janeiro

Março,2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ESCOLA DE QUÍMICA

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS

Leilson de Oliveira Ribeiro

Desenvolvimento de *smoothie* de juçara, banana e morango: processos de conservação e estudo da bioacessibilidade dos compostos fenólicos

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientadoras:

Drª Suely Pereira Freitas

Drª Virgínia Martins da Matta

Rio de Janeiro
Março, 2018

CIP - Catalogação na Publicação

R484d

Ribeiro, Leilson de Oliveira
Desenvolvimento de smoothie de juçara, banana e morango: processos de conservação e estudo da bioacessibilidade dos compostos fenólicos / Leilson de Oliveira Ribeiro. -- Rio de Janeiro, 2018.
181 f.

Orientadora: Suely Pereira Freitas.
Coorientadora: Virgínia Martins da Matta.
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2018.

1. Euterpe edulis Martius. 2. Pasteurização. 3. Sonicação . 4. Digestão gastrointestinal. 5. Estabilidade. I. Freitas, Suely Pereira , orient. II. da Matta, Virgínia Martins , coorient. III. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

LEILSON DE OLIVEIRA RIBEIRO

DESENVOLVIMENTO DE *SMOOTHIE* DE JUÇARA, BANANA E MORANGO: PROCESSOS DE CONSERVAÇÃO E ESTUDO DA BIOACESSIBILIDADE DOS COMPOSTOS FENÓLICOS

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Aprovada em 13 de março de 2018.

Suely Pereira Freitas, D. Sc., EQ/UFRJ (Orientadora e Presidente da banca)

Virgínia Martins da Matta, D. Sc., Embrapa Agroindústria de Alimentos (Orientadora)

Ana Lúcia do Amaral Vendramini, D. Sc., EQ/UFRJ

Julio Beltrame Daleprane, D. Sc., PPG-ANS/UERJ

Mônica Marques Pagani, D. Sc., DTA/UFRRJ

Mariana Simões Larraz Ferreira, D. Sc., PPGAN/UNIRIO

À minha família, em especial, à minha querida mãe,
exemplo de garra e determinação,
por todo o apoio.
Dedico

AGRADECIMENTOS

Durante esta caminhada muitos foram os que me ajudaram e contribuíram para o meu crescimento profissional e pessoal. Estou certo que Deus me agraciou com a oportunidade de dividir momentos, deste longo percurso, com cada um de vocês, o que foi essencial para eu pudesse passar pelos dias difíceis e transpor os obstáculos inerentes ao dia a dia de qualquer ser humano, principalmente daqueles que se dedicam à pesquisa científica, que, sem dúvidas, é uma caixinha de surpresas. Então, aproveito este espaço para agradecer a todos vocês por fazerem parte deste trabalho, seja de forma direta ou indireta.

Em primeiro lugar, os meus agradecimentos vão para as minhas orientadoras, duas "baianas porretas", Doutoras Suely Pereira Freitas e Virgínia Martins da Matta, pela confiança, apoio, disponibilidade e amizade. Não se encontra com facilidade orientadores com tanta humanidade como a que vocês demonstraram ao longo deste percurso. Foram seis anos de muito aprendizado, construído com base no respeito, sempre!

À Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, o meu reconhecimento pela excelência na missão de formar profissionais diferenciados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos no Brasil e no exterior, modalidade Sanduíche, suporte financeiro que me permitiu chegar até aqui.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos por disponibilizar toda a estrutura usada no desenvolvimento deste trabalho em especial aos pesquisadores, analistas e técnicos das Plantas Piloto I, II, III e IV e aos Laboratórios de Análise Sensorial, Cromatografia Líquida, Microbiologia, Bioprocessos e Físico-química. Particularmente, aos colegas Ana Iraidy, Daniela, José Carlos, Filé, David, Luiz Fernando, Ronoel, Renata Borguini, Manuela, Sidney, Luzimar, Janine e Simone.

Às Doutoras Lourdes Cabral e Renata Tonon por me presentearem com a oportunidade de viver novas experiências profissionais e pessoais em terras portuguesas.

Aos Professores José António Couto Teixeira e António Vicente por me receberem no Departamento de Engenharia Biológica da Universidade do Minho e disponibilizarem todos os recursos necessários para o desenvolvimento de parte deste projeto, assim como pelas contribuições científicas.

Aos Doutores Ricardo Correia e Ana Cristina Pinheiro, pelo suporte técnico-científico nas atividades desenvolvidas no Laboratório de Indústria e Processos (LIP) da Universidade do Minho.

Aos amigos, em especial à Kiki e Maciel, e demais colegas do LIP, o meu muito obrigado pela paciência quando "o Zuca" não percebia "os Tugas" e por me proporcionarem um excelente ambiente de trabalho. Tina, muito obrigado pelo apoio nas análises no HPLC!

Aos Professores que participaram do exame de qualificação e da defesa desta tese, Ana Lúcia Vendramini, Mariana Larraz, Julio Beltrame Daleprane e Mônica Pagani. Seus comentários enriqueceram ainda mais este trabalho.

À Doutora Renata Torrezan pelo carinho e atenção, um ser humano de muita luz, seu sorriso e carinho me colocaram pra cima muitas vezes.

À Juçaí, por gentilmente ceder as polpas de juçara utilizadas no desenvolvimento do *smoothie*.

Aos amigos que ganhei em Portugal e que me proporcionaram momentos incríveis, não esquecendo também daqueles não tão bons assim, não é George Kluck? Muito obrigado Priscilla, Laylla, Daisy, Paulo, Lívia, Vanessa, Esperanza, Daria, Geo e Adri! Foi muito bom estar com vocês!

Aos amigos do "Café na Copa", Érika, Filipe, Carol, Gabi, Ana Paula e Maraísa. Não tenho dúvidas de que um intervalo para o café foi e sempre será a melhor forma de se conduzir uma pós-graduação. Nossos cafés foram sempre regados de sorrisos, boa discussão e apoio. Tem um pedacinho de vocês aqui também.

Aos outros amigos que a Embrapa me deu durante este período. Nátali, Geânderson, Aline, André, Jéssica, Cássia, Fernando, Carol, Rose, Natália, vocês tornaram a caminhada mais leve.

À Isadora, pela oportunidade de transmitir e receber conhecimento. O Capítulo 7 eu dedico a você!

Aos amigos Rozana e Diego, que me apoiam desde o mestrado, quando o Rio de Janeiro ainda era um mundo a ser desbravado e que me causava certo medo. Muito obrigado por me acolherem e me darem a oportunidade de ser "dindo".

Aos moradores do APTO 101, foram anos enfrentando com garra todos os desafios de *Big Field*….rs.

Aos amigos piraienses Patrícia, Ricardo, Lolo, Milane, Gracielie e Marquinho pela paciência quando não estava disponível e apoio nesta longa caminhada iniciada lá

atrás, quando nem eu mesmo imaginava que poderia ir tão longe.

Ao Fernando, por me incentivar a ingressar no mestrado e me apoiar até aqui. Lembra das nossas caminhadas à noite de meias e chinelos no inverno de Vassouras? Muitos objetivos idealizados naquelas noites frias foram conquistados graças ao nosso esforço e companheirismo. Muito obrigado meu amigo!

Finalmente, à minha querida família que mesmo não entendendo muito sobre a pesquisa em ciência e tecnologia de alimentos, me apoiou em cada passo. Não posso deixar de agradecer os meus panelistas preferidos: Tania, a matriarca, Mônica, Monique e Paulo Henrique, os maninhos e os sobrinhos mais travessos que um doutorando pode ter: João, Cadu, Ronaldo e Letícia. Pai, muito obrigado por cuidar deles enquanto estive fora. Amo vocês!

A todos, muito obrigado!

RESUMO

RIBEIRO, Leilson de Oliveira. Desenvolvimento de *smoothie* de juçara, banana e morango: processos de conservação e estudo da bioacessibilidade dos compostos fenólicos. Rio de Janeiro, 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

A mistura de frutas e/ou frutas e hortaliças na forma de sucos mistos integrais e potencialmente funcionais, é conhecida como *smoothie*. O desenvolvimento deste tipo de produto apresenta como principal vantagem a correção da alta acidez e baixo teor de sólidos solúveis que algumas frutas apresentam, permitindo a elaboração de produtos com maior equilíbrio doce/ácido e maior aceitação sensorial. A juçara, fruta nativa da Mata Atlântica, se destaca pelo seu elevado teor de flavonoides e ácidos fenólicos. A presença de pigmentos e compostos bioativos na polpa de juçara favorece o uso deste fruta na formulação de *smoothies*, atuando simultaneamente como corante e antioxidante natural. O presente trabalho teve por objetivo desenvolver uma bebida tipo *smoothie* à base de juçara, banana e morango com aceitação sensorial e potencial antioxidante, sendo avaliados os efeitos da pasteurização e da sonicação na estabilização do produto, bem como na bioacessibilidade dos seus compostos fenólicos. Por meio de um planejamento de mistura foram obtidas cinco formulações, nas quais se variou o percentual das polpas de banana e de morango, mantendo-se o percentual de polpa de juçara em 20%. Embora as formulações com maior percentual de polpa de banana tenham apresentado maior aceitação sensorial, a função desejabilidade, por meio da otimização das respostas de aceitação global, consistência e capacidade antioxidante, indicou a formulação contendo iguais percentuais de polpa de banana (40%) e de morango (40%) como a mais promissora. Após a etapa de homogeneização, o *smoothie* foi submetido aos processos de pasteurização e sonicação. A maior diferença entre o *smoothie* pasteurizado e sonicado foi observada nos seus parâmetros físicos. Embora os dois produtos tenham apresentado comportamento de um fluido pseudoplástico, a viscosidade aparente e o índice de consistência foram maiores no produto tratado termicamente ($p<0,05$). Tal comportamento se deve ao menor tamanho de partícula do produto pasteurizado, o que lhe conferiu maior estabilidade física. Com relação à bioacessibilidade dos compostos fenólicos totais, esta foi maior no *smoothie* pasteurizado (47%), se comparado ao sonicado (41%) e ao homogeneizado (41%), que foi a amostra controle, sendo também observado um efeito positivo do tratamento térmico sobre a bioacessibilidade dos ácidos ferúlico (16,4%) e elágico (80%). O

armazenamento do *smoothie* pasteurizado por 90 dias a 7 ºC se mostrou mais adequado se comparado ao armazenamento conduzido a 25 ºC ($p<0,05$). A 7 ºC, foi observada uma maior preservação dos compostos bioativos e da cor do produto, em especial do ângulo Hº. Após os três meses do armazenamento, o *smoothie* ainda apresentava teores relevantes de antocianinas (11,6 mg de cianidina-3-glicosídeo.100 g^{-1}), compostos fenólicos totais (166,2 mg de ácido gálico.100 g^{-1}) e capacidade antioxidante (9,1 µmol de Trolox.g^{-1}), além de manter a sua boa aceitação sensorial. Os resultados obtidos indicaram que o *smoothie* de juçara, banana e morango pasteurizado pode ser uma alternativa para agregação de valor à cadeia agroindustrial da juçara, contribuindo para a preservação da Mata Atlântica, com um produto pronto para o consumo, seguro, saudável e com um possível potencial funcional.

Palavras-chaves: *Euterpe Edulis* Martius, pasteurização, sonicação, digestão gastrointestinal, estabilidade.

ABSTRACT

RIBEIRO, Leilson de Oliveira. Desenvolvimento de *smoothie* de juçara, banana e morango: processos de conservação e estudo da bioacessibilidade dos compostos fenólicos. Rio de Janeiro, 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

The mixture of fruits or fruit and vegetables in the form of whole mixed juices potentially functional, is known as smoothie. The development of this type of product has as main advantage the correction of the high acidity and low soluble solids content that some fruits present, allowing the elaboration of products with a higher sweet/acid balance and greater sensorial acceptance. The juçara, native fruit of the Atlantic Forest, stands out for its high content of flavonoids and phenolic acids. The pigments and bioactive compounds of juçara pulp support the use of this fruit in the formulation of smoothies, simultaneously acting as a natural antioxidant and colorant. Thus, the objective of this work was to develop a juçara, banana and strawberry smoothie with sensorial acceptance and antioxidant potential, being evaluated the effects of pasteurization and sonication on stabilization of product, as well as on bioaccessibility of its phenolic compounds. Five formulations were obtained by mixture experimental design, in which the percentage of banana and strawberry pulp was varied, being fixed the percentage of juçara pulp in 20%. Although formulations with higher percentages of banana pulp showed greater sensory acceptance, the desirability function, through the optimization of the global acceptability, consistency and antioxidant capacity, indicated the formulation containing equal percentages of banana pulp (40%) and of strawberry pulp (40%) as the most promising. After homogenization step, the smoothie was subjected to pasteurization and sonication processes. The major difference between pasteurized and sonicated smoothies was observed in their physical parameters. The two products presented pseudoplastic fluid behavior, but the apparent viscosity and the consistency index were higher in the thermally processed product ($p<0.05$). This behavior is due to the smaller particle size of the pasteurized product, which conferred it higher physical stability. Regarding the bioaccessibility of the total phenolic compounds, it was higher in the pasteurized smoothie (47%) as compared to the sonicated (41%) and the homogenized (41%) smoothies. A positive effect of the heat treatment on the bioaccessibility of ferulic (16%) and ellagic (80%) acids was also observed. Storage of the pasteurized smoothie for 90 days at 7 °C was more suitable as compared to storage at 25 °C ($p <0.05$). At 7 ^{o}C, it was observed a higher preservation

of the bioactive compounds and color of the product, in particular of the angle Hº. After the three months storage, the smoothie still presented relevant contents of anthocyanins (11.6 mg cyanidin-3-glycoside.100 g^{-1}), total phenolic compounds (166.2 mg gallic acid.100 g^{-1}) and antioxidant capacity (9,1 µmol Trolox.g^{-1}), besides of preserving its good sensorial acceptance. Results obtained showed that juçara, banana and strawberry pasteurized smoothie can be an alternative for adding value to the juçara agroindustrial chain, contributing to the preservation of the Atlantic Forest, with a product ready-to-eat, safe, healthy and with possible functional properties.

Key-words: *Euterpe Edulis* Martius, pasteurization, sonication, gastrointestinal digestion, stability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Palmeira *Euterpe edulis* e seus frutos. 28
Figura 2.2 - Escala de maturação de Von Loesecke (CEAGESP, 2006). 30
Figura 2.3 - Estrutura básica dos flavonoides. Bravo (1998). 33
Figura 2.4 - Principais antocianinas encontradas nos alimentos. Adaptada de Liobikas et al. (2016).....34
Figura 2.5 - Principais ácidos fenólicos encontrados nos alimentos. Adaptado de Heleno et al. (2015). 36
Figura 2.6 - Principais etapas da digestão humana: função e condições. Adaptado de Guerra et al. (2012).....38
Figura 3.1- Influencia do percentual de polpa de banana e de morango na aceitação global e consistência do *smoothie*. 66
Figura 3.2 - Influencia do percentual de polpa de banana e morango nos compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante dos *smoothies* formulados.....67
Figura 3.3 - Perfis dos valores estimados e desejabilidade para as respostas aceitação sensorial, consistência e capacidade antioxidante das formulações do *smoothie* de juçara, banana e morango. 71
Figura 4.1 - Etapas do processamento para obtenção de um *smoothie* de juçara, banana e morango. (a) uniformização, (b) homogeneização e (c) pasteurização. 79
Figura 4.2 - Rampas de cisalhamento com as curvas de fluxo ajustadas pelo modelo de Lei de Potência referentes ao smoothie uniformizado (SMU), homogeneizado (SMH) e pasteurizado (SMP). τ – tensão de cisalhamento e γ – taxa de deformação. Ensaios realizados a 25 ºC. 89
Figura 4.3 - Redução da viscosidade aparente em função da taxa de deformação (γ) do *smoothie* de juçara, banana e morango em diferentes etapas do processamento. 90
Figura 4.4 - Varredura de amplitude a 25 °C com as curvas dos espectros mecânicos (G' – módulo de armazenameno e G" – módulo de perda) e ângulo de fase (Tan δ) para o smoothie uniformizado (SMU), homogeneizado (SMH) e pasteurizado (SMP). Símbolos cheios (G') e símbolos abertos (G''). τ – tensão de cisalhamento. 94
Figura 4.5 - Efeito da temperatura sobre os espectros mecânicos (G' – módulo de armazenameno e G" – módulo de perda) das amostras de smoothie uniformizado (SMU), homogeneizado (SMH) e pasteurizado (SMP). Símbolos cheios (G') e Símbolos vazios (G'').....95

Figura 4.6 - Efeito da frequência sobre os espectros mecânicos (G' – módulo de armazenameno e G" – módulo de perda) das amostras de smoothie (SMU), homogeneizado (SMH) e pasteurizado (SMP). Símbolos cheios (G') e Símbolos vazios (G''). □ - Frequência. 96
Figura 5.1 - Equipamento de ultrassom em batelada....107
Figura 5.2 Gráfico de Pareto (a) e superfície de resposta (b) dos efeitos das variáveis independentes sobre o teor de antocianinas monoméricas totais (AMT) do smoothie de juçara, banana e morango sonicado. 112
Figura 5.3 - Gráfico de Pareto (a) e superfície de resposta (b) dos efeitos das variáveis independentes sobre a luminosidade (L*) do *smoothie* de juçara, banana e morango sonicado. 114
Figura 5.4 - Gráfico de Pareto mostrando o efeito da potência e do tempo de processo sobre o teor de sólidos solúveis do *smoothie* de juçara, banana e morango sonicado. .115
Figura 5.5 - Gráficos de Pareto mostrando o efeito da potência e do tempo de processo sobre a viscosidade aparente (a) e índice de consistência (b) do *smoothie* sonicado. ...117
Figura 5.6 - Pareto (a) e superfície de resposta (b) dos efeitos das variáveis independentes sobre o aumento da temperatura do *smoothie* de juçara, banana e morango sonicado. 120
Figura 6.1 - Micrografias do *smoothie* de jucara, banana e morango controle (a), pasteurizado (b) e sonicado (c). Barra de escala (100 µm). 138
Figura 6.2 - Bioacessibilidade das antocianinas totais (AT) do *smoothie* de juçara, banana, morango controle (SMC), pasteurizado (SMP) e sonicado (SMS). DG – Digesta gástrica. DI – Digesta intestinal. 140
Figura 6.3 - Bioacessibilidade dos compostos fenólicos totais (CFT) do *smoothie* de juçara, banana e morango controle (SMC), pasteurizado (SMP) e sonicado (SMS). DG – Digesta gástrica. DI – Digesta intestinal. 141
Figura 7.1 - Envase do *smoothie* de juçara, banana e morango em câmara ultra limpa. 157

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Delineamento experimental para a formulação do *smoothie* de juçara, banana e morango. 60
Tabela 3.2 - Características físico-químicas, compostos bioativos, capacidade antioxidante e cor instrumental das polpas de banana, morango e juçara. 64
Tabela 3.3 Aceitação sensorial das diferentes formulações do *smoothie* de juçara, banana e morango. 65
Tabela 3.4 - Compostos bioativos e capacidade antioxidante das formulações do *smoothie* de juçara, banana e morango. 67
Tabela 3.5 – Parâmetros de cor das formulações do *smoothie* de juçara, banana e morango. 68
Tabela 3.6 - Características físico-químicas das formulações do *smoothie* de juçara, banana e morango. 69
Tabela 3.7 – Parâmetros utilizados para obtenção de um *smoothie* de juçara, banana e morango pela função desejabilidade. 70
Tabela 4.1 - Compostos bioativos e capacidade antioxidante do *smoothie* de juçara, banana e morango. 86
Tabela 4.2 - Características físico-químicas e microbiológicas e cor instrumental do *smoothie* em diferentes etapas do processamento. 88
Tabela 4.3 - Viscosidade aparente do *smoothie* de juçara, banana e morango em diferentes etapas do processamento a uma taxa de deformação de 100 s^{-1}. 91
Tabela 4.4 -- Parâmetros do ajuste do modelo da Lei de Potência para o *smoothie* de juçara, banana e morango. 92
Tabela 4.5 - Dados do *smoothie* de juçara, banana e morango em diferentes etapas do processamento ajustados a Lei de Arrhenius. 93
Tabela 5.1 - Planejamento experimental do tipo composto central rotacional para a sonicação do *smoothie* de juçara, banana e morango. 108
Tabela 5.2 - Antocianinas, cor instrumental, características físico-químicas e reológicas do *smoothie* de juçara, banana e morango sonicado e do *smoothie* controle. 111
Tabela 5.3 - Qualidade microbiológica do *smoothie* de juçara, banana e morango sonicado e do controle. 118
Tabela 6.1 Soluções usadas para a simulação da digestão gastrointestinal dos *smoothies*. 131

Tabela 6.2 - Compostos bioativos e capacidade antioxidante do *smoothie* de juçara, banana e morango controle, pasteurizado e sonicado.....136
Tabela 6.3 – Características reológicas do *smoothie* de juçara, banana e morango controle, pasteurizado e sonicado.....137
Tabela 6.4 - Tamanho médio de partículas do smoothie de juçara, banana e morango controle, pasteurizado e sonicado.....139
Tabela 6.5 - Capacidade antioxidante do *smoothie* de juçara, banana e morango controle, pasteurizado e sonicado, submetido à digestão gastrointestinal.....143
Tabela 6.6 - Bioacessibilidade dos compostos fenólicos do *smoothie* pasteurizado e sonicado.....146
Tabela 7.1 - Compostos bioativos e características físico-químicas de *smoothie* de juçara, banana e morango ao longo do armazenamento a 7 ºC. 162
Tabela 7.2 - Compostos bioativos e características físico-químicas de *smoothie* de juçara, banana e morango ao longo do armazenamento a 25 ºC. 163
Tabela 7.3 – Parâmetros de cor instrumental do *smoothie* de juçara, banana e morango ao longo do armazenamento a 7 ºC. 165
Tabela 7.4 – Parâmetros de cor instrumental do *smoothie* de juçara, banana e morango ao longo do armazenamento a 25 ºC. 166
Tabela 7.5 - Qualidade microbiológica de *smoothie* de juçara, banana e morango ao longo do armazenamento a 7 ºC.....168
Tabela 7.6 - Qualidade microbiológica de *smoothie* de juçara, banana e morango ao longo do armazenamento a 25 ºC.....169
Tabela 7.7 - Notas da avaliação sensorial do smoothie de juçara, banana e morango armazenado por 90 dias a 7 ºC. 170
Tabela 9.1 - Composição centesimal do *smoothie* de juçara, banana e morango pasteurizado.....179
Tabela 9.2 - Composição em minerais do *smoothie* de juçara, banana e morango pasteurizado.....180

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL 21
1.1. INTRODUÇÃO 21
1.2. OBJETIVOS 23
1.2.1. Objetivo geral 23
1.2.2. Objetivos específicos 23
2. REVISÃO DE LITERATURA 24
2.1. FRUTAS E SUCOS 24
2.1.1. Juçara 27
2.1.2. Banana 29
2.1.3. Morango 31
2.2. COMPOSTOS FENÓLICOS 32
2.2.1. Flavonoides 32
2.2.2. Ácidos fenólicos 35
2.3. BIOACESSIBILIDADE 37
2.3.1. Processo digestório 37
2.3.2. Bioacessibilidade *in vitro* de compostos fenólicos 38
2.4. PROCESSOS DE CONSERVAÇÃO 41
2.4.1. Pasteurização 41
2.4.2. Ultrassom 43
REFERÊNCIAS 45
3. AVALIAÇÃO SENSORIAL E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE COMO PARÂMETROS DE QUALIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE UM *SMOOTHIE* DE JUÇARA, BANANA E MORANGO 56
RESUMO 56
3.1. INTRODUÇÃO 57
3.2. MATERIAL E MÉTODOS 59
3.2.1. Matérias-primas 59
3.2.2. Caracterização das polpas 60
3.2.3. Formulação dos *smoothies* 60
3.2.4. Métodos analíticos 61
3.2.4.1. Análise sensorial 61
3.2.4.2. Compostos fenólicos totais 61
3.2.4.3. Antocianinas monoméricas totais 61
3.2.4.4. Capacidade antioxidante 62
3.2.4.5. Cor instrumental 62
3.2.4.6. pH, acidez titulável, sólidos totais e sólidos solúveis 62
3.2.5. Análise dos dados 62
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 63

3.3.1. Caracterização das polpas 63
3.3.2. Avaliação sensorial 65
3.3.3. Compostos bioativos e capacidade antioxidante 66
3.3.4. Cor instrumental 68
3.3.5. Características físico-químicas 69
3.3.6. Desejabilidade 69
3.4. CONCLUSÕES 71
REFERÊNCIAS 71
4. EFEITO DO PROCESSAMENTO SOBRE OS COMPOSTOS BIOATIVOS E PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E REOLÓGICAS DO SMOOTHIE DE JUÇARA, BANANA E MORANGO 76
RESUMO 76
4.1. INTRODUÇÃO 77
4.2. MATERIAL E MÉTODOS 78
4.2.1. Material 78
4.2.2. Desenvolvimento do *smoothie* 79
4.2.3. Métodos Analíticos 80
4.2.3.1. Compostos fenólicos totais 80
4.2.3.2. Antocianinas monoméricas totais 80
4.2.3.3. Quantificação de antocianinas 80
4.2.3.4. Quantificação de fenólicos 81
4.2.3.5. Capacidade antioxidante 82
4.2.3.6. pH, acidez titulável, sólidos solúveis e sólidos totais 82
4.2.3.7. Parâmetros microbiológicos 82
4.2.3.8. Cor instrumental 82
4.2.3.9. Características reológicas 82
4.2.4. Análise dos dados 83
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 84
4.3.1. Compostos bioativos 84
4.3.2. Propriedades físico-químicas e microbiológicas e cor instrumental 87
4.3.3. Comportamento reológico em estado estacionário 88
4.3.4. Comportamento reológico em estado oscilatório 93
4.4. CONCLUSÕES 97
REFERÊNCIAS 97
5. EFEITO DA SONICAÇÃO SOBRE OS ATRIBUTOS DE QUALIDADE DE UM *SMOOTHIE* DE JUÇARA, BANANA E MORANGO 103
RESUMO 103
5.1. INTRODUÇÃO 104
5.2. MATERIAL E MÉTODOS 105
5.2.1. Material e desenvolvimento do *smoothie* 105
5.2.2. Processamento do *smoothie* 106

5.2.3. Métodos analíticos 108
5.2.3.1. Antocianinas monoméricas totais 108
5.2.3.2. Cor instrumental 108
5.2.3.3. Características físico-químicas 109
5.2.3.4. Características microbiológicas 109
5.2.3.5. Características reológicas 109
5.2.4. Análise dos dados 109
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 110
5.3.1. Antocianinas 110
5.3.2. Cor instrumental 113
5.3.3. Características físico-químicas 115
5.3.4. Características reológicas 115
5.3.5. Qualidade microbiológica 118
5.3.6. Variação da temperatura 119
5.4. CONCLUSÕES 121
REFERÊNCIAS 121
6. AVALIAÇÃO GASTROINTESTINAL *IN VITRO* DE *SMOOTHIE* DE JUÇARA, BANANA E MORANGO: EFEITO DO PROCESSAMENTO NA BIOACESSIBILIDADE DOS SEUS COMPOSTOS FENÓLICOS E POTENCIAL ANTIOXIDANTE 127
RESUMO 127
6.1. INTRODUÇÃO 128
6.2. MATERIAL E MÉTODOS 129
6.2.1. Material 129
6.2.2. Processamento 130
6.2.3. Avaliação gastrointestinal *in vitro* 130
6.2.4. Métodos analíticos 132
6.2.4.1. Compostos fenólicos totais 132
6.2.4.2. Antocianinas totais 133
6.2.4.3. Capacidade antioxidante (ABTS) 133
6.2.4.4. Capacidade antioxidante (DPPH) 133
6.2.4.5. Quantificação de fenólicos 134
6.2.4.6. Comportamento reológico 134
6.2.4.7. Tamanho de partícula 135
6.2.4.8. Microscopia óptica 135
6.2.5. Análise dos dados 135
6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 135
6.3.1. Características químicas e físicas 135
6.3.2. Digestão gastrointestinal *in vitro* 139
6.4. CONCLUSÕES 147

REFERÊNCIAS.....147
7. AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE QUÍMICA, FÍSICA E MICROBIOLÓGIA DE UM *SMOOTHIE* PASTEURIZADO DE JUÇARA, BANANA E MORANGO DURANTE O ARMAZENAMENTO 153
***RESUMO*.....153**
***7.1. INTRODUÇÃO*.....154**
***7.2. MATERIAL E MÉTODOS*.....155**
7.2.1. Material 155
7.2.2. Metodologia experimental.....156
7.2.2.1. Processamento do smoothie 156
7.2.3. Métodos Analíticos 157
7.2.3.1. Compostos fenólicos totais.....157
7.2.3.2. Antocianinas monoméricas totais.....157
7.2.3.3. Capacidade antioxidante 158
7.2.3.4. pH, acidez titulável, sólidos solúveis e sólidos totais.....158
7.2.3.5. Cor instrumental 158
7.2.3.6. Avaliação microbiológica 158
7.2.3.7. Análise sensorial 158
7.2.4. Análise dos dados.....159
***7.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO*.....159**
7.3.1. Compostos bioativos e características físico-químicas 159
7.3.2. Cor instrumental 164
7.3.3. Qualidade microbiológica 167
7.3.4. Avaliação sensorial.....170
***7.4. CONCLUSÕES*.....170**
***REFERÊNCIAS*.....170**
8. CONCLUSÕES GERAIS 175
***8.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS*.....177**
9. APÊNDICE 178
***9.1. APÊNDICE A*.....178**
10. ANEXOS.....182
***10.1. TRABALHOS COMPLETOS EM ANAIS*.....182**
***10.2. RESUMOS EM ANAIS*.....182**
***10.3. ARTIGOS EM PERIÓDICOS*.....182**

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. INTRODUÇÃO

O consumo de produtos derivados de frutas, em especial aqueles sem o açúcar de adição, tem sido recomendado como uma alternativa para reduzir o aumento de doenças crônicas relacionadas a hábitos alimentares inadequados e a um estilo de vida sedentário. As frutas desidratadas, sucos integrais e os sucos mistos (*smoothies)* são exemplos de produtos à base de frutas que podem colaborar para uma dieta mais saudável.

Os *smoothies* são obtidos pela mistura de diferentes frutas ou pela combinação de frutas e hortaliças. O desenvolvimento deste tipo de produto apresenta como vantagens a disponibilidade de derivados de frutas fora do seu período de safra e a correção da alta acidez e baixo teor de sólidos solúveis que alguns frutos apresentam, permitindo a elaboração de produtos com maior equilíbrio doce/ácido e maior aceitação sensorial, além de ampliação da gama de compostos bioativos do produto final. Tais características vão ao encontro de demandas importantes para o consumidor como saudabilidade e praticidade, já que são produtos ricos em nutrientes e substâncias bioativas, e disponibilizados prontos para o consumo.

Nesse contexto, muitas frutas nativas podem ser incorporadas como ingrediente funcional na formulação de *smoothies*, a despeito da pouca aceitação sensorial quando oferecidas *in natura* ou puras, por apresentarem uma composição rica do ponto de vista nutricional e em compostos bioativos. A juçara, fruta nativa da Mata Atlântica, se destaca por sua alta concentração em biocompostos, principalmente em flavonoides. Assim, por ser rica em compostos antioxidantes, os quais também lhe conferem coloração roxa característica, a polpa de juçara pode ser usada na formulação de *smoothies*, atuando simultaneamente como corante e antioxidante naturais. Entretanto, em função do seu baixo teor de sólidos solúveis, seu consumo tem se dado, essencialmente, em produtos com açúcar adicionado.

Sucos de frutas são produtos ricos em nutrientes, os quais favorecem o crescimento microbiano. Assim, estes produtos necessitam de processos para sua estabilização durante o armazenamento.

O tratamento térmico tem sido tradicionalmente aplicado no processamento

industrial de frutas, uma vez que reduz a carga microbiana inicial favorecendo a estabilização do produto durante o armazenamento e distribuição. Entretanto, sabe-se que a temperatura pode provocar efeitos sensoriais negativos no produto, tais como o sabor residual de cozido, além da diminuição do teor de compostos potencialmente benéficos à saúde como as vitaminas A e C e os compostos fenólicos. Portanto, a utilização de processos de conservação não-convencionais vem ganhando espaço no cenário industrial, sendo amplamente estudados pela comunidade científica, a fim de garantir ao consumidor um produto seguro e de alta qualidade.

O uso da sonicação no processamento de bebidas tem se difundido como uma alternativa não térmica de conservação. O ultrassom, pelo fenômeno da cavitação, possibilita a destruição de microrganismos e a inativação enzimática, porém sua eficiência depende de fatores intrínsecos ao alimento. Por esta razão, estudos adicionais são necessários para um melhor conhecimento dos efeitos da sonicação sobre os parâmetros de qualidade de um determinado alimento.

Atualmente, busca-se também uma maior compreensão a respeito da ação da digestão sobre os compostos bioativos presentes nos alimentos, tanto *in natura* quanto processados, o que contribuirá para conhecer a potencialidade destes compostos no organismo humano. Embora os estudos de digestão *in vivo* geralmente forneçam resultados mais precisos do que os sistemas *in vitro*, aqueles são geralmente caros, demorados, suscetíveis a variações individuais não quantificáveis e, muitas vezes, limitados por restrições éticas. Assim, modelos *in vitro* que simulam os principais processos fisiológicos que ocorrem durante a digestão humana podem ser uma alternativa, pois fornecem bons resultados em um período de tempo curto.

A bioacessibilidade compreende o percentual do nutriente presente no alimento que não foi afetado pelo processo digestório e pode ser adequadamente observada em sistemas de digestão *in vitro*. Esta é uma determinação importante, pois auxilia na interpretação dos resultados associados ao potencial bioativo de compostos já bem reportados na literatura como os compostos fenólicos, diminuindo as lacunas referentes aos efeitos benéficos destes compostos em nosso organismo.

Desta forma, o desenvolvimento de um *smoothie* de juçara, banana e morango, com boa aceitação sensorial e teores relevantes de compostos bioativos, bem como a definição das melhores rotas tecnológicas para a sua conservação durante o

armazenamento e, também, a avaliação da bioacessibilidade gastrointestinal *in vitro* dos seus principais compostos fenólicos, torna-se importante, uma vez que contribui para o fortalecimento da cadeia agroindustrial da juçara no país, com a oferta de um produto seguro, saudável e prático ao consumidor.

Além disso, é importante destacar que o desenvolvimento de produtos à base de frutas, de uma forma geral, contribui para a diminuição de perdas na cadeia agroindustrial decorrente da alta perecibilidade e sazonalidade das mesmas, além de ser uma das formas mais eficazes de agregação de valor. Em particular, o uso dos frutos da juçara contribui, também, para a preservação da palmeira e da biodiversidade da Mata Atlântica.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo foi desenvolver um *smoothie* à base de juçara, banana e morango, com boa aceitação sensorial, e estabelecer as condições do processo tecnológico para a sua conservação e preservação dos principais compostos fenólicos.

1.2.2. Objetivos específicos

- Desenvolver um *smoothie* de juçara, banana e morango, sem adição de açúcar, com capacidade antioxidante e aceitação sensorial satisfatórias;
- Avaliar o efeito da pasteurização sobre as principais características químicas, físicas e microbiológicas do produto;
- Estabelecer as condições operacionais do processamento por sonicação para a conservação do *smoothie*;
- Avaliar a bioacessibilidade *in vitro* dos compostos fenólicos do *smoothie* de juçara, banana e morango pasteurizado e sonicado;
- Avaliar a estabilidade do produto pasteurizado durante o armazenamento sob refrigeração e à temperatura ambiente.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. FRUTAS E SUCOS

O Brasil dispõe de uma grande variedade de frutas, ocupando o terceiro lugar entre os maiores produtores mundiais, superado apenas pela China e Índia. Em 2016 foram produzidas mais de 40 milhões de toneladas de frutas no país, destacando-se, em volume produzido, a laranja e a banana. Além das suas principais *comodities*, o Brasil se destaca também por suas frutas nativas (CNA, 2017; ANUÁRIO, 2017; RUFINO et al., 2010).

Apesar de a produção ser, em quase sua totalidade, destinada ao mercado interno, o consumo de frutas frescas ainda é muito aquém do recomendado pela Organização Mundial de Saúde, a qual preconiza um consumo de frutas superior a 100 quilos *per capita* por ano, embora tenha sido obervado um aumento no consumo *per capita* (57 kg) por ano de frutas no país (ANUÁRIO, 2017) em comparação com a última Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) (IBGE, 2011), que mostrou um consumo per capita de frutas de 40 kg. Este baixo consumo se deve a diferentes fatores, entre eles ao fato do consumidor não considerar a fruta como alimento e sim como sobremesa, porém, muito também pelo poder aquisitivo que inibe parte da população a consumir frutas regularmente (ANUÁRIO, 2015).

Como se trata de um produto com elevada perecibilidade, observa-se, ainda, nas principais frutas produzidas no país, níveis elevados de perda, chegando a 23% para a laranja e 42% para a banana (ANUÁRIO, 2015). Assim, como uma das formas de reduzir as perdas e aumentar a disponibilidade ao consumidor, boa parte da produção de frutas tem sido destinada à elaboração de polpas e sucos de frutas.

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e Bebidas não Alcóolicas (ABIR, 2016), de 2010 a 2014 observou-se um crescimento de 60% na produção e de 56% no consumo de bebidas prontas para o consumo como refrescos e bebidas mistas, um percentual de expansão bem expressivo. Aliado a isso, observou-se, também, uma diminuição de 10% no consumo *per capita* de refrigerante, o que aponta para uma mudança no hábito alimentar do brasileiro, que pode estar associado à busca por alimentos práticos, porém promotores da saúde e do bem-estar.

Apesar do crescimento, o consumo *per capita*, no Brasil, de sucos com maiores

teores de frutas na sua composição ainda é baixo, mostrando que há muito espaço para a expansão desse mercado e, em particular, para os sucos elaborados com as frutas nativas do país, tornando-as mais conhecidas e, principalmente, agregando valor às mesmas.

Entre os sucos 100% fruta têm-se os integrais e os mistos. Os sucos mistos, de acordo com o Decreto nº 6.871, de 04 de junho de 2009 (BRASIL, 2009), são definidos como os sucos obtidos pela mistura de duas ou mais frutas e/ou das partes comestíveis de duas ou mais hortaliças ou dos seus respectivos sucos, sendo a denominação constituída da palavra suco, seguida da relação de frutas e vegetais utilizados, em ordem decrescente das quantidades presentes na mistura. Assim, verifica-se que este produto possui a mesma composição, no que diz respeito ao uso de matérias-primas vegetais, que os *smoothies* reportados pela literatura científica, conforme descrito por Walkling-Ribeiro et al. (2010) e Keenan et al. (2011), entre outros autores.

Os *smoothies* representam uma forma de unir características desejáveis de diferentes frutas em um mesmo produto, seja com relação à composição nutricional ou substâncias com potencial bioativo, seja com relação aos compostos que conferem aroma e sabor (BHARDWAJ; PANDEY, 2011). O equilíbrio entre os sabores doce e ácido, por exemplo, por meio da combinação de frutas, faz com que seja possível evitar o uso do açúcar de adição, que, entretanto, ainda representa um desafio tecnológico. Isto pode ser constatado pelos trabalhos reportados por diferentes autores no desenvolvimento de bebidas mistas, já que muitos deles se referem a produtos do tipo néctar, com adição de água e açúcar.

Faraoni et al. (2012) desenvolveram néctar misto de goiaba, manga e acerola, utilizando delineamento de mistura e verificaram que, apesar de todas as formulações terem sido aceitas, os maiores teores de goiaba aumentavam a aceitação do produto. Os autores destacaram a importância do balanço doce/ácido para a aceitabilidade sensorial.

No desenvolvimento de uma bebida mista tendo água de coco como principal ingrediente, além de polpas de abacaxi e acerola, Pereira et al. (2009) também utilizaram sacarose para obter um teor de sólidos solúveis padronizado. A maior concentração de água de coco influenciou positivamente a aceitação do produto e a maior concentração de acerola propiciou os maiores valores de vitamina C e de capacidade antioxidante do produto.

Corrêa et al. (2010) desenvolveram um suco misto pasteurizado à base de açaí e

banana, porém também com adição de água e de xarope de guaraná, o qual foi empregado na formulação para propiciar o sabor doce. O produto foi elaborado a partir da fração de açaí retida na membrana durante a clarificação do suco e apresentou teores relevantes de compostos fenólicos, na faixa de 200 mg.100 g^{-1} (expresso em ácido gálico) e de capacidade antioxidante (14 μmol Trolox.g^{-1}), obtida pela redução do radical ABTS+.

Freitas e Mattietto (2013), no desenvolvimento de bebidas à base de frutas da Amazônia, testaram diferentes combinações de frutas e avaliaram a doçura ideal para as formulações propostas. Os resultados indicaram um maior potencial de aceitação para os néctares de cupuaçu, acerola e açaí e de graviola, camu camu e taperebá, sendo também observado que o teor de açúcar ótimo para ambos esteve entre 9,5 e 11%.

O grande apelo para a elaboração dos sucos e néctares mistos se deve ao fato destes contribuírem para uma dieta mais rica em nutrientes, que implicarão, a longo prazo, em uma série de benefícios à saúde, como sugerem alguns estudos citados a seguir.

O efeito cardioprotetor de um *blend* de açaí foi demonstrado por meio de um estudo *in vivo* utilizando camundongos deficientes em apoliproteína E, os quais foram alimentados com um *blend* contendo 5% de açaí durante 20 semanas. Os resultados demonstraram que a inserção do suco na dieta foi capaz de aumentar a fração da lipoproteína de alta densidade (HDL-Colesterol) e reduzir a peroxidação lipídica pelo aumento da atividade das enzimas antioxidantes e por inibir a produção de citocinas pró-inflamatórias. Estes mecanismos foram propostos para o efeito protetor no desenvolvimento das placas de ateroma neste modelo animal (XIE et al., 2018).

A atividade biológica de néctares mistos contendo açaí, camu-camu e cajá sobre a peroxidação lipídica em ratos foi avaliada por Pereira et al. (2014). Os autores verificaram que, apesar de não ter sido observado efeito sobre as concentrações séricas de colesterol total e a fração LDL, as concentrações de HDL aumentaram significativamente com a ingestão do néctar contendo maior teor de açaí. Pela análise da atividade de enzimas antioxidantes, foi possível concluir que a suplementação com néctares de frutas tropicais foi efetiva na defesa antioxidante endógena.

Nowicka, Wojdyło e Samoticha (2016) formularam 13 *smoothies* de frutas pela combinação de cereja azeda com diferentes concentrações de pêssego, damasco e

ameixa. Entre os compostos antioxidantes, observou-se a presença de antocianinas e outros flavonoides, e de ácido hidroxicinâmico. As formulações foram testadas quanto à inibição das enzimas α-amilase e β-glicosidase, uma vez que a inibição destas enzimas é uma das principais estratégias para neutralizar as alterações metabólicas relacionadas a hiperglicemia e diabetes tipo 2. Os resultados mostraram que todas as formulações apresentaram tal potencial, sendo que os *smoothies* formulados com damasco foram os mais efetivos na inibição destas enzimas.

2.1.1. Juçara

A palmeira *Euterpe Edulis* Martius, típica da Mata Atlântica, pode ser encontrada nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Bahia (CARVALHO, 2003).

A palmácea apresenta apenas uma estirpe (caule), cujo porte adulto geralmente varia entre 10 e 20 m de altura e não produz perfilho, por isso a extração do palmito implica na destruição da planta (YUYAMA, 2011). Pelo extrativismo clandestino e intensificado do palmito nas regiões de Mata Atlântica, a palmeira foi incluída na lista de espécies ameaçadas de extinção (BRASIL, 2008). Desta forma, maior atenção tem sido dada aos frutos da palmeira *Euterpe edulis*, que pode se tornar uma alternativa econômica e sustentável para os agricultores da região, uma vez que a colheita do fruto ocorre anualmente e estima-se que, por ano, cada palmeira produza cerca de 6 a 8 kg de frutos (CARVALHO, 2003) (Figura 2.1).

Os frutos são similares aos do açaizeiro no que diz respeito aos aspectos físicos e sensoriais, no entanto, quanto à sua composição em compostos bioativos, os frutos da juçara têm se mostrado mais ricos e, potencialmente mais antioxidante, como mostrado por Rufino et al. (2010), ao reportarem conteúdo superior de antocianinas totais no fruto da juçara (192 mg.100 g^{-1}), quando comparado ao do açaí (111 mg.100 g^{-1}). Quando comparada a outras frutas, verificou-se que sua concentração em antocianinas foi superior às observadas nas polpas de amora, uva, morango e açaí, avaliadas por Kuskoski et al. (2006).

Borges et al. (2011) avaliaram o conteúdo em antocianinas totais de frutos de juçara provenientes de cinco diferentes regiões de Santa Catarina, colhidos em diferentes meses do ano, compreendendo o período de janeiro a julho e encontraram valores que variaram de 14,84 a 409,85 mg cianidina-3-glicosídeo.100 g^{-1} de fruto

fresco. A diferença entre os conteúdos, segundo os autores, se deve à radiação solar, já que os frutos colhidos no verão, correspondendo ao mês de janeiro, apresentaram maior conteúdo de antocianinas e maior capacidade antioxidante que os frutos colhidos no inverno.

Foto: Virgínia Matta

Figura 2.1 - Palmeira *Euterpe edulis* e seus frutos.

Schutz et al. (2015), ao avaliarem a influência da maturação dos frutos de juçara sobre as antocianinas, compostos fenólicos majoritários nos mesmos, observaram conteúdos entre 18,76 e 634,26 mg.100 g^{-1} de fruto fresco. Verifica-se, assim, que o teor destes compostos é dependente do estádio de maturação, além do local e condições de cultivo, como verificado para as frutas e hortaliças de uma forma geral.

Com relação à capacidade antioxidante, o fruto apresentou elevado potencial anti-radical DPPH e FRAP, como demonstrado por Schutz et al. (2015), ao avaliarem o mesmo em diferentes estádios de maturação. Maiores valores foram observados no sexto estádio, penúltimo estádio de amadurecimento segundo os autores, com EC_{50} de 2,09 mg.mL^{-1} para a bioatividade em DPPH e 7,6 mmol Trolox.100 g^{-1} por FRAP, resultados em base seca. Tal potencial anti-radical também foi reportado por Borges et al. (2011) ao analisarem o comportamento do extrato do fruto em teste com radical DPPH.

Borges et al. (2013) também citam o efeito citoprotetor em termos de danos oxidativos induzidos por radical hidroperóxido de *terc*-butila em cultura de células Vero de macacos. Segundos os autores, o extrato do fruto composto por ácidos fenólicos e flavonoides foi mais efetivo na proteção das células que o padrão de ácido gálico,

mostrando efeito sinérgico positivo dos compostos fenólicos, ressaltando, mais uma vez, a importância do consumo de alimentos ricos nos mesmos.

Cardoso et al. (2015), ao avaliarem o efeito do consumo de suco de juçara nos parâmetros bioquímicos de 11 indivíduos saudáveis, observaram um aumento significativo nos valores de capacidade antioxidante do sangue dos mesmos, medidos pelo método FRAP, após 1 h de ingestão do suco de juçara. Além disso, foi reportado por estes autores que a ingestão de suco de juçara diminuiu a peroxidação lipídica, uma vez que se observou a redução da concentração de hidroperóxidos de lipídios. Estes resultados indicam o efeito positivo do consumo de suco de juçara sobre o dano oxidativo celular.

Entretanto, apesar de ser considerada uma "super fruta" conforme o potencial reportado pelas trabalhos acima e como destacou Felzenszwalb et al. (2013), o consumo individual de juçara é restrito devido, principalmente, ao seu baixo teor de sólidos solúveis (SCHULZ et al., 2016). Assim, seu emprego como ingrediente funcional em formulações tem sido estimulado.

Moreira et al. (2017) elaboraram um suco misto de manga e juçara adicionado de probiótico, produto que apresentou elevada concentração de compostos fenólicos e capacidade antioxidante. Além disso, a combinação das frutas resultou em um produto com aceitação sensorial e com potencial de mercado, uma vez que as notas para a intenção de compra foram superiores a 3, numa escala que variou de 1 a 5.

2.1.2. Banana

A banana é uma fruta de origem asiática, cultivada em mais de 125 países, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais. De acordo com a FAO (2017), a produção mundial de banana em 2016 foi cerca de 113 milhões de toneladas, sendo os principais produtores Índia, China, Indonésia, Brasil, Equador e Filipinas. A produção brasileira, neste mesmo período, foi cerca de 6,7 milhões de toneladas.

A banana é a segunda fruta mais consumida mundialmente e a primeira no Brasil (ANUÁRIO, 2015), podendo ser utilizada verde ou madura, crua ou processada, em diferentes preparações (AURORE et al., 2009). A banana é classificada em sete estádios de maturação, de acordo com escala de Von Loesecke, conforme ilustra a Figura 2.2, indo de totalmente verde (estádio 1) a completamente madura (estádio 7). O amadurecimento é o fator que determina as características das bananas de sobremesa

quando esta é consumida fresca. Nos estádios de 1 a 3, a banana normalmente não é consumida como sobremesa, pois em geral se encontra muito rígida, com sabor adstringente pelo excesso de tanino e com alta concentração de amido. Já na etapa 7, a fruta está madura, mais doce e macia, devido à degradação do amido a glicose, frutose e sacarose.

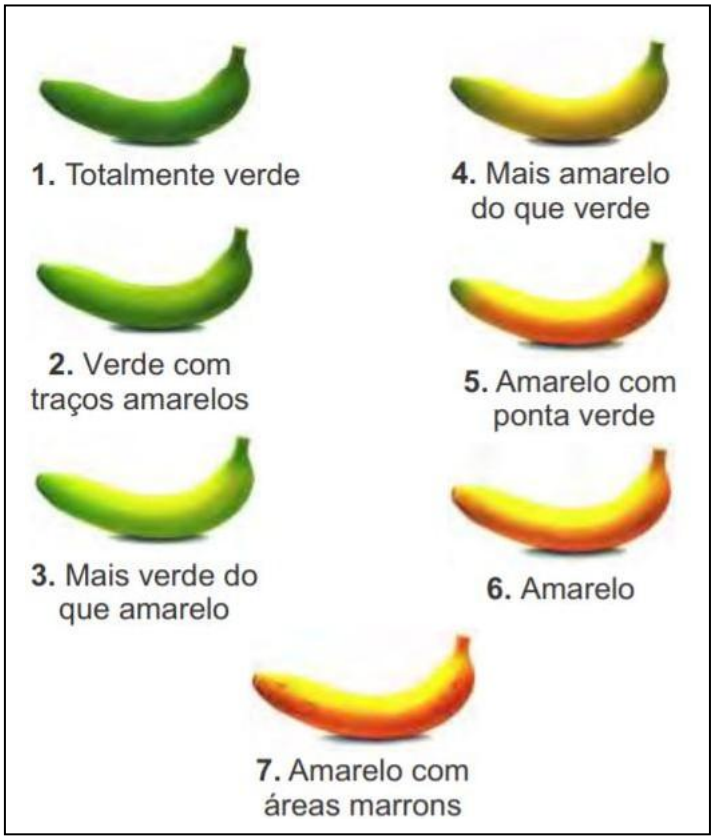


Figura 2.2 - Escala de maturação de Von Loesecke (CEAGESP, 2006).

Quanto à sua composição, ela apresenta vitaminas A e C, vários minerais (P, Mg, K) e, apesar de minoritários, compostos fenólicos. Em média, 70 % de sua composição é água e os sólidos são constituídos, prioritariamente, de carboidratos, apresentando também pequenas quantidades de proteínas e lipídios (TACO, 2011).

A banana tem sido utilizada no desenvolvimento de diversos produtos tais como vinho (CHEIRSILP; UMSAKUL, 2009), suco (RODRIGUES et al., 2003) e néctares (MESQUITA et al., 2009). Seu potencial na elaboração de bebidas se deve, principalmente, à sua doçura, tornando os produtos menos dependentes de açúcar de adição.

2.1.3. Morango

Os maiores produtores mundiais de morango são a China, Estados Unidos, México, Turquia, Egito e Espanha, que, juntos, produziram em 2016 mais de 7 milhões de toneladas (FAO, 2017). O Brasil não se destaca como grande produtor; segundo a FAO (2017), a produção do país, no mesmo período, foi pouco mais de 3,3 mil toneladas de fruto.

Apesar disso, a produção de morango vem se destacando em várias regiões do Brasil, sendo o maior produtor o estado de Minas Gerais. Outros estados como Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, São Paulo, Espírito Santo, Distrito Federal, Bahia e Ceará também produzem o fruto. Na última década, a cultura teve grande crescimento, atribuído à sua alta rentabilidade, além das transformações na forma de cultivo, mudando do sistema convencional para o semi-hidropônico protegido, que acarreta menos perda (ANUÁRIO, 2015).

O morango é um fruto que apresenta fragilidade em termos do seu manuseio ao longo da cadeia produtiva, sendo altamente perecível, com vida pós-colheita curta. Faz parte do grupo de frutas não climatéricas, que apresentam um declínio na taxa de respiração em função do tempo quando ainda está na planta. Depois de colhidos não amadurecem nem melhoram as características sensoriais, entrando em estado de senescência (CANTILLANO, 2005).

A sua comercialização é feita *in natura*, congelado (frutos inteiros ou polpa) e na forma de polpa desidratada, fazendo com que, além do consumo *in natura*, o morango possa ser utilizado como ingrediente em diversas preparações tais como caldas, sorvetes, bebidas, entre outras (OLIVEIRA et al., 2013).

Quanto à composição química, o morango é constituído de minerais como fósforo, potássio e magnésio, apresentando, também, conteúdo relevante em vitamina C (63 mg.100 g^{-1}) e compostos fenólicos, com destaque para a presença das antocianinas (OLIVEIRA et al., 2013; TACO, 2011).

Entre as antocianinas presentes no fruto verifica-se maior concentração de pelargonidina-3-glicosideo, apresentando também cianidina-3-glicosídeo. Por conta de sua composição em compostos bioativos, o consumo de morango tem sido associado com a redução do risco de desenvolver doenças crônico-degenerativas como câncer e

cardiovasculares (GIAMPIERI et al., 2012; AABY et al., 2012).

Edirisinghe et al. (2011) avaliaram a ingestão de bebida de morango por adultos acima do peso e verificaram efeito positivo, associado às antocianinas da fruta, sobre a resposta inflamatória pós-pandrial, além da melhoria da ação da insulina no organismo destes indivíduos.

Zhu et al. (2015) avaliaram o potencial dos compostos bioativos presentes em morangos liofilizados na inibição do câncer bucal induzido, em ensaios com ratos. Os autores reportaram diminuição das lesões causadas pelo tumor, ressaltando que tal efeito positivo se deu pela sua composição em compostos fenólicos, sendo 48,8% de antocianinas, 42,9% de derivados do ácido elágico e 8,3% de flavonóis.

2.2. COMPOSTOS FENÓLICOS

2.2.1. Flavonoides

Os compostos fenólicos são definidos quimicamente como substâncias que possuem um anel aromático com uma ou mais hidroxilas ligadas às estruturas hidrocarbônicas na forma simples ou polimerizada, apresentando outros grupos substituintes em sua estrutura, como ésteres e glicosídeos. Os compostos fenólicos podem ser encontrados naturalmente no reino vegetal na forma livre ou ligada (NACZK; SHAHIDI, 2006).

Estes compostos são metabólitos secundários sintetizados pelas plantas durante o crescimento em resposta a condições de estresse, como infecções, ferimentos, radiação UV, dentre outros. Por possuírem uma estrutura variável, são multifuncionais. Dentre os compostos fenólicos, destacam-se os flavonoides, ácidos fenólicos, fenóis simples, estilbenos, lignanas e taninos (IGNAT; VOLF; POPA, 2011; NACZK; SHAHIDI, 2006).

Os flavonoides, assim como os outros compostos fenólicos, apresentam efeitos benéficos à saúde, podendo reduzir o risco de desenvolvimento de várias doenças, como as cardiovasculares e o câncer (RAFFA et al., 2017; LIOBIKAS et al., 2016). Pode-se atribuir o potencial antioxidante dos flavonoides à sua capacidade de sequestrar radicais livres, atuando como doadores de hidrogênio e quelantes de metais, reduzindo a incidência de doenças crônicas não transmissíveis (SADOWSKA-BARTOSZ; ADAMCZYK; BARTOSZ, 2014).

Os flavonoides são os metabólitos mais abundantes no reino vegetal, sendo, portanto, dentre os compostos fenólicos, o grupo mais importante. Eles caracterizam-se por apresentar uma estrutura comum composta por dois anéis aromáticos ligados por três carbonos e um átomo de oxigênio formando um heterociclo oxigenado denominado benzopirano (Figura 2.3). O grau de oxidação e o padrão de substituição do anel C definem as classes de flavonoides e, dentro destas, o padrão de substituição nos anéis A e B determinam os compostos específicos. Com isso, apresentam-se em seis grupos principais que são denominados flavanóis, flavonóis, flavonas, antocianinas, isoflavonoides e flavononas (JÄGER; SAABY, 2011).

As antocianinas, subclasse dos flavonoides, formam o maior grupo de pigmentos hidrossolúveis na natureza. Elas estão presentes em diversos vegetais, podendo ser encontradas em maior concentração nas flores e frutos das plantas. São responsáveis pelo espectro de cor que varia do vermelho ao azul (GALVANO et al., 2004).

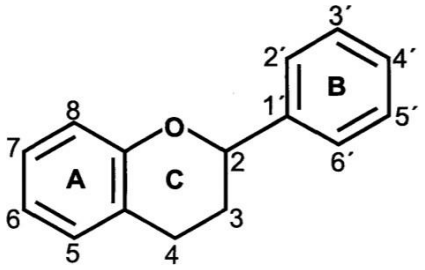


Figura 2.3 - Estrutura básica dos flavonoides. Bravo (1998).

Na natureza, as antocianinas ocorrem glicosiladas, sendo que as agliconas são conhecidas como antocianidinas. A forma básica das antocianinas é a do cátion flavílio. Os açúcares ligados à molécula de antocianina podem sofrer acilação, ou seja, estarem ligados a ácidos orgânicos ou outros substituintes como os ácidos fenólicos. Nos alimentos, as antocianinas são todas derivadas das agliconas pertencentes aos seis principais pigmentos desta classe: malvidina, delfinidina, petunidina, peonidina, cianidina e pelargonidina, as quais diferem entre si quanto ao número de hidroxilas e ao grau de metoxilas (OMe) presentes no anel B (HE; GIUSTI, 2010) (Figura 2.4).

A glicosilação pelos açúcares pode ocorrer nas posições 3 e 5, enquanto que a acilação se dá por meio da esterificação da hidroxila dos açúcares (LIOBIKAS et al., 2016). Tais alterações estruturais aumentam a estabilidade destes pigmentos, porém fatores como pH, estrutura química, solvente, concentração no alimento, co-

pigmentação, temperatura de armazenamento, entre outros, podem contribuir para a degradação deste composto (SUI; DONG; ZHOU, 2014; SANCHO; PASTORE, 2012; CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2009).

As antocianinas podem prevenir danos causados pelos radicais livres através de vários mecanismos, como, por exemplo, o carreamento direto do radical livre. Por meio deste mecanismo, as antocianinas estabilizam as espécies reativas de oxigênio através da reação de seu grupo hidroxil com o componente reativo do radical, tornando-o desde menos reativo até completamente inativo (NIJVELDT, 2001).

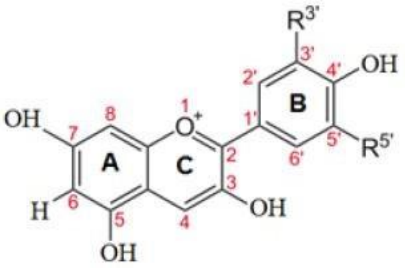
Antocianidinas	Substituição		Estrutura básica
	R3’	R5’	
Delfinidina	OH	OH	
Cianidina	OH	H	
Pelargonidina	H	H	
Malvidina	OMe	OMe	
Peonidina	OMe	H	
Petunidina	OH	OMe	

Figura 2.4 - Principais antocianinas encontradas nos alimentos. Adaptada de Liobikas et al. (2016).

A bioatividade das antocianinas já foi avaliada por diversos estudos utilizando cultivos celulares, modelos animais e ensaios com humanos. Alguns efeitos foram relacionados a estes compostos, destacando-se, entre eles, sua ação antioxidante, vasoprotetora, anti-inflamatória, anticarcinogênica e antidiabética (KONG et al., 2003).

Qin et al. (2009) demonstraram que a suplementação de antocianinas em pacientes com dislipidemia teve um efeito positivo sobre o perfil de lipoproteínas, reduzindo os níveis de LDL-colesterol e aumentando os níveis de HDL-colesterol no sangue.

Chen et al. (2015) observaram, por meio de um modelo de células hepáticas *in vitro* submetidas a injúrias por tetracloreto de carbono, o efeito protetor das antocianinas de mirtilo. A maior redução no nível de caspase-3 (87%), marcador da necrose mitocondrial investigado no trabalho, foi alcançada quando o tratamento foi realizado com a maior concentração de antocianinas (10 $mg.L^{-1}$), no maior tempo após o consumo

(16 h). Entre as antocianinas responsáveis pelo efeito protetor os autores destacaram a cianidina-3-glicosídeo, delfinidina-3-rutinosídeo e malvidina-3-galactosídeo.

O efeito positivo dos extratos aquosos de milho roxo e vermelho, ricos em antocianinas, principalmente as cianidinas, sobre a proliferação de células tumorais associadas ao câncer coloretal foi observado por Mazewski, Liang e Mejia (2017). Estes autores verificaram, por meio de ensaios *in vitro*, que a inibição da proliferação destas células foi devido à promoção da apoptose e supressão da angiogênese.

2.2.2. Ácidos fenólicos

O segundo grupo mais importante de fitoquímicos compreende os ácidos fenólicos. Eles representam quase um terço dos compostos fenólicos alimentares restante e estão presentes, principalmente, nas frutas. Esta classe é dividida em dois subgrupos em função do ácido do qual são derivados: hidroxibenzóico ou hidroxicinâmico (HAMINIUK et al., 2012). Os principais ácidos fenólicos são mostrados na Figura 2.5.

Segundo Robbins (2003), nas plantas, os ácidos fenólicos são associados com diversas funções, incluindo absorção de nutrientes, síntese protéica, atividade enzimática, fotossíntese e componentes estruturais, podendo ser encontrados em praticamente todos os alimentos vegetais como frutas, vegetais e grãos, e estão fisicamente distribuídos em toda a planta (sementes, folhas, raízes e hastes). Apenas uma pequena fração existe como ácidos fenólicos livres e a maioria está ligada por meio de ligações ester, éter ou acetal, tanto aos componentes da estrutura vegetal (celulose, proteínas, lignina) quanto a flavonóides ou outras moléculas orgânicas menores (glicose, ácidos quinico, maleico ou tartárico).

Assim como os flavonoides, os ácidos fenólicos comportam-se como antioxidantes devido à reatividade da hidroxila presente no anel aromático. A doação de átomos de hidrogênio e/ou de elétrons possibilita a inibição da reatividade do radical. Substituintes no anel aromático afetam a estabilização e, portanto, afetam a capacidade destes ácidos fenólicos de extinção de radicais livres. Diferentes ácidos, portanto, têm diferentes atividades antioxidante (SADOWSKA-BARTOSZ; ADAMCZYK; BARTOSZ, 2014; ROBBINS, 2003). São compostos de grande importância do ponto de vista de saúde, pois contribuem para o bom funcionamento do organismo humano (HELENO et al., 2015).

O efeito do ácido ferúlico sobre as propriedades bioquímicas e histológicas de fígado e coração de ratos obesos e diabéticos foi avaliado por Song et al. (2014). Após 16 semanas de administração deste composto fenólico (60 mg/kg), os autores reportaram o aumento na atividade antioxidante do plasma. Além disso, eles observaram manutenção do peso corporal, diminuição da glicose e de lipídios séricos do fígado e do coração.

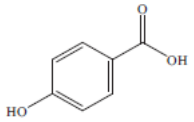
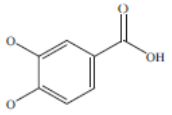
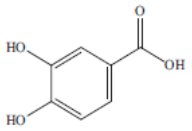
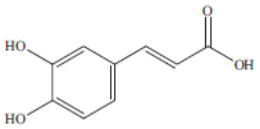
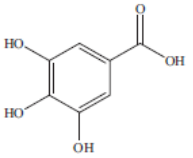
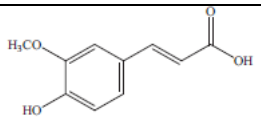
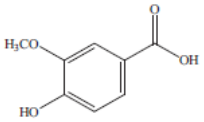
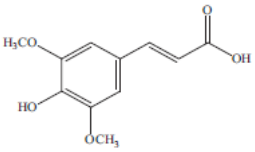
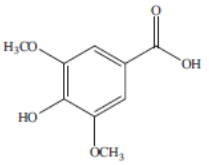
Derivados do ácido hidroxicinâmico	Derivados do ácido hidroxibenzóico
 Ácido *p*-cumárico	 Ácido *p*-hidroxibenzóico
	 Ácido protocatecuico
 Ácido cafeico	 Ácido gálico
 Ácido ferúlico	 Ácido vanílico
 Ácido sinápico	 Ácido siríngico

Figura 2.5 - Principais ácidos fenólicos encontrados nos alimentos. Adaptado de Heleno et al. (2015).

Em uma revisão de literatura realizada por Verma, Singh e Mishra (2013) foi reportado o potencial do ácido gálico sobre várias linhagens de células tumorais como aquelas relacionadas ao câncer de estômago, cólon e sangue. Os autores citam que este potencial se deve ao efeito anti-proliferativo deste ácido fenólico, assim como por ele induzir a apoptose, morte celular.

2.3. BIOACESSIBILIDADE

2.3.1. Processo digestório

O trato digestório é composto por boca, esôfago, estômago, intestino delgado, que compreende o duodeno, jejuno e íleo e, ao final, o intestino grosso, que por sua vez é subdivido em cólon, reto e ânus. Estão também associados ao trato digestório outros órgãos e glândulas como o fígado, pâncreas e vesícula biliar (DEAN; MA, 2007).

Resumidamente, a digestão compreende processos mecânicos como a mastigação, deglutição e os movimentos peristálticos, pela contração muscular do trato gastrointestinal, e processos químicos, que ocorrem graças à ação das enzimas secretadas por glândulas anexas em várias partes do aparelho digestivo, transformando o alimento em unidades absorvíveis pelas células da mucosa gastrointestinal (GUERRA et al., 2012).

O processo digestório começa na boca, no qual, pelo efeito da mastigação e atuação da amilase salivar, inicia-se a degradação de polissacarídeos. A saliva é composta predominantemente por água, o que propicia a fluidificação do alimento, facilitando a deglutição. Além disso, apresenta pH entre 5 - 7, o que favorece a ação da amilase salivar. Em seguida, o bolo alimentar é conduzido até o estômago pelo esôfago, por meio de contrações peristálticas que empurram o alimento (DEAN; MA, 2007; GUERRA et al., 2012).

No estômago o bolo alimentar sofre a ação química do suco gástrico produzido pelas células da parede do orgão, composto por pepsinogênio, muco, água, sais e ácido clorídrico, o qual tem a função de transformar o pepsinogênio em pepsina, enzima que promove a quebra parcial das proteínas brutas do bolo alimentar. O bolo alimentar após essa etapa da digestão é denominado quimo e é transportado para o intestino delgado, local onde os nutrientes são absorvidos, incluindo gorduras, carboidratos, aminoácidos, minerais, vitaminas, água e eletrólitos (SHANI-LEVI et al., 2017; GUERRA et al.,

2012).

No duodeno o quimo é misturado à bile proveniente da vesícula biliar que tem por função emulsionar as gorduras. As transformações ocorridas no intestino delgado são devidas às enzimas secretadas pelo pâncreas na forma de suco pancreático que contém água, enzimas (tripsina, amilase pancreática, lipase pancreática) e bicarbonato de sódio para neutralizar a acidez do quimo e, assim, garantir a ação das enzimas pancreáticas. As enzimas proteolíticas são secretadas em uma forma inativa, sendo ativadas apenas quando atingem o trato digestivo (GUO et al., 2017; DEAN; MA, 2007).

Os restos alimentares não digeridos chegam ao intestino grosso. As principais funções do cólon são a absorção de água e eletrólitos, fermentação de polissacarídeos por microbiota colônica, reabsorção da bile e formação, armazenamento e eliminação de fezes. Nesta fase, a contribuição para o estado nutricional é mínima (GUERRA et al., 2012).

A Figura 2.6 ilustra de forma resumida as principais etapas da digestão humana, bem como as condições em cada uma delas.

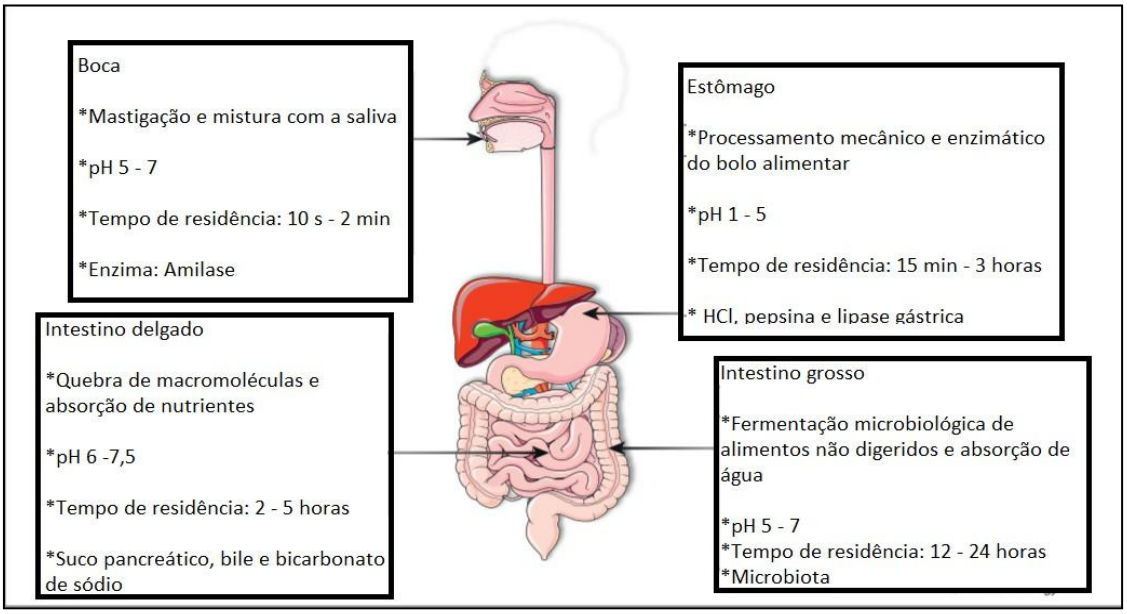


Figura 2.6 - Principais etapas da digestão humana: função e condições. Adaptado de Guerra et al. (2012).

2.3.2. Bioacessibilidade *in vitro* de compostos fenólicos

A bioacessibilidade, uma das respostas obtidas pela avaliação gastrointestinal *in*

vitro, é definida como a quantidade de cada composto ingerido que fica disponível para absorção no intestino após a digestão. Assim, avaliar a composição e quantidade de compostos fenólicos disponíveis em matrizes alimentícias, por meio da digestão *in vitro*, possibilita o entendimento dos efeitos destes compostos no organismo humano (PALAFOX-CARLOS; AYALA-ZAVALA; GONZÁLEZ-AGUILAR, 2011).

Embora os estudos de digestão *in vivo* geralmente forneçam resultados mais precisos do que em sistemas *in vitro*, eles são geralmente mais caros, demorados, suscetíveis a variações individuais e, por envolver estudos com seres humanos, são limitados por restrições éticas. Assim, nos últimos anos, muito esforço tem sido dedicado ao desenvolvimento de modelos *in vitro* que possam reproduzir, com mais fidelidade e em um período de tempo curto, os processos fisiológicos que ocorrem durante a digestão humana, com o objetivo de fornecer resultados precisos quanto as alterações estruturais, a digestibilidade e a liberação de compostos presentes nos alimentos (MCCLEMENTS; LI, 2010).

Estes modelos compreendem, em geral, uma etapa de digestão com pepsina gástrica em pH ácido, seguida de uma digestão com pancreatina e sais biliares em condições alcalinas, sendo condicionado ao alimento avaliado o emprego da etapa oral (MINEKUS et al., 2014).

Alguns fatores interferem nos resultados dos métodos de digestão gastrointestinal *in vitro*, tais como as características da amostra (matriz alimentícia), atividade enzimática, composição iônica, tempo de digestão e estresse mecânico aplicado, além das condições de incubação enzimática. Todos estes fatores fazem com que os resultados obtidos nos estudos *in vitro* não sejam completamente iguais aos obtidos *in vivo* (HUR et al., 2011).

Durante a digestão gastrointestinal, os compostos fenólicos podem interagir com outros componentes alimentares, ser degradados ou hidrolisados. Estas mudanças estruturais podem afetar tanto a sua absorção posterior como também a sua atividade biológica (BOUAYED; HOFFMANN; BOHN, 2011).

A bioacessibilidade dos compostos fenólicos, devido à sua diversidade química, é variável. Pode-se citar, como exemplo, o efeito do ambiente alcalino do intestino delgado sobre a estabilidade das antocianinas, como mostrado nos trabalhos a seguir.

Sun et al. (2015), ao avaliarem a biocessibilidade *in vitro* de antocianinas de arroz roxo, observaram retenção de mais de 85% destes compostos após a digestão gástrica, mostrando pouca influência desta etapa sobre estes pigmentos. No entanto, ao analisarem o efeito da etapa de digestão intestinal, observaram percentuais de retenção entre 14 a 22%, mostrando certa instabilidade destes pigmentos nas condições intestinais. As antocianinas avaliadas neste estudo foram a cianidina-3,5- diglicosídeo, cianidina-3-glicosídeo, cianidina-3-rutinosídeo e a peonidina-3-glicosídeo.

Correa-Betanzo et al. (2014) reportaram que as antocianinas de mirtilos selvagens apresentaram alta estabilidade durante a digestão gástrica simulada *in vitro*. No entanto, na digestão intestinal observaram redução de cerca de 50% do conteúdo destes compostos em comparação com a amostra não digerida.

Resultados similares foram reportados por Liu et al. (2014), que não observaram degradação significativa das antocianinas presentes no mirtilo após a etapa gástrica da digestão. Porém, na etapa de digestão intestinal, os autores reportaram que cerca de 42% do conteúdo das antocianinas totais foi degradado.

Diante desses resultados, verifica-se, claramente, que as antocianinas provenientes de diferentes fontes apresentaram estabilidade na etapa gástrica, porém foram facilmente degradadas na digestão intestinal.

Embora muitos fatores possam influenciar a estabilidade das antocianinas, tais como a estrutura química, a concentração no alimento, exposição ao oxigênio, matriz alimentar, pH, solventes, enzimas digestivas (GALVANO et al., 2004), o pH do meio e a sua estrutura química apresentam-se como fatores relevantes para tal comportamento. Estudos citam que o número, a localização e a natureza dos açúcares ligados à aglicona estão fortemente associados com a estabilidade das antocianinas, bem como as acilações. Por exemplo, antocianinas não aciladas são mais instáveis do que as aciladas (SADILOVA; CARLE; STINTZING, 2007).

No que diz respeito aos efeitos do pH sobre a estabilidade das antocianinas, verifica-se uma forte influência deste fator, uma vez que a forma estrutural das antocianinas pode sofrer transformações quando o pH do meio varia. De acordo com Castañeda-Ovando et al. (2009), em pH 1,0, o cátion flavílio é a espécie predominante, enquanto que em valores de pH entre 2,0 e 4,0, as espécies quinoidais são predominantes. Em valores de pH entre 5,0 e 6,0, observa-se no meio a presença das

formas pseudobase-carbinol e chalcona e, em valores de pH acima de 7,0, a degradação desses pigmentos pode ocorrer, o que também foi reportado por Sui, Dong e Zhou et al. (2014), os quais observaram apenas traços destes pigmentos em pH entre 7,0 e 8,0. Cabe ressaltar que a degradação das antocianinas pode resultar no aumento da concentração de outros componentes fenólicos, principalmente de ácidos fenólicos. Este comportamento foi verificado por Sinela et al. (2017) ao avaliarem a degradação térmica das antocianinas de hibisc*o*.

Liang et al. (2012), ao avaliarem a bioacessibilidade de antocianinas de amora, observaram a presença de outros compostos fenólicos na digesta intestinal, o que sugere que a degradação destes pigmentos, causada principalmente pelo pH do meio, resultou em tais compostos, sendo destacada a presença dos ácidos fenólicos protocatecuico e ferúlico. Segundo os autores, o ambiente intestinal (pH=7,4) pode causar mudança na estrutura molecular das antocianinas devido à quebra do anel B, gerando os ácidos fenólicos, principalmente. Resumidamente, os autores comentam que alguns flavonoides, na digestão gástrica, sofrerão glicosilação, dando origem às agliconas, e, no ambiente intestinal, pequenas moléculas de ácidos fenólicos serão formadas.

2.4. PROCESSOS DE CONSERVAÇÃO

2.4.1. Pasteurização

O processamento térmico envolve a aplicação de calor ao alimento durante um período de tempo e temperatura determinados, que garantam a qualidade microbiológica necessária para a comercialização do produto. Para que um processamento térmico seja realizado dentro de requisitos para a conservação adequada dos alimentos, isto é, para que a alteração seja a menor possível nas suas características físicas, químicas e sensoriais, muitos estudos foram feitos, determinando uma série de procedimentos hoje observados (GAVA, 1998).

O processamento térmico pode ser influenciado pelos seguintes fatores: tipos e concentrações iniciais de microrganismos a serem destruídos, pH do produto, velocidade de penetração de calor, tempo de aquecimento e temperatura atingida, temperatura inicial do produto e sistema de aquecimento, resfriamento, entre outros (FELLOWS, 2006).

O emprego do calor é um dos métodos mais utilizados no processamento de

alimentos. A conservação se dá pela desnaturação de enzimas e pela destruição de microrganismos associados à deterioração dos alimentos durante o armazenamento (CHEN; YU; RUPASINGHE, 2013).

Entre os métodos de conservação pelo uso de calor, destaca-se a pasteurização, por ser um dos tratamentos térmicos mais utilizados para garantir a inocuidade microbiológica de produtos como leite e sucos de frutas. Segundo Gava (1998), a temperatura empregada não deve passar 100 °C, podendo o aquecimento ser produzido por vapor, água quente, radiações ionizantes ou micro-ondas.

O tempo e a temperatura de pasteurização dependem do método e do produto a ser tratado. Assim, pode ser empregada uma pasteurização rápida (HTST - *high temperature, short time*), com o uso de uma temperatura relativamente alta num tempo curto (por exemplo, leite a 72 °C durante 15 segundos) ou uma pasteurização lenta (LTLT - *low temperature, long time*), a qual emprega uma temperatura mais baixa por um tempo maior (por exemplo, leite a 62 °C durante 30 minutos) (GAVA, 1998).

Apesar de ser amplamente difundida, a pasteurização pode causar efeitos adversos em relação às características sensoriais (cor, sabor, aroma) e nutricionais dos produtos quando um binômio de tempo e temperatura inadequado é empregado. Assim, estudos são necessários para que a pasteurização resulte na obtenção de um produto seguro com a preservação das suas características originais, como sabor, aroma, cor e compostos antioxidantes, por exemplo.

Oliveira et al. (2011), ao estudarem a pasteurização da polpa de umbu numa faixa de temperatura de 88 a 96 °C e tempo de 10 a 30 s, observaram diferenças significativas nos parâmetros de cor, com escurecimento da polpa em função do aumento da temperatura de pasteurização. Sensorialmente, observou-se, na condição mais drástica da pasteurização (96 °C/30 s), a presença de gosto amargo, o que caracteriza um efeito negativo do processamento sobre o produto.

Dutra et al. (2012) observaram uma degradação significativa nos conteúdos de vitamina C, carotenoides totais e capacidade antioxidante do suco de tangerina murcote pasteurizado a 100 °C por 30 segundos.

Silva et al. (2014), ao avaliarem o efeito da pasteurização (80 °C por 5 min) nos atributos sensoriais da polpa de juçara, verificaram que, entre os atributos sensoriais, a cor foi mais afetada pelo processamento, o que se deve, possivelmente, à degradação

das antocianinas pela temperatura elevada.

Por outro lado, apesar desses efeitos negativos da pasteurização sobre os sucos de frutas, outros estudos reportam que a pasteurização foi capaz de preservar os compostos bioativos e a qualidade sensorial de sucos quando comparados aos produtos não processados. Moreira et al. (2017) reportaram aumento na concentração de compostos fenólicos totais e na capacidade antioxidante de suco misto de manga e juçara após a pasteurização realizada a 82 ºC por 1 min. Um aumento significativo no teor de compostos fenólicos totais, flavonoides totais, ácido gálico e na capacidade antioxidante de suco de jambolão pasteurizado a 70 º C por 5 min também foi reportado por Branco et al. (2016).

Azofeifa et al. (2015) pasteurizaram o suco de amora a 75 e 92 ºC por 15 e 10 s, respectivamente e avaliaram o efeito dos seus extratos na inibiçao de espécies oxidativas. Segundo os autores, os resultados mostraram que os sucos de amora pasteurizados mantiveram as suas propriedades biológicas relacionadas à inibição da peroxidação e sua capacidade de inibir radicais intracelulares.

De acordo com Walkling et al. (2010), a combinação de tempos curtos e médias e altas temperaturas na pasteurização promoveu redução significativa da carga microbiana de um *smoothie* de abacaxi, banana, maçã, laranja e leite de coco, sem causar diferença significativa na aceitação sensorial global do produto quando comparado ao controle, mostrando que, em condições operacionais adequadas, os efeitos do calor podem ser minimizados.

2.4.2. Ultrassom

O ultrassom é uma técnica emergente para conservação de alimentos e envolve o uso de ondas acústicas com frequências de 20 kHz ou mais. Há algum tempo, apenas ultrassom de baixa intensidade (<1 $W.cm^{-2}$) em alta frequência (>1 MHz) era usado em tecnologia de alimentos, basicamente em algumas análises não destrutivas. Nas últimas décadas, descobriu-se a possibilidade do uso de ultrassom de alta intensidade (10 - 1000 $W.cm^{-2}$) em baixa frequência (20 kHz –100 kHz), com capacidade de causar o fenômeno de cavitação (expansão e contração de bolhas num líquido), com potencial de uso para inativação microbiana (TIWARI; MASON, 2012).

Existe atualmente uma gama de aplicações da tecnologia de ultrassom na área

alimentícia. Pode-de destacar o emprego desta na melhoria dos processos de desidratação, emulsificação, extração, modificação da viscosidade, amaciamento, inativação de microrganismos e de enzimas (CHEMAT; HUMA; KHAN, 2011).

A inativação de microrganismos se deve principalmente à cavitação acústica. Existem dois tipos principais de cavitação, a transiente e a estática. A cavitação estática é caracterizada por bolhas duradouras, que permanecem estáveis por muitos ciclos de compressão e expansão. A cavitação transiente ocorre quando a vibração aumenta o tamanho das bolhas progressivamente ao longo de vários ciclos de compressão e expansão até chegar a um tamanho em que elas colapsam violentamente (FENG; YANG; HIELSCHER, 2008).

As bolhas de cavitação instáveis, cheias de gás ou vapor, implodem gerando altas temperaturas e altas pressões locais que podem desintegrar células e desnaturar enzimas. A implosão das bolhas também produz força de cisalhamento e jatos de líquido com energia suficiente para danificar paredes e membranas celulares. A cavitação estável, que gera bolhas de oscilação regular para muitos ciclos acústicos, induz à formação de uma microrede no líquido ao redor das células e causa estresse no microrganismo. A inativação de microrganismos pelo ultrassom também tem sido atribuída à geração de cavitação intracelular que provoca choques mecânicos capazes de lesar componentes celulares estruturais até o ponto da lise celular (CHEMAT; HUMA; KHAN, 2011).

Além das reações mecânicas, a sonicação pode formar espécies químicas reativas que atacam a parede celular dos microrganismos, possibilitando a lise celular. O processo de formação de radicais a partir da molécula da água é denominado sonólise. Neste caso, como produto da interação destes radicais com o meio, há a produção de peróxido de hidrogênio, o qual tem efeito bactericida, favorecendo a destruição dos microrganismos no alimento. No entanto, estas espécies químicas podem interagir com outras substâncias químicas presentes no meio, causando a degradação de compostos antioxidantes como os compostos fenólicos (ZINOVIADOU et al., 2015; TIWARI; MASON, 2012).

Alguns fatores podem afetar a eficácia da inativação microbiana como a amplitude das ondas ultrassônicas, a exposição/tempo de contato, o volume dos alimentos a serem processados, a composição do alimento e a temperatura de

tratamento. Além disso, a composição da membrana celular também tem influência sobre a inativação dos microrganismos. Bactérias gram-positivas demonstraram ser mais resistentes ao tratamento por ultrassom do que as gram-negativas. Os organismos gram-positivos possuem uma camada de peptideoglicano espessa e mais firmemente aderida do que os gram-negativos. Estes, por sua vez, apresentam uma camada de lipopolissacarídeo que os protege contra alguns tipos de ataques químicos e preserva a integridade estrutural (CHEMAT; HUMA; KHAN, 2011).

Abid et al. (2014) observaram redução de 1,14 ciclos logarítmicos da contagem padrão de bactérias em suco de maçã submetido à sonicação. O tratamento foi realizado usando 70% de amplitude, frequência de 25 kHz, 20 °C por 60 minutos. Entretanto, melhores resultados foram observados quando a sonicação foi combinada com o processamento por alta pressão hidrostática.

Adekunte et al. (2010), ao avaliarem a eficiência do uso do ultrassom na destruição de leveduras, reportaram redução de sete ciclos logarítmicos de *Pichia fermentans* em suco de tomate tratado a 60 µm de amplitude a 40 °C por 10 minutos.

Suco de amora sonicado em frequência de 22 a 26 kHz e tempo de 10 a 30 min apresentou redução de três ciclos logarítmicos nas contagens de bactérias mesófilas e fungos filamentosos e leveduras em relação à amostra não processada (ENGMANN et al., 2015).

Verifica-se que a sonicação pode ser empregada como um método de conservação de alimentos, porém as variáveis de processo devem ser estudadas para que seja alcançada uma maior eficiência na destruição dos microrganismos.

REFERÊNCIAS

Aaby, K., Mazur, S., Nes, A., & Skrede, G. (2012). Phenolic compounds in strawberry (Fragaria x ananassa Duch.) fruits: Composition in 27 cultivars and changes during ripening. *Food Chemistry*, 132, 86–97.

Abid, M., Jabbar, S., Hu, B., Muhammad, M., Wu, T., Wu, Z., … Zeng, X. (2014). LWT - Food Science and Technology Synergistic impact of sonication and high hydrostatic pressure on microbial and enzymatic inactivation of apple juice. *LWT - Food Science and Technology*, 59, 70–76.

ABIR. Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas não

Alcoólicas. Dados estatísticos. Disponível em: http://abir.org.br/o-setor/dados/. Acesso em 11 jan 2016.

Adekunte, A. O., Tiwari, B. K., Cullen, P. J., Scannell, A. G. M., & O'Donnell, C. P. (2010). Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chemistry*, 122, 500–507.

Anuário brasileiro da fruticultura, 2017. Ed Gazeta Santa Cruz, Santa Cruz do Sul.

Anuário brasileiro da fruticultura, 2015. Ed Gazeta Santa Cruz, Santa Cruz do Sul.

Aurore, G., Parfait, B., & Fahrasmane, L. (2009). Bananas, raw materials for making processed food products. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 78–91.

Azofeifa, G., Quesada, S., Pérez, A. M., Vaillant, F., & Michel, A. (2015). Pasteurization of blackberry juice preserves polyphenol-dependent inhibition for lipid peroxidation and intracellular radicals. Journal of Food Composition and Analysis, 42, 56–62.

Bhardwaj, R. L., & Pandey, S. (2011). Juice blends-a way of utilization of under-utilized fruits, vegetables, and spices: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51, 563–570.

Borges, G. D. S. C., Gonzaga, L. V., Jardini, F. A., Mancini Filho, J., Heller, M., Micke, G., … Fett, R. (2013). Protective effect of Euterpe edulis M. on Vero cell culture and antioxidant evaluation based on phenolic composition using HPLC − ESI-MS/MS. *Food Research International*, 51, 363–369.

Borges, G. D. S. C., Vieira, F. G. K., Copetti, C., Gonzaga, L. V., & Fett, R. (2011). Optimization of the extraction of flavanols and anthocyanins from the fruit pulp of Euterpe edulis using the response surface methodology. *Food Research International*, 44, 708–715.

Bouayed, J., Hoffmann, L., & Bohn, T. (2011). Total phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity following simulated gastro-intestinal digestion and dialysis of apple varieties: Bioaccessibility and potential uptake. *Food Chemistry*, 128, 14–21.

Branco, I. G., Moraes, I. C. F., Argandoña, E. J. S., Madrona, G. S., dos Santos, C., Ruiz, A. L. T. G., … Haminiuk, C. W. I. (2016). Influence of pasteurization on

antioxidant and in vitro anti-proliferative effects of jambolan (Syzygium cumini (L.) Skeels) fruit pulp. *Industrial Crops and Products*, 89, 225–230.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa n° 06. Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileiras Ameaçadas de Extinção. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 set. 2008.

Brasil. Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, Ministério da Agricultura. 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.

Bravo, L. (1998). Polyphenols: Chemistry, Dietary Sources, Metabolism, and nutritional Significance. Nutrition Reviews, 56, 317–333.

Cantillano, R. F. F. Sistema de produção do morango**.** (2005). Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Morango/SistemaProdução Morango/cap12.htm. Acesso em: 11 jan 2016.

Cardoso, A. L., Pietro, P. F. Di, Vieira, F. G. K., Boaventura, B. C. B., de Liz, S., da Silva Campelo Borges, G., … da Silva, E. L. (2015). Acute consumption of juçara juice (Euterpe edulis) and antioxidant activity in healthy individuals. *Journal of Functional Foods*, 17, 152–162.

Carvalho, P. E. R. Espécies Arbóreas Brasileiras. (2003). Brasília – Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Floresta, 1, 1039.

Castañeda-Ovando, A., de Lourdes Pacheco-Hernández, M., Páez-Hernández, M. E., Rodríguez, J. A., & Galán-Vidal, C. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113, 859–871.

CEAGESP, 2006, "PBMH & PIF – Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura & Produção Integrada de Frutas". Normas de Classificação de Banana. São Paulo: CEAGESP, 2006. (Documentos, 29).

Cheirsilp, B., & Umsakul, K. (2008). Processing of banana-based wine product using pectinase and α-amylase. *Journal of Food Process Engineering*, 31, 78–90.

Chemat, F., Zill-E-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*,

18, 813–835.

Chen, J., Zhao, Y., Tao, X. yun, Zhang, M., & Sun, A. dong. (2015). Protective effect of blueberry anthocyanins in a CCL4-induced liver cell model. *LWT - Food Science and Technology*, 60, 1105–1112.

Chen, Y., Yu, L. J., & Rupasinghe, H. P. V. (2013). Effect of thermal and non-thermal pasteurisation on the microbial inactivation and phenolic degradation in fruit juice: a mini-review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 981–986.

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Fruticultura: Balanço 2016|Perspectivas 2017. Disponível em: http://www.cnabrasil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/10_fruticul tura.pdf

Corrêa, C. B., Cabral, L. M. C., Deliza, R., Matta, V. M. (2010). Obtenção de suco misto de açaí a partir da fração retida no processo de microfiltração. *Alimentos e Nutrição*, 21, 377-383.

Correa-Betanzo, J., Allen-Vercoe, E., McDonald, J., Schroeter, K., Corredig, M., & Paliyath, G. (2014). Stability and biological activity of wild blueberry (Vaccinium angustifolium) polyphenols during simulated in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 165, 522–531.

Dean, J. R., & Ma, R. (2007). Approaches to assess the oral bioaccessibility of persistent organic pollutants: A critical review. *Chemosphere*, 68, 1399–1407.

Dutra, A. de S., Furtado, A. A. L., Pacheco, S., & Oiano Neto, J. (2012). Efeito do tratamento térmico na concentração de carotenóides, compostos fenólicos, ácido ascóbico e capacidade antioxidante do suco de tangerina murcote. *Brazilian Journal of Food Technology*, 15, 198–207.

Edirisinghe, I., Banaszewski, K., Cappozzo, J., Sandhya, K., Ellis, C. L., Tadapaneni, R., … Burton-Freeman, B. M. (2011). Strawberry anthocyanin and its association with postprandial inflammation and insulin. *British Journal of Nutrition*, 106, 913– 922.

Engmann, F. N., Ma, Y., Tchabo, W., & Ma, H. (2015). Ultrasonication Treatment Effect on Anthocyanins, Color, Microorganisms and Enzyme Inactivation of

Mulberry (Moraceae nigra) Juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 854–862.

FAO (Food and Agriculture Organization od United Nations). FAOSTAT. FAO Statistics Division 2014. Disponível em: www.faostat.fao.org. Acesso em: 10 jan 2018.

Faraoni, A. S., Ramos, A. M., Guedes, D. B., Oliveira, A. do N., Lima, T. H. S. F. de, & Sousa, P. H. M. de. (2012). Desenvolvimento de um suco misto de manga, goiaba e acerola utilizando delineamento de misturas. *Ciência Rural*, 42, 911–917.

Fellows, P. J. Tecnologia do processamento de alimentos. Princípios e prática. (2006).2ª. Ed, Artmed, 602p.

Felzenszwalb, I., da Costa Marques, M. R., Mazzei, J. L., & Aiub, C. A. F. (2013). Toxicological evaluation of Euterpe edulis: A potential superfruit to be considered. *Food and Chemical Toxicology*, 58, 536–544.

Feng, H., Yang, W., & Hielscher, T. (2008). Power Ultrasound. *Food Science and Technology International*, 14, 433–436.

Freitas, D. D. G. C., & Mattietto, R. de A. (2013). Ideal sweetness of mixed juices from Amazon fruits. *Food Science and Technology*, 33, 148–154.

Galvano, F., La Fauci, L., Lazzarino, G., Fogliano, V., Ritieni, A., Ciappellano, S., … Galvano, G. (2004). Cyanidins: Metabolism and biological properties. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 15, 2–11.

Gava, A. J. Princípio de Tecnologia de Alimentos. (1998). São Paulo: Nobel, 1ª Ed., 242 p.

Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., & Battino, M. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28, 9–19.

Guerra, A., Etienne-Mesmin, L., Livrelli, V., Denis, S., Blanquet-Diot, S., & Alric, M. (2012). Relevance and challenges in modeling human gastric and small intestinal digestion. *Trends in Biotechnology*, 30, 591–600.

Guo, Q., Ye, A., Bellissimo, N., Singh, H., & Rousseau, D. (2017). Modulating fat

digestion through food structure design. *Progress in Lipid Research*, 68, 109–118.

Haminiuk, C. W. I., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S. V, & Peralta, R. M. (2012). Phenolic compounds in fruits - an overview. *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 2023–2044.

He, J., & Giusti, M. M. (2010). Anthocyanins: Natural Colorants with Health-Promoting Properties. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1, 163–187.

Heleno, S. A., Martins, A., Queiroz, M. J. R. P., & Ferreira, I. C. F. R. (2015). Bioactivity of phenolic acids: Metabolites versus parent compounds: A review. *Food Chemistry*, 173, 501–513.

Hur, S. J., Lim, B. O., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2011). In vitro human digestion models for food applications. *Food Chemistry*, 125, 1–12.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística POF – Pesquisa de Orçamentos Familiares. 2011. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 01/11/2016.

Ignat, I., Volf, I., & Popa, V. I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126, 1821–1835.

Jäger, A. K., & Saaby, L. (2011). Flavonoids and the CNS. *Molecules*, 16, 1471–1485.

Keenan, D. F., Brunton, N., Gormley, R., & Butler, F. (2011). Effects of thermal and high hydrostatic pressure processing and storage on the content of polyphenols and some quality attributes of fruit *smoothies*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 601–607.

Kong, J.-M., Chia, L.-S., Goh, N.-K., Chia, T.-F., & Brouillard, R. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*, 64, 923–933.

Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Morales, M. T., & Fett, R. (2006). Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. *Ciência Rural*, *36*, 1283–1287.

Liang, L., Wu, X., Zhao, T., Zhao, J., Li, F., Zou, Y., … Yang, L. (2012). In vitro bioaccessibility and antioxidant activity of anthocyanins from mulberry (Morus atropurpurea Roxb.) following simulated gastro-intestinal digestion. *Food*

Research International, 46, 76–82.

Liobikas, J., Skemiene, K., Trumbeckaite, S., & Borutaite, V. (2016). Anthocyanins in cardioprotection: A path through mitochondria. *Pharmacological Research*, 113, 808–815.

Liu, Y., Zhang, D., Wu, Y., Wang, D., Wei, Y., Wu, J., & Ji, B. (2014). Stability and absorption of anthocyanins from blueberries subjected to a simulated digestion process. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 65, 440–448.

Mazewski, C., Liang, K., & de Mejia, E. G. (2017). Inhibitory potential of anthocyanin-rich purple and red corn extracts on human colorectal cancer cell proliferation in vitro. Journal of Functional Foods, 34, 254–265.

McClements, D. J., & Li, Y. (2010). Review of in vitro digestion models for rapid screening of emulsion-based systems. *Food Function*, 1, 32–59.

Mesquita, K. S., Martins, G. A. D. S., Calheiros, C. A.,…Ferrua, F. Q. (2009). Elaboração, caracterização química e avaliação sensorial de néctares de bananas das variedades prata, nanica e marmelo. *Alimentos e Nutrição*, 20, 451–455

Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., … Brodkorb, A. (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable for food - an international consensus. *Food Function*, 5, 1113–1124.

Moreira, R. M., Martins, M. L., de Castro Leite Júnior, B. R., Martins, E. M. F., Ramos, A. M., Cristianini, M., … de Souza Pereira, D. C. (2017). Development of a juçara and Ubá mango juice mixture with added Lactobacillus rhamnosus GG processed by high pressure. *{LWT} - Food Science and Technology*, 77, 259–268.

Naczk, M., & Shahidi, F. (2006). Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41, 1523–1542.

Nijveldt, R. (2001). Flavonoids: a review of probable mechanism of action and potential applications. *Am J Clin Nutr*, 74, 418–425.

Nowicka, P., Wojdyło, A., & Samoticha, J. (2016). Evaluation of phytochemicals, antioxidant capacity, and antidiabetic activity of novel *smoothies* from selected Prunus fruits. *Journal of Functional Foods*, 25, 397–407.

Oliveira, M. I. S., Tonon, R. V., Nogueira, R. I., & Cabral, L. M. C. (2013). Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. *Brazilian Journal of Food Technology*, 16, 310–318.

Oliveira, E. A. De, Borges, S. V., Furtado, Â. A. L., Modesta, R. C. Della, & Godoy, R. D. O. (2011). Heat processing (HTST) of umbu (Spondias tuberosa Arruda Câmara) pulp. *Ciência E Tecnologia de Alimentos*, 31, 923–928.

Palafox-Carlos, H., Ayala-Zavala, J. F., & González-Aguilar, G. A. (2011). The Role of Dietary Fiber in the Bioaccessibility and Bioavailability of Fruit and Vegetable Antioxidants. Journal of Food Science, 76, R6–R15.

Pereira, A. C. S., Siqueira, A. M. A., Farias, J. M., Maia, G. A., Figueiredo, R. W., Sousa, P. H. M. (2009). Desenvolvimento de bebida mista à base de água de coco, polpa de abacaxi e acerola. *Archivos Latinoamericanos De Nutricion*, 59, 441-447.

Pereira, A. C. S., Dionísio, A. P., Wurlitzer, N. J., Alves, R. E., de Brito, E. S., de Oliveira e Silva, A. M., … Filho, J. M. (2014). Effect of antioxidant potential of tropical fruit juices on antioxidant enzyme profiles and lipid peroxidation in rats. *Food Chemistry*, 157, 179–185.

Qin, Y., Xia, M., Ma, J., Hao, Y., Liu, J., Mou, H., … Ling, W. (2009). Anthocyanin supplementation improves serum LDL- and HDL-cholesterol concentrations associated with the inhibition of cholesteryl ester transfer protein in dyslipidemic subjects1–4. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 90, 485–492.

Raffa, D., Maggio, B., Raimondi, M. V., Plescia, F., & Daidone, G. (2017). Recent discoveries of anticancer flavonoids. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 142, 213–228.

Robbins, R. J. (2003). Phenolic Acids in Foods: An Overview of Analytical Methodology. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 2866–2887.

Rodrigues, S. L. C., Moreira, R. L. de S., Cardoso, M. H., & Merçon, F. (2003). Parameters evaluation in banana juice ultrafiltration. *Food Science and Technology*, *23*, 98–101.

Rufino, M. do S. M., Alves, R. E., de Brito, E. S., Pérez-Jiménez, J., Saura-Calixto, F.,

& Mancini-Filho, J. (2010). Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 121, 996–1002.

Sadilova, E., Carle, R., & Stintzing, F. C. (2007). Thermal degradation of anthocyanins and its impact on color and in vitro antioxidant capacity, 1461–1471.

Sadowska-Bartosz, I., Adamczyk, R., & Bartosz, G. (2014). Protection against peroxynitrite reactions by flavonoids. *Food Chemistry*, 164, 228–233.

Sancho, R. A. S., & Pastore, G. M. (2012). Evaluation of the effects of anthocyanins in type 2 diabetes. *Food Research International*, 46, 378–386.

Schulz, M., Borges, G. da S. C., Gonzaga, L. V., Seraglio, S. K. T., Olivo, I. S., Azevedo, M. S., … Fett, R. (2015). Chemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of juçara fruit (Euterpe edulis Martius) during ripening. *Food Research International*, *77*, 125–131.

Schulz, M., da Silva Campelo Borges, G., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Juçara fruit (Euterpe edulis Mart.): Sustainable exploitation of a source of bioactive compounds. *Food Research International*, 89, 14–26.

Shani-Levi, C., Alvito, P., Andrés, A., Assunção, R., Barberá, R., Blanquet-Diot, S., … Lesmes, U. (2017). Extending in vitro digestion models to specific human populations: Perspectives, practical tools and bio-relevant information. *Trends in Food Science & Technology*, 60, 52–63.

Silva, P. P. M., Casemiro, R. C., Zillo, R. R., de Camargo, A. C., Prospero, E. T. P., & Spoto, M. H. F. (2014). Sensory descriptive quantitative analysis of unpasteurized and pasteurized juçara pulp (Euterpe edulis) during long-term storage. *Food Science & Nutrition*, 2, 321–331.

Sinela, A., Rawat, N., Mertz, C., Achir, N., Fulcrand, H., & Dornier, M. (2017). Anthocyanins degradation during storage of Hibiscus sabdariffa extract and evolution of its degradation products. *Food Chemistry*, 214, 234–241.

Song, Y., Wu, T., Yang, Q., Chen, X., Wang, M., Wang, Y., … Ou, S. (2014). Ferulic acid alleviates the symptoms of diabetes in obese rats. *Journal of Functional Foods*, 9, 141–147.

Sui, X., Dong, X., & Zhou, W. (2014). Combined effect of pH and high temperature on

the stability and antioxidant capacity of two anthocyanins in aqueous solution. *Food Chemistry*, 163, 163–170.

Sun, D., Huang, S., Cai, S., Cao, J., & Han, P. (2015). Digestion property and synergistic effect on biological activity of purple rice (Oryza sativa L.) anthocyanins subjected to a simulated gastrointestinal digestion in vitro. *Food Research International*, 78, 114–123.

TACO - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos TACO. 4 ed. rev. ampl. Campinas: NEPA / UNICAMP, p.161, 2011.

Tiwari, B. K., & Mason, T. J. (2012). Chapter 6 - Ultrasound Processing of Fluid Foods. In P. J. Cullen, B. K. Tiwari, & V. P. Valdramidis (Eds.), *Novel Thermal and Non- Thermal Technologies for Fluid Foods*, pp. 135–165, San Diego: Academic Press.

Verma, S., Singh, A., & Mishra, A. (2013). Gallic acid: Molecular rival of cancer. Environmental Toxicology and Pharmacology, 35, 473–485.

Yuyama, L. K. O., Aguiar, J. P. L., Filho, D. F. S., Yuyama, K., Varejão, M. J., Fávaro, D. I. T., Vasconcellos, M. B., Pimentel, S. A., Caruso, M. S. F. (2011). Caracterização físico-química do suco de açaí *Euterpe precatoria* Mart. oriundo de diferentes ecossistemas amazônicos. Acta Amazônica, 41, 545-552.

Walkling-Ribeiro, M., Noci, F., Cronin, D. A., Lyng, J. G., & Morgan, D. J. (2010). Shelf life and sensory attributes of a fruit *smoothie*-type beverage processed with moderate heat and pulsed electric fields. *LWT - Food Science and Technology*, 43, 1067–1073.

Xie, C., Kang, J., Burris, R., Ferguson, M. E., Schauss, A. G., Nagarajan, S., & Wu, X. (2018). Açaí juice attenuates atherosclerosis in ApoE deficient mice through antioxidant and anti-inflammatory activities. *Atherosclerosis*, 216, 327–333.

Zhu, X., Xiong, L., Zhang, X., Shi, N., Zhang, Y., Ke, J., … Chen, T. (2015). Lyophilized strawberries prevent 7,12-dimethylbenz[α]anthracene (DMBA)-induced oral squamous cell carcinogenesis in hamsters. *Journal of Functional Foods*, 15, 476–486.

Zinoviadou, K. G., Galanakis, C. M., Brnčić, M., Grimi, N., Boussetta, N., Mota, M. J.,

… Barba, F. J. (2015). Fruit juice sonication: Implications on food safety and physicochemical and nutritional properties. *Food Research International*, 77, 743– 752.

3. AVALIAÇÃO SENSORIAL E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE COMO PARÂMETROS DE QUALIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE UM *SMOOTHIE* DE JUÇARA, BANANA E MORANGO

RESUMO

No presente estudo foi desenvolvido um *smoothie* de juçara, banana e morango por meio de um planejamento de mistura. Fixando-se a quantidade de juçara (20%), avaliou-se a proporção entre as quantidades de banana e morango, visando otimizar os atributos sensoriais e a capacidade antioxidante do produto final. Das cinco formulações obtidas, apenas a formulação com maior percentual de polpa de morango (60%) foi rejeitada, o que, possivelmente, se deve à menor quantidade de açúcar aliada à maior acidez da amostra. De modo geral, os provadores optaram pelas formulações mais doces, ou seja, aquelas com maior percentual de polpa de banana. Para o atributo consistência, a formulação mais aceita foi a elaborada com proporções iguais de polpa de banana e de morango, que conferiram uma melhor fluidez ao produto. Além disso, essa amostra apresentou valores intermediários de capacidade antioxidante (74 µmol Trolox.g^{-1}) e compostos fenólicos (1703 mg de ácido gálico.100 g^{-1}), bem como características físico-químicas desejáveis. Assim, apesar de terem sido obtidas quatro formulações com boa aceitação sensorial, utilizando-se a função desejabilidade, que considerou as características sensoriais e a capacidade antioxidante, destacou-se a formulação contendo quantidades iguais de polpas de banana e de morango (40%).

Palavras-chaves: planejamento de mistura; *Euterpe edulis*; aceitação sensorial; antocianinas; suco misto.

3.1. INTRODUÇÃO

Com o aumento de doenças crônicas relacionadas a hábitos alimentares inadequados, como o consumo crescente de alimentos com alta densidade energética que, muitas vezes, está associado a um estilo de vida sedentário, constata-se a necessidade de disponibilizar aos consumidores alimentos mais saudáveis, como forma de reduzir os impactos negativos associados ao consumo de produtos com baixa qualidade nutricional (FONT-BURGADA et al., 2016; MOUBARAC et al., 2017; MOREIRA et al., 2017).

Os produtos elaborados com frutas, em especial aqueles sem açúcar de adição, como os desidratados e sucos integrais, podem colaborar para uma dieta mais saudável. Uma pesquisa recente mostrou que o mercado de sucos e néctares de frutas apresentou um crescimento importante no Brasil (ABIR, 2016). Apesar deste crescimento, o consumo, no país, de sucos com maiores teores de frutas ainda é baixo, indicando que há muito espaço para a expansão desse mercado e, em particular, para os sucos elaborados com matérias-primas da diversidade de fruteiras que o Brasil dispõe.

O suco misto que, de acordo com a legislação brasileira (BRASIL, 2009), é o produto obtido pela mistura de frutas, combinação de fruta e hortaliça, combinação das partes comestíveis de hortaliças ou mistura de suco de fruta e hortaliça, apresenta-se como opção de alimentação saudável, por conter vitaminas e oligoelementos essenciais ao metabolismo humano, bem como uma alternativa para agregar valor às frutas nativas pouco exploradas.

Os *smoothies* se enquadram no contexto dos sucos mistos, pois são elaborados principalmente com frutas, e o desenvolvimento deste tipo de produto apresenta vantagens como a disponibilidade de frutas fora do seu período de safra e correção da alta acidez e do baixo teor de sólidos solúveis que alguns frutos apresentam, permitindo a elaboração de produtos com maior aceitação sensorial, além do incremento dos teores de compostos bioativos. Estas características, de produtos ricos em nutrientes e substâncias bioativas, além de prontos para o consumo, atendem a demandas importantes para o consumidor, como saudabilidade e praticidade (BHARDWAJ; PANDEY, 2011; NUNES et al., 2016).

Entre os compostos bioativos, muitos têm sido relacionados com a redução do

risco de desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis. Uma classe muito explorada neste contexto são os compostos fenólicos. Estes são metabólitos secundários encontrados em todo o reino vegetal e, em alguns casos, responsáveis pela coloração das frutas (HAMINIUK et al., 2012).

As antocianinas, uma subclasse do grupo dos compostos fenólicos, são pigmentos responsáveis pela coloração nas plantas que vai do vermelho ao azul, e são encontradas em diversas frutas. Estudos têm ressaltado o poder antioxidante desta substância, sendo sua ação devida, principalmente, à presença de hidroxilas em sua estrutura (LIOBIKAS et al., 2016).

A juçara *(Euterpe edulis* Martius), palmeira típica da Mata Atlântica brasileira, produz frutos ricos em compostos potencialmente antioxidantes, como as antocianinas (BICUDO; RIBANI; BETA et al., 2014; SCHULZ et al., 2015).

O Brasil tem uma grande diversidade de frutas que são ricas em compostos bioativos, como açaí, jambolão, jabuticaba e juçara, que contém quantidades relevantes de antocianinas. No entanto, algumas frutas são ainda pouco exploradas devido à sua produção extrativista, alta perecabilidade e algumas características sensoriais indesejáveis (PAIM et al., 2016; PEIXOTO et al., 2016).

Apesar de, no mercado brasileiro, produtos que contêm teores elevados de polpa de juçara, ou de açaí serem bem aceitos, o mesmo comportamento não se verifica no mercado externo. O estudo realizado por Sabbe et al. (2009) é um exemplo da influência do percentual de polpa de açaí na aceitação sensorial de sucos mistos. Os autores constataram que os produtos formulados com menor concentração da polpa (4 e 5%) obtiveram melhores notas para aceitação global, diferenciando-se, estatisticamente, do produto formulado com elevado teor de polpa de açaí (40%). Entre as explicações para esta rejeição, os autores destacaram a maior doçura nos produtos formulados com menos polpa de açaí, bem como o aroma, considerado desagradável nos produtos com maior percentual da polpa do fruto.

Assim, a polpa integral de juçara é um ingrediente potencial para novas formulações, atuando tanto como um corante natural quanto favorecendo os níveis de antioxidantes do *smoothie*, sendo, porém, essencial se levar em conta a aceitação sensorial dos produtos formulados.

Neste contexto, visando à elaboração de um *smoothie* que reúna características de interesse para o mercado consumidor de alimentos saudáveis e que contribua para agregar valor à cadeia agroindustrial da juçara, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um produto à base de juçara, banana e morango, com aceitação sensorial e teores relevantes de compostos bioativos, utilizando um planejamento de mistura.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Matérias-primas

Para a realização deste trabalho foram utilizadas polpas comerciais de morango e juçara, congeladas e não pasteurizadas, das marcas Sempre Viva e Juçaí, respectivamente, sendo a polpa de morango adquirida no comércio local da cidade do Rio de Janeiro e a polpa de juçara adquirida diretamente da indústria de polpa, localizada na Serrinha do Alambari, Rio de Janeiro. Ambas as polpas foram transportadas congeladas para o laboratório da Embrapa Agroindústria de Alimentos, no Rio de Janeiro.

A polpa de juçara foi centrifugada em centrífuga de cestos com malha de nylon de 150 µm (Centrifuga IEC - Model K7165, EUA), a fim de remover os sólidos em suspensão provenientes do despolpamento e reduzir a fração lipídica, uma vez que esta compromete a qualidade do produto, podendo levar ao desenvolvimento de rancidez pela oxidação dessa fração.

A polpa de banana foi obtida pelo despolpamento dos frutos da variedade nanica em despolpadeira horizontal (Itametal, Brasil) provida de peneira inox de 1,5 mm e pás de polietileno. Para o despolpamento foram utilizadas bananas em estádio de maturação classificado como 6, ou seja, casca totalmente amarela, conforme escala de maturação descrita por Aurore, Parfait e Fahrasmane (2009).

As polpas foram escolhidas considerando-se a contribuição de cada uma para a obtenção de um produto sem adição de açúcar. Logo, a polpa de banana foi utilizada por conferir doçura ao produto, a polpa de juçara por enriquecer o produto com compostos fenólicos, em especial as antocianinas e a polpa de morango por balancear o pH da mistura, diminuindo a possibilidade de crescimento microbiano. Além destas características, é importante ressaltar que a banana e o morango são frutas com excelente aceitação sensorial, o que facilita o desenvolvimento de novos produtos.

Todas as polpas foram armazenadas sob congelamento a -18 °C até o momento de realização dos experimentos. As polpas comerciais foram armazenadas considerando a data de validade recomendada pelos produtores. No caso da banana, a polpa foi armazenada sob congelamento por um período máximo de um mês.

3.2.2. Caracterização das polpas

As polpas foram avaliadas quanto às suas características físico-químicas (sólidos totais, pH, sólidos solúveis, acidez e cor instrumental), compostos bioativos (compostos fenólicos totais, antocianinas monoméricas totais) e capacidade antioxidante.

3.2.3. Formulação dos *smoothies*

Para selecionar a melhor formulação utilizou-se um planejamento de mistura do tipo simplex-centroide (Tabela 3.1), no qual se fixou o percentual de polpa de juçara (20%) e variaram-se os percentuais de polpa de banana e de morango, em função de resultados obtidos em testes preliminares. Como respostas, foram avaliadas a aceitação sensorial, a cor instrumental, os compostos fenólicos totais, as antocianinas monoméricas totais, a capacidade antioxidante e as características físico-químicas (pH, sólidos solúveis e acidez) dos *smoothies* formulados.

Tabela 3.1 - Delineamento experimental para a formulação do *smoothie* de juçara, banana e morango.

Formulação	Polpa de Banana %	Polpa de Morango %
1	20	60
2	60	20
3	40	40
4	30	50
5	50	30

Percentual de polpa de juçara na formulação: 20%.

A elaboração dos *smoothies* foi feita pela mistura das três polpas de frutas, sem adição de açúcar, seguida de uniformização em liquidificador industrial e pasteurização em trocador de calor de superfície raspada (FT25D, Armfield, Inglaterra) a 90 °C por 35 s nas condições descritas por Mattietto, Gomes e Matta, (2014), considerando-se a similaridade do açaí com a juçara.

3.2.4. Métodos analíticos

3.2.4.1. Análise sensorial

O teste de aceitação foi realizado com 100 provadores adultos não treinados, de ambos os sexos, selecionados entre estagiários e funcionários da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro. Todos os avaliadores eram potenciais consumidores de bebidas de frutas.

Para cada amostra de *smoothie*, os provadores avaliaram a aceitação global, relativa à primeira impressão causada pelo produto como um todo (aparência, aroma, cor, sabor) e a consistência dos produtos. A aceitação global e a consistência foram medidas por meio de uma escala hedônica estruturada de 9 pontos (9 = gostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 1 = desgostei extremamente) (MEILGAARD et al., 1999).

As amostras foram servidas, monadicamente, em copos plásticos brancos com 50 mL de capacidade, codificados com algarismos de três dígitos à temperatura de refrigeração em cabines individuais, sob luz branca.

Esta etapa do projeto foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos/RJ ligado ao Hospital Universitário Clementino Fraga Filho/HUCFF/UFRJ, protocolada sob n° 17796813.0.00005257.

3.2.4.2. Compostos fenólicos totais

A determinação dos compostos fenólicos totais (CFT) foi realizada por espectrofotometria, utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu (Merck®, Alemanha), de acordo com o método de Singleton e Rossi (1965). Os compostos fenólicos foram extraídos em acetona 70% por 30 minutos sob agitação. Após a filtração os extratos foram diluídos (1:10) com água destilada e usados na quantificação. O ácido gálico, padrão analítico, foi utilizado como referência, sendo os resultados expressos em mg de ácido gálico equivalente por 100 g de amostra.

3.2.4.3. Antocianinas monoméricas totais

As antocianinas monoméricas totais (AMT) foram quantificadas pelo método do pH diferencial (GIUSTI; WROLSTAD, 2001), utilizando a cianidina-3-glucosídeo como referência, tendo coeficiente de extinção molar de 26.900 $M^{-1}cm^{-1}$ e massa

molecular de 449,2 g.gmol^{-1}. Os extratos obtidos foram diluídos em tampão pH 1,0 e pH 4,5, separadamente, e após 30 minutos de estabilização as absorvâncias das soluções foram lidas a 510 e 700 nm.

3.2.4.4. Capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante (CA) foi determinada pelo método de redução do radical ABTS+•, de acordo com Re et al. (1999) e os resultados foram expressos em µmol de Trolox por grama de amostra. Para tal, as amostras foram extraídas, primeiramente, com metanol 50% por 1 hora, seguido de centrifugação para a separação do sobrenadante. O precipitado foi novamente extraído com acetona 70% nas mesmas condições citadas anteriormente (RUFINO et al., 2007). Os extratos foram combinados e adicionados de água destilada para completar o volume de 25 mL. A determinação da capacidade foi obtida por meio da reação de 30 µL de extrato da amostra com 3 mL de ABTS•+, sendo a absorvância medida a 734 nm após 6 minutos.

3.2.4.5. Cor instrumental

A análise instrumental de cor foi realizada em colorímetro (ColorQuest XE, Hunterlab) utilizando o sistema CIELab/CIELCH de coordenadas L*, a*, b* e ângulo Hue (Hº) com abertura de 0,375 mm de diâmetro, com iluminante D65/10 (FERREIRA, 1981), onde L* = luminosidade (0 = preto e 100 = branco); a* (-80 até zero = verde, do zero ao +100 = vermelho); b* (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo); H° ângulo Hue = arctan (b*/a*).

3.2.4.6. pH, acidez titulável, sólidos totais e sólidos solúveis

As determinações foram realizadas seguindo as metodologias propostas pela AOAC (2000). Para pH e acidez titulável foi utilizado um titulador automático 785 DMP Titrino (Metrohm). A determinação de sólidos totais foi realizada por gravimetria em estufa a vácuo (70 °C) e de sólidos solúveis em refratômetro digital portátil (Pal-3, Atago).

3.2.5. Análise dos dados

Os resultados analíticos da avaliação das polpas e *smoothies* formulados neste trabalho foram expressos por meio da média e desvio-padrão de determinações realizadas em triplicata. A estimativa da melhor formulação baseou-se na técnica de otimização simultânea das variáveis independentes (desejabilidade), por meio da análise

de variância (ANOVA), utilizando-se o intervalo de confiança de 95% no *software Statistica* 7.0.

A função desejabilidade se baseia em converter cada variável resposta, neste caso as respostas utilizadas foram a aceitação global, consistência e a capacidade antioxidante, em uma função de desejabilidade individual com valores restritos ao intervalo (0 a 1), no qual o valor 0 corresponde a uma resposta indesejável e o valor 1 a uma resposta desejável, também avaliada pelo *software Statistica* 7.0.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Caracterização das polpas

As principais características das matérias-primas estão apresentadas na Tabela 3.2. Como esperado, a polpa de banana apresentou o maior conteúdo de sólidos solúveis, o que está diretamente relacionado com a concentração de açúcar na mesma, uma vez que esta apresentou baixa acidez. Isto confirma que a banana pode ser uma fonte potencial de açúcares para o desenvolvimento de produtos isentos de açúcar de adição.

A polpa de juçara destacou-se pelo maior teor de compostos fenólicos e, consequentemente, maior capacidade antioxidante, atribuída, principalmente, ao elevado conteúdo de antocianinas, representadas, majoritariamente, pela cianidina-3-glicosídeo (MOREIRA et al., 2017).

A polpa de morango, dentre as utilizadas neste trabalho, apresentou conteúdo intermediário de compostos fenólicos e destacou-se pelo pH ácido, característico, também reportado por Oliveira et al. (2013). Estas características da polpa de morango são importantes no desenvolvimento de *smoothies*, pois contribuem para a conservação microbiológica do produto, uma vez que reduzem o pH da mistura, atuando como uma barreira para o crescimento microbiano. Além disso, a combinação em proporções adequadas da acidez com outros atributos sensoriais contribuiu para equilibrar o sabor dos *smoothies*, o que impacta significativamente na sua aceitação.

Os parâmetros de cor a* e b* indicam a intensidade das cores vermelha e amarela, respectivamente. Observa-se que o parâmetro a*, tanto para a polpa de morango quanto para a polpa de juçara, localiza-se na faixa que compreende a cor vermelha (positiva), sendo a intensidade de vermelho maior na polpa de morango. Já a

polpa de banana apresentou coloração levemente amarela, uma vez que a intensidade do parâmetro b* ficou próximo de zero. A luminosidade (L*) foi maior na polpa de banana e menor na polpa de juçara, em função da tonalidade característica das mesmas.

Tabela 3.2 - Características físico-químicas, compostos bioativos, capacidade antioxidante e cor instrumental das polpas de banana, morango e juçara.

Parâmetro	Polpa de banana	Polpa de morango	Polpa de juçara
pH	4,90 ± 0,01	3,71 ± 0,01	4,61 ± 0,02
Sólidos solúveis (°Brix)	23,1 ± 0,1	5,5 ± 0,2	5,0 ± 0,1
Acidez (g.100 g^{-1})[1]	0,27 ± 0,01	0,58 ± 0,01	0,23 ± 0,01
Sólidos totais (%)	22,6 ± 0,6	5,8 ± 0,1	9,4 ± 0,4
CFT (mg.100 g^{-1})[2]	28 ± 2	223 ± 12	860 ± 9
AMT (mg.100 g^{-1})[3]	nr	10,1 ± 0,1	240 ± 1
CA (µmol Trolox.g^{-1})	0,50 ± 0,04	10,0 ± 0,3	43 ± 2
a*	2,2 ± 0,2	10,8 ± 0,5	2,1 ± 0,1
b*	6,1 ± 0,3	-0,12 ± 0,04	-1,08 ± 0,03
L*	41,8 ± 0,8	36,3 ± 0,5	29,9 ± 0,1
H°	70 ± 2	359 ± 1	332 ± 1

Resultados em base úmida expressos como média ± desvio padrão. [1]Expresso em ácido cítrico. [2]Expresso em ácido gálico. [3]Expresso em cianidina-3-glicosídeo. CFT – Compostos fenólicos totais, AMT – Antocianinas monoméricas totais, CA- Capacidade antioxidante, nr não realizado. a* Intensidade de vermelho. b* Intensidade de amarelo. L* Luminosidade. H° Ângulo Hue.

O parâmetro Hº (ângulo Hue) pertence ao sistema de cor CIELcH que utiliza coordenadas cilíndricas ao invés de coordenadas cartesianas. Neste sistema, Hº se refere diretamente à cor da amostra, sendo um parâmetro importante para a avaliação de produtos e processos no qual tem-se que 0º é +a* (vermelho), 90º é +b* (amarelo), 180º é -a* (verde), e 270º é -b* (azul). Desta forma, quanto mais próximo de 0º for seu valor, mais próximo de vermelho é a coloração observada (MINOLTA, 1991; LAWLESS; HEYMANN, 1999). Assim, também para este parâmetro, observa-se a predominância da cor vermelha para a polpa de morango. Já para a polpa de juçara, o valor observado situa-se na faixa entre o violeta e vermelho púrpura. E, como esperado, a coloração amarela para a polpa de banana, como já observado pelo sistema CIELab.

3.3.2. Avaliação sensorial

A partir dos dados da avaliação sensorial (Tabela 3.3) observa-se que, exceto a formulação 1, as demais formulações receberam nota de aceitação global superior a 5, o que caracteriza aceitação das mesmas. A baixa aceitação da formulação 1 pode estar associada à maior concentração de polpa de morango na mesma, causando um consequente aumento na sua acidez. De modo geral, as notas aumentaram com o aumento do percentual de polpa de banana, sendo a mais aceita a formulação 2. O gráfico de Pareto (Figura 3.1) confirma esta tendência, pois mostra o maior efeito da polpa de banana sobre a aceitação dos produtos formulados. Como já discutido, a polpa de banana é a principal responsável pela doçura do *smoothie*, fato que explica a maior nota atribuída à formulação 2.

Tabela 3.3 - Aceitação sensorial das diferentes formulações do *smoothie* de juçara, banana e morango.

Formulação	Notas	
	Aceitação global	Consistência
1	5 ± 2	6 ± 2
2	7 ± 2	6 ± 2
3	6 ± 2	7 ± 2
4	6 ± 2	6 ± 2
5	7 ± 2	7 ± 2

Resultados expressos como média ± desvio padrão.

Os teores das polpas de banana e de morango apresentaram efeito significativo na consistência do produto. A formulação 3, contendo quantidades iguais de polpa de morango e de banana, apresentou a maior nota (6,77) para este atributo (Tabela 3.3). A combinação das polpas nesta proporção conferiu uma fluidez desejada à formulação, aumentando sua aceitação sensorial.

Pontes et al. (2010), ao avaliarem a aceitação de sucos de uva comerciais no Brasil, reportaram perfil semelhante ao observado neste trabalho, onde as amostras com maior intensidade do atributo doçura foram as mais aceitas pelos avaliadores. O mesmo comportamento foi observado por Rødbotten et al. (2009) ao avaliarem a aceitação de sucos de maçã com diferentes concentrações de açúcar de adição. O teste foi realizado na Noruega e na Espanha, e, em ambos os países, observou-se maior aceitação pelas

amostras com maior teor de açúcar. No presente trabalho, a doçura do *smoothie* se deve apenas à presença dos açúcares contidos nas polpas, em particular na polpa de banana. Assim, o *smoothie* formulado pode vir a ser uma alternativa para uma alimentação mais saudável, pelo fato de ser isento de açúcar de adição.

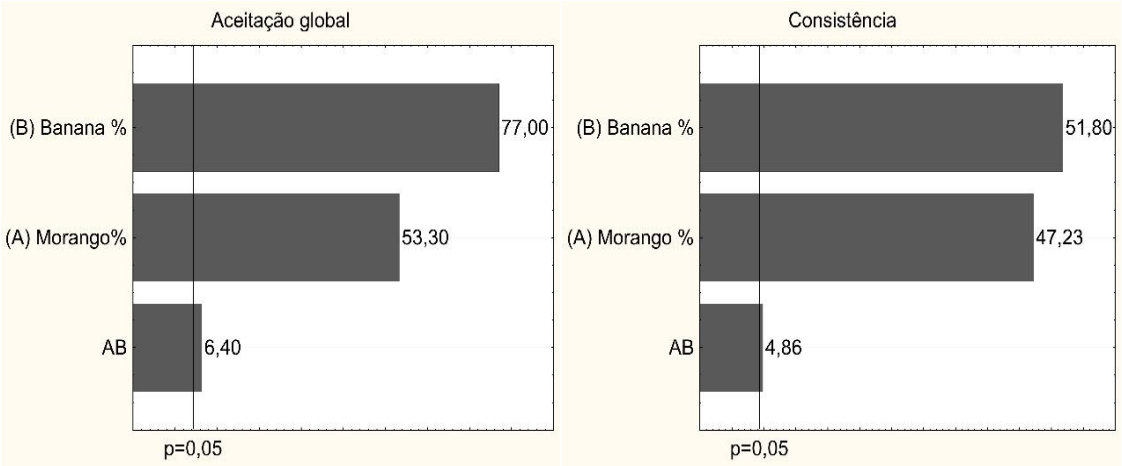


Figura 3.1 - Influencia do percentual de polpa de banana e de morango na aceitação global e consistência do *smoothie*.

3.3.3. Compostos bioativos e capacidade antioxidante

Os resultados para os compostos fenólicos e para a capacidade antioxidante dos *smoothies* estão apresentados na Tabela 3.4. Uma correlação positiva foi observada entre estas variáveis dependentes ($r = 0,998$, $p<0,05$), ou seja, quando se aumentou o teor de compostos fenólicos na formulação, houve também aumento na capacidade antioxidante do produto, o que confirma a correlação positiva entre os compostos fenólicos e a capacidade antioxidante de vegetais (JACOBO-VELÁZQUEZ; CISNEROS-ZEVALLOS, 2009). Como visto anteriormente, a polpa de juçara apresenta maior concentração em compostos fenólicos e antocianinas entre as polpas avaliadas, contribuindo para o maior teor destes nos produtos. Entretanto, constatou-se uma contribuição significativa, cerca de três vezes, do percentual de polpa de morango sobre a capacidade antioxidante se comparado ao percentual de polpa de banana (Figura 3.2), o que já era esperado, visto que a polpa de banana apresentou o menor teor de compostos fenólicos (Tabela 3.4).

Com relação ao teor de compostos fenólicos, que está diretamente relacionado à capacidade antioxidante, destaca-se a formulação 1. No entanto, esta formulação foi

rejeitada sensorialmente, provavelmente por ser a menos doce e a mais ácida.

Tabela 3.4 - Compostos bioativos e capacidade antioxidante das formulações do *smoothie* de juçara, banana e morango.

Formulação	Compostos bioativos*		
	CFT[1] (mg.100 g^{-1})	AMT[2] (mg .100 g^{-1})	CA (µmol Trolox.g^{-1})
1	3448 ± 150	498 ± 3	146 ± 9
2	1310 ± 43	169 ± 1	55 ± 2
3	1703 ± 36	262 ± 4	74 ± 4
4	2527 ± 85	369 ± 2	104 ± 8
5	1628 ± 33	224 ± 1	71 ± 6

*Resultados em base seca expressos como média ± desvio padrão; CFT (Compostos fenólicos totais); AMT (Antocianinas Monoméricas Totais); CA (Capacidade antioxidante).[1]ácido gálico equivalente; [2]cianidina-3-glicosídeo.

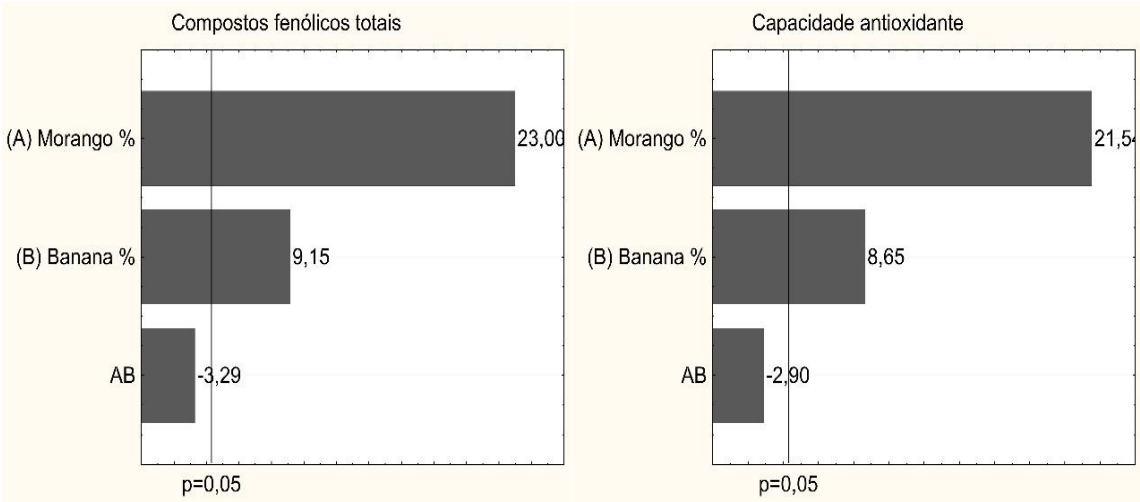


Figura 3.2 - Influencia do percentual de polpa de banana e morango nos compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante dos *smoothies* formulados.

Com relação à contribuição dos compostos fenólicos à saúde, sabe-se que a ingestão destes é recomendada, uma vez que têm sido relacionados com a redução do risco da incidência de doenças crônicas não transmissíveis como síndrome metabólica e câncer (NORBERTO et al., 2013; VERMA et al., 2013). As antocianinas, em especial, apresentam-se como agente anti-inflamatório e antioxidante (CARVALHO et al., 2015), além de outros efeitos protetores ao organismo humano. Isto justifica ainda mais a

utilização de frutas ricas nestes compostos para o desenvolvimento de novos produtos, pois contribui tanto para a valorização das mesmas quanto para uma alimentação mais saudável.

Uma funcionalidade tecnológica do uso de polpas de frutas ricas em antocianinas, como a juçara, é a possibilidade de não se utilizar corantes artificiais na elaboração de produtos. Sua coloração intensa e característica gera produtos atrativos tanto do ponto de vista sensorial quanto de saúde, uma vez que os corantes artificiais estão relacionados com a incidência de doenças alérgicas (BRASIL, 2007) e ao desenvolvimento do transtorno de *déficit* de atenção e hiperatividade em crianças, além de dermatite atópica, toxicidade hepática, entre outros (VOJDANI; VOJDANI, 2015).

3.3.4. Cor instrumental

Verifica-se, entre os parâmetros de cor avaliados (Tabela 3.5), que a luminosidade das amostras se situou entre 27 e 31, valores baixos, como era de se esperar, em função das cores características das matérias-primas juçara e morango.

Com relação ao ângulo Hue (H°), os valores situaram-se na faixa que compreende a cor vermelha, apresentando pequena variação entre as formulações. Isto indica pouca influência do percentual de polpa de banana na cor final dos produtos, sobressaindo-se as cores das polpas de morango e juçara.

Tabela 3.5 - Parâmetros de cor das formulações do *smoothie* de juçara, banana e morango.

Formulação	Parâmetros de cor instrumental		
	L*	H°	C*
1	30,2 ± 0,2	355,3 ± 0,1	4,9 ± 0,1
2	27,4 ± 0,2	356,0 ± 0,2	4,6 ± 0,4
3	31,0 ± 0,2	355,2 ± 0,7	4,7 ± 0,1
4	29,1 ± 0,3	354,8 ± 0,4	5,6 ± 0,2
5	31,0 ± 0,2	355,3 ± 0,5	4,1 ± 0,2

Resultados expressos como média ± desvio padrão. C* croma. L* luminosidade. H° ângulo Hue.

Com relação à intensidade da cor (C*), esta foi maior nas formulações com maior quantidade de morango (formulações 1 e 4). No entanto, como nos demais parâmetros de cor, observou-se também pouca variação deste nas formulações

avaliadas. Considerando-se a cor instrumental, verificou-se que a combinação das polpas de morango e juçara com a polpa de banana favoreceu visualmente os produtos formulados.

3.3.5. Características físico-químicas

As formulações apresentaram pH ácido, abaixo de 4,35 (Tabela 3.6), o que se constitui em uma barreira para o crescimento microbiano. A contribuição do pH ácido para a estabilidade microbiológica de sucos de frutas foi reportada por Wang et al. (2016) e Fevrier et al. (2016).

Além disso, os *smoothies* foram pasteurizados, o que também assegura a qualidade microbiológica e sensorial dos produtos por reduzir a carga microbiana inicial e inativar as enzimas oxidativas pelo uso do calor (SANTHIRASEGARAM et al., 2014).

Como discutido anteriormente, os teores de sólidos solúveis das amostras confirmam a contribuição da polpa de banana para a doçura das formulações e, como esperado, este teor foi menor na formulação com maior quantidade de polpa de morango (formulação 1), o que, juntamente com a maior acidez, possivelmente resultou na rejeição da amostra.

Tabela 3.6 - Características físico-químicas das formulações do *smoothie* de juçara, banana e morango.

Formulação	Características físico-químicas		
	pH	Sólidos solúveis (°Brix)	Acidez (g.100 g^{-1})
1	3,92 ± 0,01	8,6 ± 0,1	0,45 ± 0,00
2	4,32 ± 0,01	15,4 ± 0,1	0,36 ± 0,00
3	4,11 ± 0,01	12,1 ± 0,1	0,41 ± 0,00
4	4,04 ± 0,06	10,6 ± 0,1	0,43 ± 0,00
5	4,20 ± 0,02	13,9 ± 0,1	0,38 ± 0,00

Resultados expressos como média ± desvio padrão.

3.3.6. Desejabilidade

A Tabela 3.7 apresenta os principais parâmetros utilizados na programação estabelecida no software *Statistica* e os seus respectivos valores numéricos necessários à

seleção da melhor formulação, ou seja, são especificados os limites inferiores, os valores medianos e os limites superiores, e, entre parênteses, a desejabilidade destes limites, nos quais 0 representa os valores indesejáveis e 1 os valores desejáveis. Além disso, são dispostos os valores dos expoentes s e t que determinam a importância de cada variável no processo de otimização. Neste caso, foi atribuído o valor 1 a estes parâmetros em todas as respostas, uma vez que, considerando o objetivo do estudo, estas apresentam o mesmo grau de importância para a obtenção de um *smoothie* de frutas com aceitação sensorial e capacidade antioxidante.

A otimização simultânea das respostas da avaliação sensorial (aceitação global e consistência) e da capacidade antioxidante das formulações indicou que a melhor interação dessas respostas, dentre as formulações elaboradas, se deu quando a mesma foi preparada com quantidades iguais de polpa de banana e morango, o que, para as variáveis independentes codificadas, corresponde ao nível 0,5, tanto para o percentual de morango quanto para o percentual de banana na formulação.

Tabela 3.7 - Parâmetros utilizados para obtenção de um *smoothie* de juçara, banana e morango pela função desejabilidade.

Respostas	Limites inferiores	Valor mediano	Limites superiores	s	t
Aceitação	4,72 (0)	5,82 (0,5)	6,92 (1)	1	1
Consistência	5,71 (0)	6,24 (0,5)	6,77 (1)	1	1
Capacidade antioxidante	54,65 (0)	100,20 (0,5)	145,75 (1)	1	1

O valor de desejabilidade encontrado (0,6) após o ajuste dos dados, apresentado nos gráficos da Figura 3.3, corresponde à faixa aceitável de acordo com os critérios de Akhanazarova e Kafarov (1982), porém abaixo da faixa considerada excelente (0,8 a 1,0), segundo os mesmos autores. No entanto, esta ferramenta se mostrou adequada para reforçar a escolha da melhor interação percentual de polpa de banana e de morango (0,5:0,5) para a elaboração do *smoothie*.

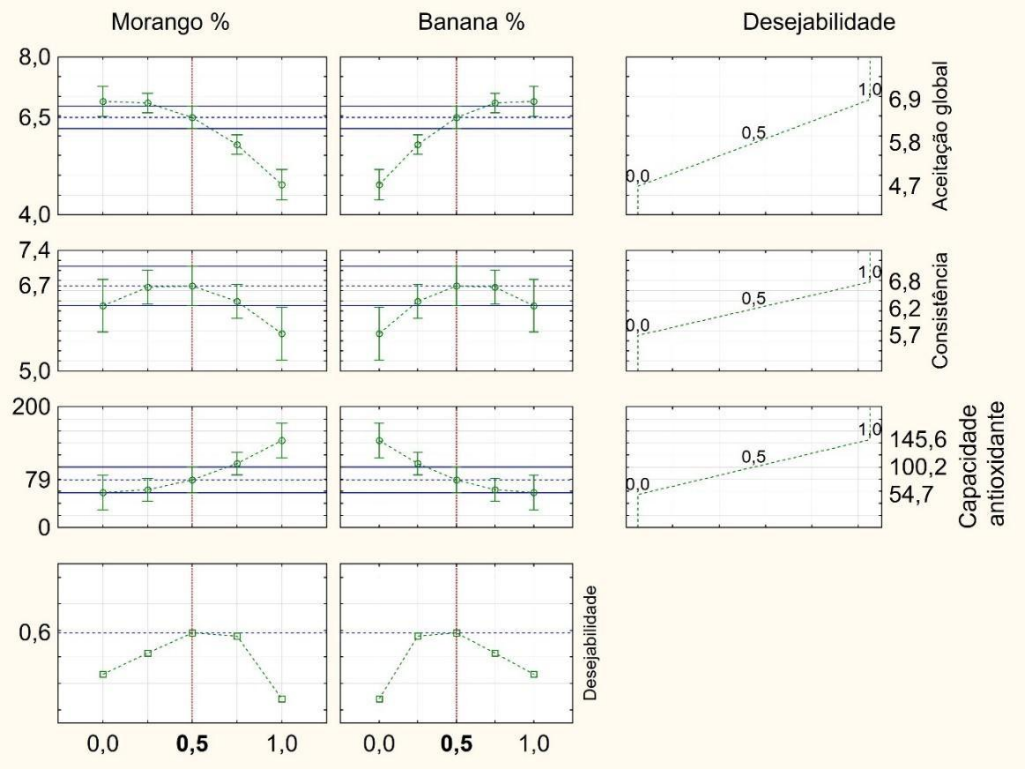


Figura 3.3 - Perfis dos valores estimados e desejabilidade para as respostas aceitação sensorial, consistência e capacidade antioxidante das formulações do *smoothie* de juçara, banana e morango.

3.4. CONCLUSÕES

O planejamento experimental de mistura aplicado permitiu obter quatro formulações de *smoothie* à base de juçara, banana e morango com aceitação sensorial e valores relevantes de capacidade antioxidante. A escolha da melhor formulação foi realizada considerando os valores de aceitação sensorial e as propriedades funcionais potenciais do *smoothie*, a qual foi corroborada pela ferramenta estatística desejabilidade. Assim, a formulação 3, contendo quantidades iguais de polpas de banana e de morango (40%) e 20% de polpa de juçara foi a mais promissora. O produto obtido pode contribuir para a valorização da cadeia agroindustrial da juçara e, por consequência, para a preservação da Mata Atlântica.

REFERÊNCIAS

Abir (2016) Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas não Alcoólicas. Dados estatísticos. Retrieved from http://abir.org.br/o-setor/dados/

Akhanazarova, S. & Kafarov, V. (1982). *Experiment Optimization in Chemistry and*

Chemical Engineering. Mir Publishers.

AOAC. Official Methods of Analysis (2000) Washington D.C., USA: Association of Official Analytical Chemists.

Aurore, G., Parfait, B., & Fahrasmane, L. (2009). Bananas, raw materials for making processed food products. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 78–91.

Bicudo, M. O. P., Ribani, R. H., & Beta, T. (2014). Anthocyanins, Phenolic Acids and Antioxidant Properties of Juçara Fruits (Euterpe edulis M.) Along the On-tree Ripening Process. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69, 142–147.

Bhardwaj, R. L., & Pandey, S. (2011). Juice Blends—A Way of Utilization of Under-Utilized Fruits, Vegetables, and Spices: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51, 563–570.

Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009). Decreto nº 6.871, de 04 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. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Brasil, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (2007). Considerações sobre o corante amarelo tartrazina. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Carvalho, F. B., Gutierres, J. M., Bohnert, C., Zago, A. M., Abdalla, F. H., Vieira, J. M., … Andrade, C. M. (2015). Anthocyanins suppress the secretion of proinflammatory mediators and oxidative stress, and restore ion pump activities in demyelination. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 26, 378–390.

Février, H., Quéré, J. Le, Bail, G. Le, & Guyot, S. (2016). Polyphenol profile, PPO activity and pH variation in relation to colour changes in a series of red-fleshed apple juices. *LWT - Food Science and Technology*, 85, 353-362.

Ferreira, V. L. P. (1981). *Princípios e Aplicações da Colorimetria em Alimentos*. ITAL.

Font-Burgada, J., Sun, B., & Karin, M. (2016). Obesity and Cancer: The Oil that Feeds the Flame. *Cell Metabolism*, 23, 48–62.

Giusti, M. M., & Wrolstad R. E. (2001). Characterization and measurement of

anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In: Wrolstad, R. E. (ed.), *Current protocols in food analytical chemistry* (unit F1.2; pp. 1-13). New York: John Wile.

Haminiuk, C. W. I., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S. V, & Peralta, R. M. (2012). Phenolic compounds in fruits - an overview. *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 2023–2044.

Jacobo-Velázquez, D. A., & Cisneros-Zevallos, L. (2009). Correlations of Antioxidant Activity against Phenolic Content Revisited: A New Approach in Data Analysis for Food and Medicinal Plants. *Journal of Food Science*, 74, 107-113.

Lawless, H. T., & Heymann, H. (1999). *Sensory evaluation of food*. Aspen Publishers: Maryland.

Liobikas, J., Skemiene, K., Trumbeckaite, S., & Borutaite, V. (2016). Anthocyanins in cardioprotection: A path through mitochondria. *Pharmacological Research*, 113, 808–815.

Mattietto R. A., Gomes, F. S., & Matta, V. M. (2014). Effect of açaí pasteurization conditions on its antioxidant activity. *Acta Horticulturae*, 1, 179-185.

Meilgaard, M., Civille, G. V., Carr, B. T. (1991). *Sensory evaluation tecniques*. Boca Raton: CRC Press.

Minolta. (1991). *Chroma Meter CR-300/CR310/CR-321/CR-331/CR-331C*. Instruction manual.

Moubarac, J.-C., Batal, M., Louzada, M. L., Steele, E. M., & Monteiro, C. A. (2017). Consumption of ultra-processed foods predicts diet quality in Canada. *Appetite*, 108, 512–520.

Moreira, R. M., Martins, M. L., de Castro Leite Júnior, B. R., Martins, E. M. F., Ramos, A. M., Cristianini, M., … de Souza Pereira, D. C. (2017). Development of a juçara and Ubá mango juice mixture with added Lactobacillus rhamnosus {GG} processed by high pressure. *LWT - Food Science and Technology*, 77, 259–268.

Nunes, M. A., Costa, A. S. G., Barreira, J. C. M., Vinha, A. F., Alves, R. C., Rocha, A., & Oliveira, M. B. P. P. (2016). How functional foods endure throughout the shelf storage? Effects of packing materials and formulation on the quality parameters

and bioactivity of *smoothies*. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 70–78.

Norberto, S., Silva, S., Meireles, M., Faria, A., Pintado, M., & Calhau, C. (2013). Blueberry anthocyanins in health promotion: A metabolic overview. *Journal of Functional Foods*, 5, 1518–1528.

Oliveira, M. I. S., Tonon, R. V., Nogueira, R. I., & Cabral, L. M. C. (2013). Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. *Brazilian Journal of Food Technology*, 16, 310–318.

Paim, D. R. S. F., Costa, S. D. O., Walter, E. H. M., & Tonon, R. V. (2016). Microencapsulation of probiotic jussara (Euterpe edulis M .) juice by spray drying. *LWT - Food Science and Technology*, 74, 21–25.

Peixoto, F. M., Fernandes, I., Gouvêa, A. C. M. S., Santiago, M. C. P. A., Borguini, R. G., Mateus, N., … Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2016). Simulation of in vitro digestion coupled to gastric and intestinal transport models to estimate absorption of anthocyanins from peel powder of jabuticaba, jamelão and jambo fruits. *Journal of Functional Foods*, 24, 373–381.

Pontes, P. R. B., Santiago, S. S., Szabo, T. N., Toledo, L. P., & Gollücke, A. P. B. (2010). Atributos sensoriais e aceitação de sucos de uva comerciais. *Food Science and Technology*, 30, 313–318.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231–1237.

Rødbotten, M., Martinsen, B. K., Borge, G. I., Mortvedt, H. S., Knutsen, S. H., Lea, P., & Næs, T. (2009). A cross-cultural study of preference for apple juice with different sugar and acid contents. *Food Quality and Preference*, 20, 277–284.

Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Morais, S. M., Sampaio, C. G., Pérez-Jiménez, J., & Saura-Calixto F. D. (2007). Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS+. *Comunicado Técnico*, 128, 1-4.

Sabbe, S., Verbeke, W., Deliza, R., Matta, V., & Van Damme, P. (2009). Effect of a health claim and personal characteristics on consumer acceptance of fruit juices with different concentrations of açaí (Euterpe oleracea Mart.). *Appetite*, 53, 84–

92.

Santhirasegaram, V., Razali, Z., George, D. S., & Somasundram, C. (2014). Comparison of UV-C treatment and thermal pasteurization on quality of Chokanan mango (Mangifera indica L.) juice. *Food and Bioproducts Processing*, 94, 313– 321.

Schulz, M., Borges, G. da S. C., Gonzaga, L. V., Seraglio, S. K. T., Olivo, I. S., Azevedo, M. S., … Fett, R. (2015). Chemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of juçara fruit (Euterpe edulis Martius) during ripening. *Food Research International*, 77, 125–131.

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.*, 16, 144.

Verma, S., Singh, A., & Mishra, A. (2013). Gallic acid: Molecular rival of cancer. Environmental *Toxicology and Pharmacology*, 35, 473–485.

Vojdani A., & Vojdani, C. (2015). Immune reactivity to food coloring. *Alternative Therapies in Health & Medicine*, 21, 52-62.

Wang, H., Hu, Z., Long, F., Guo, C., Niu, C., Yuan, Y., & Yue, T. (2016). Combined effect of sugar content and pH on the growth of a wild strain of Zygosaccharomyces rouxii and time for spoilage in concentrated apple juice. *Food Control*, 59, 298–305.

4. EFEITO DO PROCESSAMENTO SOBRE OS COMPOSTOS BIOATIVOS E PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E REOLÓGICAS DO SMOOTHIE DE JUÇARA, BANANA E MORANGO

RESUMO

O presente estudo avaliou as principais características físicas e químicas, incluindo a reologia e a cor instrumental, além da qualidade microbiológica de um *smoothie* de juçara, banana e morango. O produto foi preparado misturando-se as polpas destas frutas na proporção 40, 40 e 20%, respectivamente. A mistura foi realizada em um liquidificador industrial, homogeneizada a 60 MPa e, posteriormente, tratada termicamente a 90 ºC por 35s. A etapa de homogeneização aumentou as concentrações de cianidina-3-glicosídeo e cianidina-3-rutinosídeo, antocianinas majoritárias no *smoothie* ($p<0.05$). No entanto, estas antocianinas, como também a perlagonidina-3-glicosídeo, tiveram o seu conteúdo reduzido significativamente após o tratamento térmico. A pasteurização também alterou a cor global do *smoothie* expressa pelo ângulo Hue ($p<0.05$). No entanto, a pasteurização foi efetiva na redução de 2 ciclos logarítimicos de bactérias aeróbias mesófilas e de fungos filamentosos e leveduras, além de adequar o produto às exigências da legislação brasileira com contagem <3 $UFC.g^{-1}$ de coliformes a 45 ºC e ausência de *Salmonella* sp em 25g. Com relação ao comportamento reológico, o *smoothie* apresentou comportamento de fluido não-Newtoniano com características pseudoplásticas ($n<1$) em todas as etapas de processamento. Os espectros mecânicos do fluido não sofreram grandes alterações com o aumento da temperatura de 7 a 60 ºC. Além disso, o *smoothie*, de acordo com os ensaios em estado oscilatório, apresentou-se como um gel fraco. Apesar dos impactos do tratamento térmico, o produto ainda apresentou compostos bioativos de grande importância à saúde humana, além de estabilidade microbiológica.

Palavras-chaves: Homogeneização; Pasteurização; Antocianinas; Espectro Mecânico.

4.1. INTRODUÇÃO

O consumo de frutas e de seus derivados tem sido apontado como um dos fatores importantes para a manutenção da saúde, uma vez que estes alimentos e/ou bebidas possuem diversos compostos potencialmente benéficos para o bom funcionamento do corpo humano tais como carotenoides, compostos fenólicos e vitamina C. Estes compostos apresentam elevada capacidade antioxidante, ação anti-inflamatória, cardioprotetora e anti-tumoral (HAMINIUK et al., 2012; ZHANG et al., 2007; GUO et al., 2016). Neste contexto, a Organização Mundial da Saúde recomenda que sejam ingeridos diariamente no mínimo 400 g de vegetais, como frutas e hortaliças (OMS, 2003).

Saura-Calixto e Goñi (2006), avaliando grupos de alimentos comumentes presentes na dieta mediterrânea espanhola, observaram que as frutas foram, juntamente com as bebidas, as principais responsáveis pela elevada capacidade antioxidante desta dieta. Entre as frutas avaliadas, os autores citaram o consumo de bananas, laranjas, melões, melancias, maçãs, morangos e uvas.

Entre os compostos com potencial atividade biológica, pode-se ressaltar os compostos fenólicos que são metabólitos secundários amplamente difundidos no reino vegetal, principalmente nas frutas. As subclasses como flavonoides e ácidos fenólicos são encontradas em diversas frutas ricas em pigmentos como morango, jaboticaba e açaí (NACZK; SHAHIDI, 2006; COSTA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2015).

A juçara (*Euterpe edulis* Martius), palmeira típica da Mata Atlântica brasileira, produz frutos ricos em compostos potencialmente antioxidantes, como as antocianinas, uma subclasse dos flavonoides (BICUDO; RIBANI; BETA, 2014; SCHULZ et al., 2015). Segundo Borges et al. (2013), o extrato da fruta, composto por ácidos fenólicos e flavonoides, foi mais eficaz na crioproteção de cultura de células Vero, em termos de dano oxidativo induzido por radical hidroperóxido de *terc*-butila, que o padrão de ácido gálico. Isto corrobora com o efeito sinérgico positivo dos compostos fenólicos e destaca a importância do consumo de alimentos ricos em compostos bioativos ao invés de suplementos apenas. Devido à sua elevada concentração em compostos fenólicos e por apresentar baixo conteúdo de açúcares livres, o que a difere de outras frutas, a juçara pode contribuir também para a redução do risco de desenvolver diabetes do tipo II, doença crônica muito presente na sociedade atualmente (INADA et al., 2015;

CROZIER; JAGANATH; CLIFFORD, 2009).

Os frutos da palmeira juçara têm sido comercializados, principalmente, sob a forma de polpa congelada. No entanto, por apresentar uma composição nutricional rica, a polpa pode ser utilizada como um ingrediente funcional em formulações de bebidas, tais como *smoothies*, sorvetes e outros, o que contribui para estimular a comercialização deste fruto (SCHULZ et al., 2016).

Os *smoothies*, geralmente formulados a partir de frutas e vegetais, são bebidas ricas em nutrientes e compostos bioativos (KEENAN et al., 2011). Por ser à base de diversas frutas, a formulação em proporções adequadas pode corrigir atributos sensoriais, como baixa doçura e elevada acidez, que alguns frutos apresentam. Adicionalmente, torna possível a utilização comercial de frutas exóticas, como a juçara, potencializando a inclusão desta matéria-prima no desenvolvimento de novos produtos funcionais de interesse econômico e industrial.

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar o teor de compostos bioativos e as principais propriedades físicas, químicas, microbiológicas e reológicas de um *smoothie* formulado com juçara, banana e morango, submetido às etapas de homogeneização e pasteurização.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Material

Para a realização deste trabalho foram utilizadas polpas comerciais congeladas de morango (Sempre Viva) e juçara (Vip Polpa), não pasteurizadas. A polpa de morango foi adquirida no comércio local da cidade do Rio de Janeiro enquanto que a polpa de juçara foi adquirida diretamente da indústria processadora, de Rio Novo do Sul, Espírito Santo. A polpa de juçara foi centrifugada em centrífuga de cestos com malha de nylon de 150 µm (Centrifugal IEC - Model K7165, EUA), a fim de remover os sólidos em suspensão provenientes do despolpamento e reduzir a fração lipídica, uma vez que esta pode comprometer a qualidade do produto, por rancidez oxidativa.

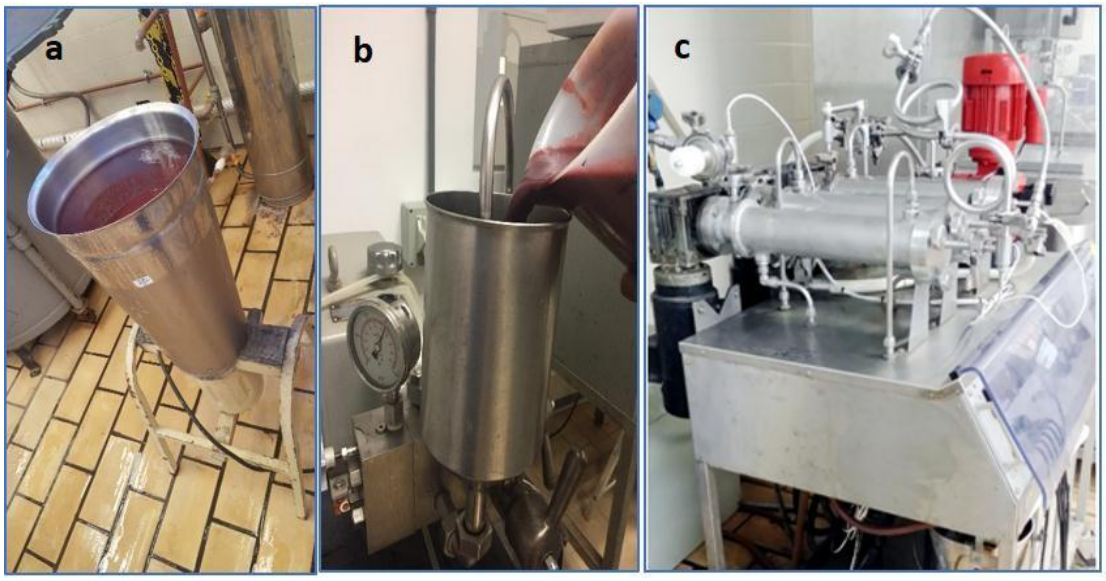
A polpa de banana foi obtida pelo despolpamento dos frutos da variedade nanica, adquiridas no comércio local de Guaratiba/RJ, em despolpadeira horizontal (Itametal, Brasil) provida de peneira inox de 1,5 mm e pás de polietileno. Para o despolpamento foram utilizadas bananas em estádio de maturação classificado como 6,

ou seja, casca totalmente amarela, conforme escala de maturação descrita por Aurore, Parfait e Fahrasmane (2009).

As polpas foram escolhidas levando-se em consideração a contribuição de cada uma para a elaboração de um produto sem adição de açúcar. A polpa de banana foi utilizada para conferir doçura ao produto, a polpa de morango visando balancear o pH da mistura, diminuindo a possibilidade de crescimento microbiano e a polpa de juçara com o objetivo de enriquecer o produto com compostos fenólicos, em especial as antocianinas, tornando-o potencialmente funcional. Todas as polpas foram armazenadas sob congelamento a -18 °C até o momento da realização dos experimentos.

4.2.2. Desenvolvimento do *smoothie*

O *smoothie* obtido pela mistura das polpas de juçara (20%), banana (40%) e morango (40%) foi uniformizado por agitação mecânica em liquidificador industrial (SMU), homogeneizado (SMH) em um homogeneizador APV Gaulin (EUA) a 60 MPa, e, posteriormente, tratado termicamente (SMP) (Figura 4.1). A pasteurização foi realizada em um trocador de calor de superfície raspada (FT25D, Armfield, Inglaterra) a 90 °C por 35 s, condição na qual foi observada elevada retenção de compostos bioativos e da capacidade antioxidante durante a pasteurização do suco de açaí, conforme relatado por Mattietto, Gomes e Matta (2014).



Fotos: Virgínia Matta, Leilson Ribeiro

Figura 4.1 - Etapas do processamento para obtenção de um *smoothie* de juçara, banana e morango. (a) uniformização, (b) homogeneização e (c) pasteurização.

4.2.3. Métodos Analíticos

4.2.3.1. Compostos fenólicos totais

A determinação dos compostos fenólicos totais (CFT) foi realizada por espectrofotometria, utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu (Merck®, Alemanha), de acordo com o método de Singleton e Rossi (1965). Os compostos fenólicos foram extraídos em acetona 70% por 30 minutos sob agitação. Após a filtração os extratos foram diluídos (1:10) com água destilada e usados na quantificação. O ácido gálico, padrão analítico, foi utilizado como referência, sendo os resultados expressos em mg de ácido gálico equivalente por 100 g de amostra.

4.2.3.2. Antocianinas monoméricas totais

As antocianinas monoméricas totais foram quantificadas pelo método do pH diferencial (GIUSTI; WROLSTAD, 2001), utilizando a cianidina-3-glucosídeo como referência, com coeficiente de extinção molar de 26900 $M^{-1}cm^{-1}$ e massa molecular de 449,2 $g.gmol^{-1}$. Os extratos obtidos foram diluídos em tampão pH 1,0 e pH 4,5, separadamente, e, após 30 minutos de estabilização, as absorvancias das soluções foram lidas a 510 e 700nm.

4.2.3.3. Quantificação de antocianinas

As amostras foram extraídas com solução ácido fórmico:metanol (10:90, v/v) em banho de ultrassom por 10 minutos, seguida de centrifugação a 2500 g por 10 minutos para separação do sobrenadante. Estas etapas foram repetidas até descoloração das amostras. Em seguida, uma alíquota do extrato foi seca com ar comprimido microfiltrado e ressuspendida em solução aquosa 5% de ácido fórmico em metanol (90:10, v/v). A análise cromatográfica foi realizada em um cromatógrafo líquido de alta eficiência Waters Alliance® 2695, detector de arranjo de fotodiodos Waters 2996 (520 nm), coluna Thermo® Scientific C18 (100 mm x 4,6 mm; 2,4 μm) e modo de eluição gradiente (1 $mL.min^{-1}$) com acetonitrila e solução 5% ácido fórmico em água. A quantificação das antocianinas foi realizada por padronização externa, a partir de curvas de calibração elaboradas com os padrões analíticos (delfinidina-3,5-diglicosídeo, delfinidina-3-glicosídeo, cianidina-3-glicosídeo, cianidina-3,5-glicosídeo, cianidina-3-rutinosídeo, pelargonidina-3-rutinosídeo, pelargonidina-3-glicosídeo e pelargonidina-3,5-glicosídeo) (SANTIAGO et al., 2014).

4.2.3.4. Quantificação de fenólicos

A extração de fenólicos livres foi realizada segundo o método descrito por Pérez-Jiménez et al. (2008). A amostra foi extraída em solução metanol:água (50:50; v/v), por agitação mecânica em um banho tipo *shaker* durante 1 hora e em seguida centrifugada a 5000 g por 10 minutos. O sobrenadante foi reservado e o precipitado foi novamente extraído com a mistura acetona:água (70:30; v/v). As etapas de agitação e centrifugação foram repetidas e o novo sobrenadante foi recolhido e reservado. Os sobrenadantes foram igualmente misturados e transferidos para um vial de 1,5 mL e, posteriormente, os fenólicos livres foram quantificados cromatograficamente.

Com o resíduo das extrações, realizou-se a extração dos fenólicos hidrolisáveis, utilizando-se o método adaptado de Frighetto e Baccan (2012). Uma hidrólise alcalina foi realizada adicionando-se solução de NaOH 2M contendo 1% de ácido ascórbico e 10 mM de EDTA. As amostras foram mantidas sob aquecimento por 60 minutos entre 61 a 63 °C. Após este período, adicionou-se HCl 6M às amostras hidrolisadas e agitou-se em vórtex por 10 segundos. As amostras, à temperatura ambiente, foram centrifugadas por 10 minutos. O sobrenadante recolhido foi submetido à extração líquido-líquido com acetato de etila. Após agitação em vórtex, a mistura foi submetida a sonicação por 4 minutos. A fase orgânica foi separada e nova extração com acetato de etila foi realizada. As fases orgânicas separadas após a sonicação foram combinadas e evaporadas até secura sob nitrogênio. Para a injeção, o resíduo ressuspendido em mistura metanol:água (80:20 v/v) foi levado ao ultrassom por 5 minutos e filtrado através de membrana de 0,45 µm, acoplada a uma seringa.

A análise cromatográfica para ambos os extratos foi realizada em Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência Waters® Alliance 2690/5 equipado com detector de arranjo de fotodiodos Waters® 2996 (varredura 210 a 600 nm com quantificação em 270 nm); software Empower®; coluna Thermo BDS HYPERSIL C18 (100x4,6 mm; 2,4 µm). A temperatura da coluna foi de 30 ºC. O detector foi programado em modo de eluição gradiente de ácido fosfórico em água 1,5 $mL.min^{-1}$ (Fase A) e acetonitrila (Fase B) com fluxo de 1,0 a 1,2 $mL.min^{-1}$; o volume de injeção foi de 10 µL e o tempo de corrida de 28 minutos. Nestas condições, a quantificação dos analitos foi realizada por padronização externa, sendo os compostos identificados por meio da comparação do tempo de retenção e dos espectros de UV dos padrões analíticos utilizados de ácidos fenólicos e flavonoides não-antociânicos.

4.2.3.5. Capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante (CA) foi determinada pelo método de redução do radical ABTS+•, de acordo com Re et al. (1999) e os resultados foram expressos em µmol de Trolox por grama de amostra. Para tal, as amostras foram extraídas, primeiramente, com metanol 50% por 1 hora seguido de centrifugação para a separação do sobrenadante. O precipitado foi novamente extraído com acetona 70% nas mesmas condições citadas anteriormente (RUFINO et al., 2007). Os extratos foram combinados e adicionados de água destilada para completar o volume de 25 mL. A determinação da capacidade foi obtida por meio da reação de 30 µL de extrato da amostra com 3 mL de radical ABTS•+, sendo a absorvância medida a 734 nm após 6 minutos.

4.2.3.6. pH, acidez titulável, sólidos solúveis e sólidos totais

Para as medidas de pH e acidez titulável foi utilizado um titulador automático devidamente calibrado (785 DMP Titrino, Metrohm). A determinação dos sólidos solúveis totais foi realizada em refratômetro digital portátil (Pal-3, Atago). Os sólidos totais foram determinados gravimetricamente em estufa a vácuo a 70 ºC. Estas análises foram realizadas seguindo as metodologias propostas pela AOAC (2006).

4.2.3.7. Parâmetros microbiológicos

As amostras do produto foram analisadas para detecção de *Salmonella* sp, coliformes a 45 ºC, contagem padrão em placas de bactérias aeróbias mesófilas e contagem de fungos filamentosos e leveduras, segundo as metodologias recomendadas pela American Public Health Association (2001).

4.2.3.8. Cor instrumental

A análise instrumental de cor foi realizada em colorímetro (ColorQuest XE, Hunterlab) utilizando o sistema CIELab/CIELCH de coordenadas L*, a*, b*, e ângulo Hue (h) com abertura de 0,375 mm de diâmetro, com iluminante D65/10 (FERREIRA, 1981), onde L* = luminosidade (0 = preto e 100 = branco); a* (-80 até zero = verde, do zero ao +100 = vermelho); b* (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo); H° ângulo Hue = arctan (b*/a*).

4.2.3.9. Características reológicas

As análises reológicas, em regime estacionário, foram realizadas em um

Reômetro HaakeMARS II (Thermo Electron Corporation) (Karlsruhe, Alemanha). Utilizou-se um dispositivo tipo placa-placa (PP60Ti) e gap de 1 mm. A temperatura de análise foi mantida por meio de um termostato "peltier" instalado na placa inferior. O tempo de cada medida experimental foi de 3 minutos, obtendo-se resultados de deformação na faixa de 0 – 600 s^{-1} a 7, 25, 40 e 60 ºC.

As análises reológicas dos sucos mistos, em regime oscilatório, foram realizadas a 25 °C no mesmo reômetro, utilizando o mesmo dispositivo tipo placa-placa. Antes de realizar as análises dos espectros mecânicos (módulos G' e G'' em função da frequência) foi realizada uma varredura de tensão na faixa de 0,01 a 100 Pa na frequência de 1 Hz, visando determinar a região de viscoelasticidade linear das polpas, na qual os módulos de armazenamento (G') e de perda (G'') são independentes da frequência. A varredura de frequência foi conduzida na condição selecionada (0,1 Pa) em deformação oscilatória de baixa amplitude, na faixa de 0,1 a 10 Hz. Também foi realizada uma varredura de temperatura (7 a 60 °C) para avaliar o comportamento dos espectros mecânicos.

O modelo da Lei de Potência (eq. 1) e a Equação de Arrhenius (eq. 2) foram ajustados aos dados experimentais aplicando-se a técnica de regressão linear, com auxílio do software Excel 13.

$$\tau = k.\gamma^n \ldots \text{eq. 1}$$

onde: τ é a tensão de cisalhamento (Pa), k é o índice de consistência ($Pa.s^n$), γ é a taxa de deformação (s^{-1}) e n é o índice de comportamento.

$$\eta = \eta_0 \, exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \ldots \text{eq. 2}$$

onde: η é a viscosidade aparente, é a viscosidade aparente na temperatura de referência, Ea é a energia de ativação ($kJ.mol^{-1}$), R é a constante dos gases ($kJ.mol^{-1}K^{-1}$) e T é a temperatura absoluta (K).

4.2.4. Análise dos dados

Os dados obtidos foram tratados estatisticamente no *software Statistica*, por meio de análise de variância (ANOVA), considerando o teste de *Tukey* para verificação da existência de diferenças significativas entre as médias, utilizando um intervalo de confiança de 95%. Os processamentos e ensaios analíticos foram realizados em

triplicata. Os valores médios reportados como média ± desvio padrão foram expressos em base úmida.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1. Compostos bioativos

A homogeneização a 60 MPa afetou, significativamente ($p<0,05$), os teores de antocianinas do produto (Tabela 4.1), resultado também reportado por Augusto, Ibarz e Cristianini (2012) quando homogeneizaram o purê de tomate. Os aumentos observados no teor das antocianinas monoméricas totais e das principais antocianinas após a homogeneização do produto pode estar associado à ruptura da parede celular, tornando estes compostos mais disponíveis.

Karacam, Sahin e Oztop (2015) ressaltaram que além da liberação dos compostos fenólicos pelo uso da pressão em processos de homogeneização, deve-se considerar, também, os efeitos dessa variável sobre a atividade enzimática, que exerce forte influência na degradação destes compostos. Os autores, ao estudarem o efeito da homogeneização sobre os compostos fenólicos do suco de morango, que tem a pelargonidina como antocianina majoritária (GIAMPIERI et al., 2012), observaram que a 100 MPa ocorreu um aumento significativo no teor de compostos fenólicos mensuráveis na amostra.

Apesar do aumento dos conteúdos de antocianinas monoméricas totais e das principais antocianinas quantificadas no produto após a homogeneização, verificou-se que o tratamento térmico reduziu ($p<0.05$) o conteúdo dos pigmentos antociânicos no *smoothie*. Neste caso, apenas a pelargonidina-3-rutinosídeo não apresentou diferença estatística após a etapa de parteurização. Esta degradação está relacionada, possivelmente, com a exposição do produto ao calor durante a pasteurização (90 ºC) (PATRAS et al., 2010). Este comportamento foi também observado por Sarkis et al. (2013) ao tratarem termicamente a polpa de mirtilo a 91,2 ºC por 4 minutos. Os autores reportaram uma perda de 7,2% no conteúdo de antocianinas da polpa.

Após o processamento do *smoothie* de juçara, banana e morango, foram observadas retenções de 74, 86, 72 e 71% de cianidina-3-rutinosídeo, cianidina-3-glicosídeo, pelargonidina-3-glicosídeo e pelargonidina-3-rutenosídeo, respectivamente, no *smoothie* pasteurizado quando comparado ao produto homogeneizado. Entre as

antocianinas quantificadas neste estudo, verifica-se que a cianidina-3-glicosídeo apresentou maior estabilidade frente ao tratamento térmico, apesar de não ser, segundo a literatura, a antocianina com maior estabilidade térmica. Estudos ressaltam que antocianinas ligadas a dissacarídeos, como é o caso da cianidina-3-rutinosídeo e pelargonidina-3-rutinosídeo, apresentam maior estabilidade térmica quando comparadas àquelas ligadas a monossacarídeos (RUBINSKIENE; VISKELIS, 2005; OLIVEIRA et al., 2015). Segundo Patras et al. (2010) dois mecanismos podem ser usados para descrever a degradação das antocianinas. O primeiro, no qual a degradação destes pigmentos inicia-se pela ruputura do anel *pirilium* e a formação de chalconas. No segundo mecanismo, ocorre a quebra da ligação aglicona-açúcar com posterior clivagem da aglicona, o que resulta em outros compostos fenólicos, como, por exemplo, os ácidos fenólicos.

A rutina, outro composto fenólico de grande importância para a saúde humana, que segundo Ganeshpurkar e Saluja (2016) apresenta ação cardioprotetora, neuroproetora, antitumoral entre outras, também apresentou boa retenção (85,5%) após a pasteurização.

A presença de ácidos fenólicos no *smoothie* somente foi identificada após a etapa de hidrólise (Tabela 4.1). Isto ocorre pois os ácidos fenólicos, na sua maioria, estão ligados por meio de ligações éster ou éter a componentes estruturais da planta como celulose, lignina e proteína, assim como a outras moléculas como açúcares e até mesmo outros compostos fenólicos, sendo, portanto, detectados após hidrólise (ROBBINS, 2003). Entre os ácidos fenólicos hidrolisados do *smoothie*, observou-se que a homogeneização reduziu apenas a concentração de ácido p-hidroxibenzóico ($p<0.05$) enquanto que os demais ácidos não apresentaram diferença estatística em relação ao *smoothie* uniformizado. Quando pasteurizado, observou-se um aumento significativo ($p<0.05$) somente na concentração de ácido ferúlico do *smoothie*, o que pode estar relacionado com a ruptura de estruturas constituintes da parede celular das polpas de frutas utilizadas na elaboração do produto, ou, até mesmo, à presença de produtos de degradação de outros compostos fenólicos, pela exposição ao calor, conforme citado acima.

Uma vez que os compostos fenólicos têm sido relacionados por diversos estudos com a redução da incidência de doenças crônicas não transmissíveis (NORBERTO et

al., 2013; CARDOSO et al., 2015) e o produto desenvolvido ter apresentando boa retenção destes compostos após as etapas de processamento, o mesmo pode ser considerado como uma alternativa para uma alimentação mais saudável.

Tabela 4.1 - Compostos bioativos e capacidade antioxidante do *smoothie* de juçara, banana e morango.

Parâmetro	SMU	SMH	SMP
Compostos não hidrolisados[1]			
Rutina	5,85 ± 0,07[a]	5,50 ± 0,00[a]	5,00 ± 0,14[b]
Ácido elágico	2,55 ± 0,07[a]	2,80 ± 0,14[a]	2,70 ± 0,14[a]
Cianidina-3-glicosídeo	2,10 ± 0,11[b]	2,42 ± 0,04[a]	2,08 ± 0,02[b]
Cianidina-3-rutenosídeo	4,49 ± 0,21[c]	5,32 ± 0,07[b]	3,94 ± 0,06[a]
Pelargonidina-3-glicosídeo	1,36 ± 0,04[b]	1,44 ± 0,00[b]	1,04 ± 0,05[a]
Pelargonidina-3-rutenosídeo	0,21 ± 0,00[a]	0,24 ± 0,01[a]	0,17 ± 0,03[a]
Compostos hidrolisados[1]			
Ácido gálico	1,05 ± 0,07[a]	1,00 ± 0,00[a]	1,00 ± 0,00[a]
Ácido protocatecuico	0,65 ± 0,07[a]	0,60 ± 0,00[a]	0,60 ± 0,00[a]
Ácido p-hidroxibenzóico	4,05 ± 0,21[a]	3,45 ± 0,07[b]	3,30 ± 0,00[b]
Ácido p-cumárico	0,95 ± 0,07[a]	0,95 ± 0,07[a]	1,00 ± 0,00[a]
Ácido ferúlico	1,90 ± 0,00[b]	1,80 ± 0,00[b]	2,35 ± 0,07[a]
Ácido elágico	2,35 ± 0,07[b]	2,35 ± 0,07[b]	2,65 ± 0,07[a]
Determinações espectrofotométricas			
CFT (mg ac. gal 100 g^{-1})[2]	194,49 ± 3,85[a]	209,36 ± 5,93[a]	203,16 ± 12,91[a]
AMT (mg.100 g^{-1})[3]	16,41 ± 0,19[a]	18,03 ± 0,22[b]	18,54 ± 0,05[c]
CA (µmol Trolox g^{-1})	10,58 ± 0,01[a.b]	10,56 ± 0,26[a]	11,51 ± 0,32[b]

Resultados em base úmida expressos como média ± desvio padrão. SMU – *smoothie* uniformizado. SMH – *smoothie* homogeneizado. SMP – *smoothie* pasteurizado. CFT – Compostos fenólicos totais. AMT- Antocianinas monoméricas totais. CA – Capacidade antioxidante.[1] Resultados expressos em mg.100 g^{-1}. [2] Resultados expressos em ácido gálico. [3] Resultados expressos em cianidina-3-glicosídeo. Médias com letras diferentes na mesma linha apresentam diferença signifcativa entre si a um nível de significância de 5% pelo teste de *Tukey*.

Conforme mostrado na Tabela 4.1, não houve diferença significativa entre as capacidades antioxidantes dos *smoothies* uniformizado e pasteurizado, produto final. O mesmo comportamento foi observado para os teores de compostos fenólicos totais destas amostras, o que confirma a correlação positiva entre os compostos fenólicos e a

capacidade antioxidante de vegetais reportada pela literatura (JACOBO-VELÁZQUEZ; CISNEROS-ZEVALLOS, 2009).

4.3.2. Propriedades físico-químicas e microbiológicas e cor instrumental

Apesar de terem sido observadas diferenças significativas em alguns parâmetros físico-químicos durante o processamento (Tabela 4.2), principalmente após a homogeneização do *smoothie*, estas diferenças podem ser consideradas irrelevantes do ponto de vista físico, pois as mesmas estão associadas ao baixo erro analítico inerente ao método instrumental e não acarretaram alterações nas característticas originais do produto. O teor de sólidos totais não diferiu estatisticamente em todas as etapas de processamento. No Capítulo 9 (Apêndice A) é mostrada a composição centesimal e mineral do *smoothie* de juçara, banana e morango pasteurizado.

Com relação à cor instrumental, verificou-se um aumento da luminosidade do *smoothie* ($p<0.05$), efeito que pode ser associado à homogeneização, o qual também foi observado por Xu et al. (2015) ao avaliarem a homogeneização e estabilização de *blend* de laranja e pimenta sob pressão. A cor vermelha (a*), característica do *smoothie*, confirmada pela análise instrumental, aumentou após a homogeneização e se manteve após a pasteurização. Isto mostra que o calor empregado para a pasteurização do produto não teve influência significativa na intensidade de vermelho da amostra, correspondente à presença das antocianinas. Quando se avalia o parâmetro Hº, o qual corresponde à cor global do produto, verifica-se um efeito significativo do calor na cor do produto final, mostrando que, apesar da estabilidade da intensidade de vermelho na amostra, outras alterações ocorreram. Entretanto, cabe ressaltar que o produto ainda permanece na faixa de cor vermelha.

A pasteurização, como esperado, reduziu a carga microbiana inicial do *smoothie* em dois ciclos logarítmicos, tanto para os fungos filamentosos e leveduras quanto para as bactérias aeróbias mesófilas, o que favorece a estabilidade do produto (Tabela 4.2). O *smoothie* pasteurizado apresentou-se em acordo com a legislação brasileira, conforme padrão estabelecido pela RDC nº 12 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2001), a qual preconiza contagem <3 NMP.g^{-1} para coliformes e ausência de *Salmonella* sp em 25 gramas de amostra.

Tabela 4.2 - Características físico-químicas e microbiológicas e cor instrumental do *smoothie* em diferentes etapas do processamento.

Parâmetro	SMU	SMH	SMP
pH	4,24 ± 0,01[a]	4,31 ± 0,00[b]	4,30 ± 0,02[b]
Sólidos totais (%)	13,44 ± 0,04[a]	13,55 ± 0,21[a]	13,42 ± 0,38[a]
Sólidos solúveis (°Brix)	12,1 ± 0,1[a]	11,9 ± 0,0[b]	12,0 ± 0,1[b]
Acidez titulável (g 100 g^{-1})[1]	0,43 ± 0,00[a]	0,40 ± 0,00[b]	0,38 ± 0,00[c]
Luminosidade (L*)	31,54 ± 0,02[a]	34,55 ± 0,49[b]	34,68 ± 0,09[b]
Parâmetro de cor (a*)	8,77 ± 0,04[a]	11,56 ± 0,61[b]	11,63 ± 0,03[b]
Ângulo de Hue (H°)	6,00 ± 0,21[a]	4,03 ± 0,37[b]	2,99 ± 0,13[c]
Salmonella sp (ausência em 25 g)	nr	Ausência	Ausência
Coliformes a 45 °C (NMP.g^{-1})	nr	3	<3
Fungos e leveduras (UFC.g^{-1})	nr	1,5 x 10^3	1,0 x 10^1
Bactérias mesófilas (UFC.g^{-1})	nr	<8,8 x 10^4	3,0 x 10^2

Resultados em base úmida expressos como média ± desvio padrão. SMU – *smoothie* uniformizado. SMH – *smoothie* homogeneizado. SMP – *smoothie* pasteurizado. nr – não realizado. [1] Resultados expressos em ácido cítrico. Médias com letras diferentes na mesma linha apresentam diferença signifcativa entre si a um nível de significância de 5% pelo teste de *Tukey*.

O efeito positivo da pasteurização sobre a carga microbiana de sucos de frutas tem sido reportado em diversos trabalhos, nos quais comprova-se que a eficiência da destruição microbiana é principalmente dependente do binômio tempo/temperatura empregado, carga microbiana inicial e da matriz vegetal processada (CHEN; YU; RUPASINGHE, 2013). Walkling-Ribeiro et al. (2010) observaram redução significativa na contagem de bactérias totais e de fungos e leveduras em *smoothie* de frutas tratados a 72 ºC por 15 s. Moreira et al. (2017), ao tratarem termicamente o suco de manga e juçara a 82 ºC por 1 minuto, também observaram redução significativa na contagem de bactérias aeróbias mesófilas. Já Marszałek, Mitek e Skapska (2015), ao pasteurizarem o purê de morango a 90 ºC por 15 minutos, reportaram degradação significativa dos fungos e leveduras e das bactérias totais do produto.

4.3.3. Comportamento reológico em estado estacionário

As curvas de fluxo das amostras de *smoothie* nas diferentes etapas do

processamento são apresentadas na Figura 4.2 e representam os reogramas ajustados ao modelo reológico da Lei de Potência. Pode-se observar que não existe uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das amostras em todas as temperaturas avaliadas, indicando o comportamento não-Newtoniano do produto (WEI; WANG; WU, 2001).

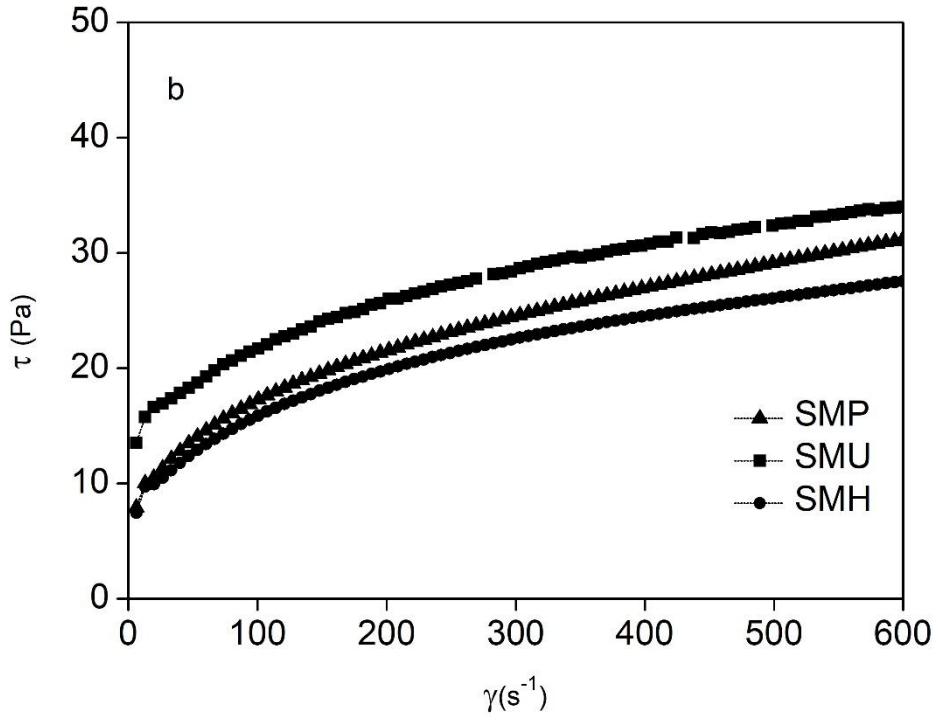


Figura 4.2 - Rampas de cisalhamento com as curvas de fluxo ajustadas pelo modelo de Lei de Potência referentes ao smoothie uniformizado (SMU), homogeneizado (SMH) e pasteurizado (SMP). τ – tensão de cisalhamento e γ – taxa de deformação. Ensaios realizados a 25 ºC.

Na Figura 4.3 são apresentadas as curvas de viscosidade aparente das amostras a 25 °C após diferentes etapas do processamento. A viscosidade aparente decresceu com o aumento da taxa de deformação, caracterizando todas as amostras como pseudoplásticas. Este comportamento também foi observado em todas as temperaturas avaliadas (dados não mostrados).

A redução de viscosidade de um fluido submetido a diferentes taxas de deformação ocorre pela quebra das estruturas moleculares devido às forças hidrodinâmicas geradas e ao alinhamento dos constituintes moleculares. Esta alteração estrutural das moléculas do material não ocorre a baixas taxas de deformação, que são

insuficientes para causar a separação dos agregados e reduzir a viscosidade (RAO, 1999). Na Tabela 4.3 estão apresentados os valores médios de viscosidade aparente do *smoothie* à taxa de deformação de 100 s^{-1}. Este é o valor médio da taxa de deformação que, segundo Steffe (1996), é aplicada nos principais processos conduzidos na indústria de sucos. Os resultados indicam que o *smoothie* apresentou uma maior viscosidade aparente antes da etapa de homogeneização, o que já era esperado, visto que a pressão à qual o *smoothie* foi submetido na homogeneização (60 MPa) foi suficientemente alta para que houvesse desintegração das partículas maiores como os polissacarídeos, tornando o produto mais fluido e homogêneo, impactando diretamente na sua viscosidade.

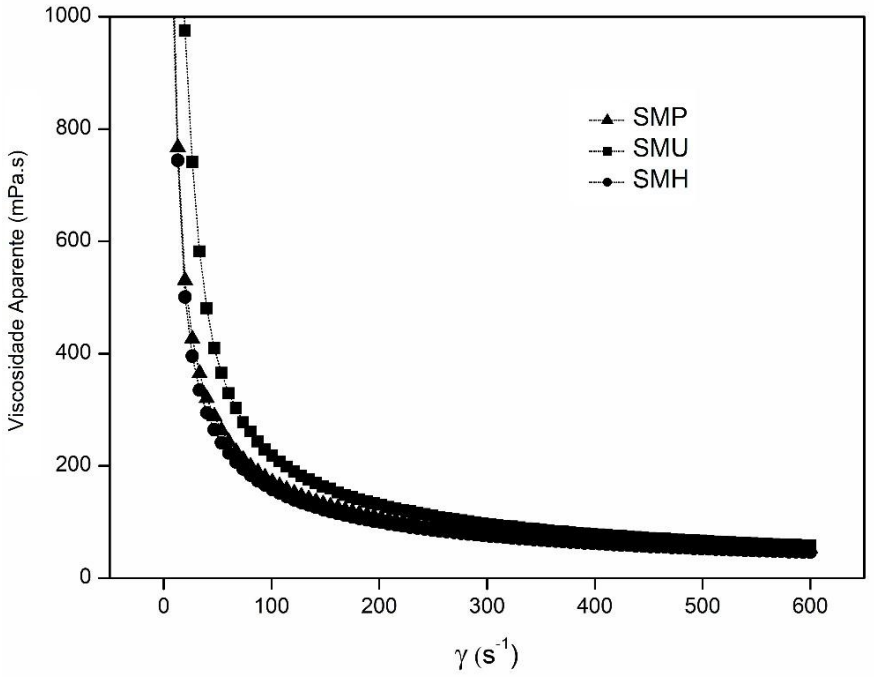


Figura 4.3 - Redução da viscosidade aparente em função da taxa de deformação (γ) do *smoothie* de juçara, banana e morango em diferentes etapas do processamento.

Os dados também indicam uma maior viscosidade da amostra após a etapa de pasteurização. Possivelmente, a pasteurização a 90 °C favoreceu a gelatinização do amido proveniente da polpa de banana, uma vez que esta foi utilizada no seu penúltimo estágio de maturação (6° estágio), quando contém ainda baixa concentração de amido, além de apresentar pectina que também sofre gelatinização (AURORE; PARFAIT; FAHRASMANE, 2009). Adicionalmente, durante esta etapa também pode ocorrer perda de água que também contribui para o aumento das forças de atrito no escoamento de suspensões (FREITAS et al., 1996).

Os parâmetros relativos ao modelo da Lei de Potência, obtidos por meio de ajuste dos dados experimentais do *smoothie* processado, são mostrados na Tabela 4.4. O modelo adequou-se muito bem aos dados experimentais em todas as temperaturas avaliadas (valores para o coeficiente de determinação (R^2) superiores a 0,99 e F > 1).

Tabela 4.3 - Viscosidade aparente do *smoothie* de juçara, banana e morango em diferentes etapas do processamento a uma taxa de deformação de 100 s^{-1}.

Amostra	Temperatura (°C)	η (mPa.s)
SMU		277,60 ± 7,35[a]
SMH	7	210,00 ± 6,79[b]
SMP		230,40 ± 0,28[b]
SMU		216,65 ± 1,63[a]
SMH	25	159,15 ± 2,19[b]
SMP		173,10 ± 2,40[c]
SMU		181,95 ± 3,18[a]
SMH	40	134,50 ± 2,83[b]
SMP		139,40 ± 2,12[b]
SMU		140,95 ± 8,98[a]
SMH	60	100,56 ± 0,91[b]
SMP		106,80 ± 1,56[c]

Resultados expressos como média ± desvio padrão. Médias com letras diferentes na mesma temperatura apresentam diferença signifcativa a um nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. η – viscosidade. *Smoothie* uniformizado (SMU), homogeneizado (SMH) e pasteurizado (SMP).

O índice de comportamento (n), em todas as temperaturas avaliadas, foi menor que 1, confirmando o comportamento não-Newtoniano típico de um fluido pseudoplástico para todas as amostras de *smoothie* (STEFFE, 1996). Comportamento semelhante foi observado para emulsões de frutas e vegetais em geral, entre os quais destacam-se o purê de tomate (TAN; KERR, 2015) e as polpas de açaí e umbu (TONON et al., 2009; PEREIRA et al., 2008).

O índice de consistência (k), como esperado, diminuiu com o aumento da temperatura, ratificando os resultados reportados por Bezerra et al. (2013) na avaliação de um néctar misto tropical. A diminuição da viscosidade com o aumento da temperatura teve impacto direto no índice de consistência das amostras, pois diminuiu o

grau de empacotamento das partículas do *smoothie*. As amostras processadas apresentaram menor valor de k, confirmando a contribuição da pressão na homogeneidade do produto. Segundo Tan e Kerr (2015), este comportamento também foi observado nas amostras de purê de tomate homogeneizadas entre 69 e 276 MPa. Os autores comentam que a redução do tamanho das partículas, a qual contribuiu para a redução da viscosidade nas amostras, é resultado da formação de zonas de cavitação, onde o colapso das bolhas formadas pode perturbar o sistema e promover a quebra de pontes de hidrogênio.

Os valores da energia de ativação (Ea) obtidos variaram pouco na faixa de deformação estudada. Este parâmetro corresponde à sensibilidade da viscosidade aparente das amostras à temperatura, sendo que altos valores de Ea indicam que há maior influência da temperatura sobre a viscosidade dos mesmos. Steffe (1996) reporta que a variação da temperatura que pode ocorrer durante o processamento e o armazenamento dos alimentos tem influência direta nas propriedades reológicas dos produtos, por isso, a importância de tal investigação.

Tabela 4.4 - Parâmetros do ajuste do modelo da Lei de Potência para o *smoothie* de juçara, banana e morango.

Amostra	Temperatura (°C)	K ($Pa.s^n$)	n	R^2
SMU	7	9,77	0,23	0,993
SMH		5,47	0,30	0,998
SMP		5,21	0,32	0,999
SMU	25	7,42	0,24	0,993
SMH		3,94	0,30	0,999
SMP		3,88	0,32	0,999
SMU	40	6,94	0,21	0,995
SMH		3,44	0,30	0,998
SMP		3,10	0,33	0,999
SMU	60	4,70	0,23	0,998
SMH		2,69	0,29	0,994
SMP		2,25	0,34	0,998

k - índice de consistência; n - índice de fluxo; R^2 - coeficiente de determinação. *Smoothie* uniformizado (SMU), homogeneizado (SMH) e pasteurizado (SMP).

Avaliando-se o efeito da temperatura sobre a viscosidade das amostras do *smoothie*, constata-se um bom ajuste dos dados experimentais à equação de Arrhenius (r^2 > 0,975) nas taxas de deformação de 40, 100 e 500 s^{-1} (Tabela 4.5). Estas taxas representam, respectivamente, os regimes lento, laminar e turbulento no bombeamento de fluidos na indústria alimentícia.

Tabela 4.5 - Dados do *smoothie* de juçara, banana e morango em diferentes etapas do processamento ajustados a Lei de Arrhenius.

Amostra	Taxa de deformação (s^{-1})	Ea ($KJ.mol^{-1}$)	R^2
SMU		10,7	0,975
SMH	40	9,3	0,997
SMP		11,0	1,000
SMU		9,7	0,998
SMH	100	10,5	0,996
SMP		11,2	0,999
SMU		10,6	0,995
SMH	500	10,6	0,997
SMP		10,7	0,999

Ea – energia de ativação; R^2 - coeficiente de determinação. *Smoothie* uniformizado (SMU), homogeneizado (SMH) e pasteurizado (SMP).

Diante destes dados, constatou-se que o *smoothie* de juçara, banana e morango, nas diferentes etapas do processamento é pouco dependente da temperatura. Esta característica, até certo ponto, pode ser considerada positiva, visto que se trata de um produto que será armazenado sob refrigeração e, em princípio, não apresentará grandes alterações nas suas características reológicas ao longo do armazenamento até o momento do consumo, caso haja pequenas oscilações na temperatura de armazenamento.

4.3.4. Comportamento reológico em estado oscilatório

Na Figura 4.4 estão ilustradas as curvas dos espectros mecânicos (G' – módulo de armazenameno e G" – módulo de perda) e a tangente de dissipação (Tan δ) do *smoothie* nas diferentes etapas do processamento. Pela tangente de dissipação, verifica-se que, a partir de 1 Pa, mudanças na estrutura do material começam a ocorrer,

indicando o fim da região de viscoelasticidade linear, motivo pelo qual os testes seguintes, em regime oscilatório, foram realizados aplicando-se uma tensão de 0,1 Pa.

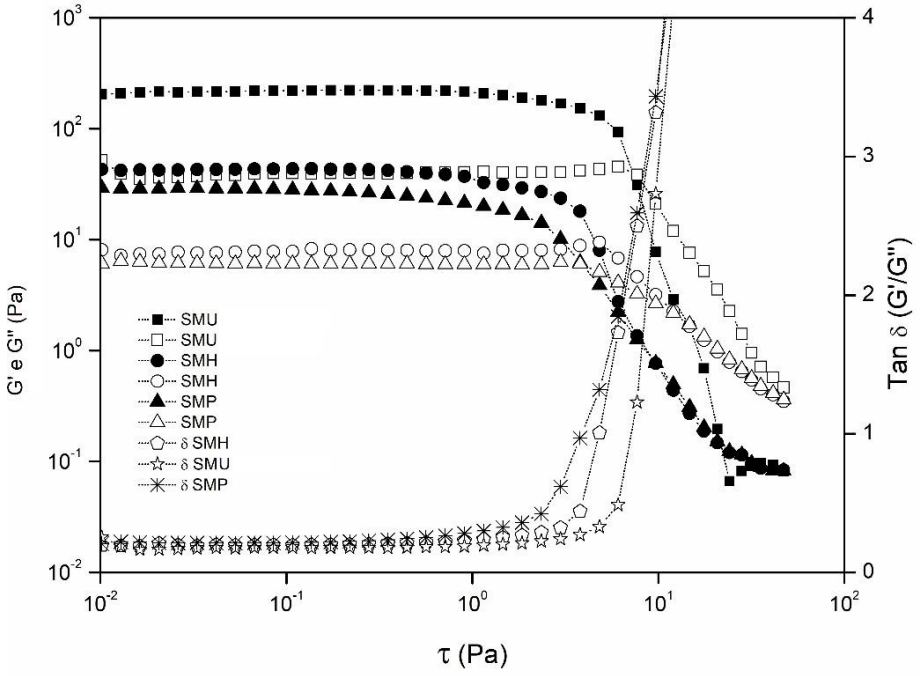


Figura 4.4 - Varredura de amplitude a 25 °C com as curvas dos espectros mecânicos (G' – módulo de armazenameno e G" – módulo de perda) e ângulo de fase (Tan δ) para o smoothie uniformizado (SMU), homogeneizado (SMH) e pasteurizado (SMP). Símbolos cheios (G') e símbolos abertos (G''). τ – tensão de cisalhamento.

Pode-se determinar, também, a relação entre G" e G' (Tan δ) (Figura 4.4). Em todas as amostras o valor de tan δ foi menor que 1, o que significa que as amostras não se apresentam como um gel verdadeiro, podendo ser caracterizadas como um gel fraco. Isto confirma os resultados reológicos nos quais a viscosidade reduziu após a homogeneização, indicando que a quebra das pontes de hidrogênio ou de macromoléculas foi provavelmente mais relevante que o aumento da superfície de contato no comportamento do fluído. Este comportamento também foi reportado por Pereira et al. (2008), ao estudarem a adição de biopolímeros à polpa de umbu, e por Tan e Kerr (2015), na avaliação dos efeitos da homogeneização do purê de tomate.

Não foram observadas mudanças drásticas nos módulos de armazenamento e perda das amostras do *smoothie* (Figura 4.5) nas diferentes temperaturas avaliadas (7 - 60 °C). Registrou-se, no entanto, uma ligeira diminuição dos valores absolutos dos módulos G' e G'' com o aumento da temperatura, o que pode ser explicado pelo

enfraquecimento de interações, como as pontes de hidrogênio. Entre as amostras estudadas verifica-se que após a homogeneização houve redução nos valores dos espectros mecânicos, o que reforça os resultados observados anteriormente nos ensaios reológicos conduzidos em modo estacionário.

Levando em consideração a inclinação das curvas, pode-se ressaltar também que o módulo de perda (G”) foi sempre mais dependente da temperatura que o módulo de armazenamento (G’), comportamento esperado pelo fato do módulo de armazenamento ter por característica a recuperação de parte da sua energia quando submetido à deformação.

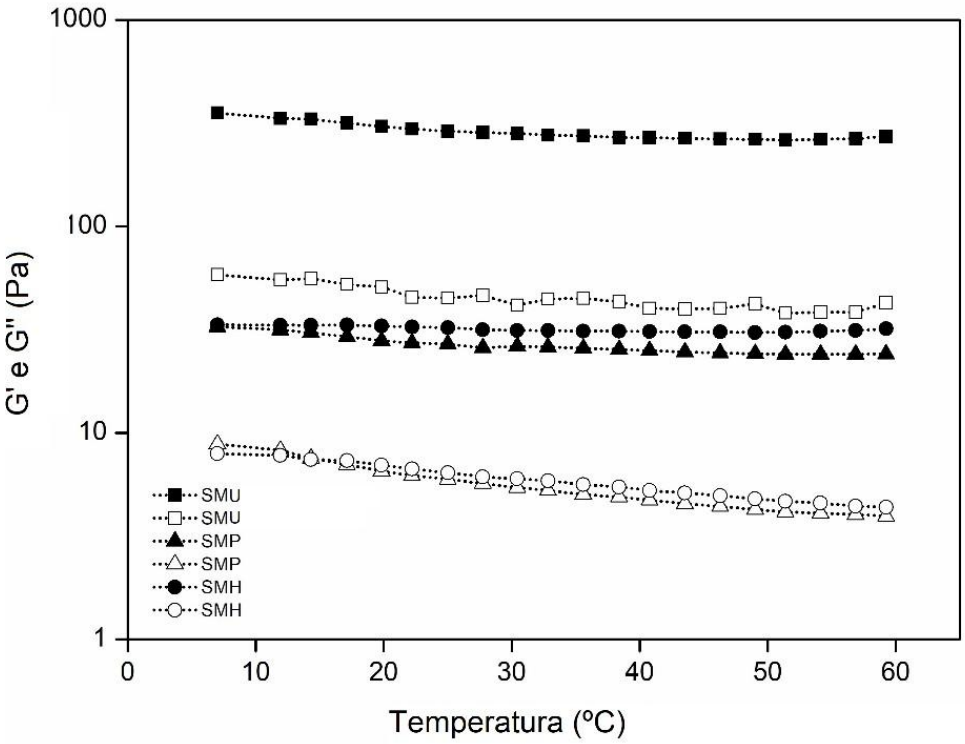


Figura 4.5 - Efeito da temperatura sobre os espectros mecânicos (G’ – módulo de armazenameno e G” – módulo de perda) das amostras de smoothie uniformizado (SMU), homogeneizado (SMH) e pasteurizado (SMP). Símbolos cheios (G’) e Símbolos vazios (G’’).

Na Figura 4.6 são apresentadas as curvas referentes à dependência da estrutura do *smoothie* à frequência. Nela pode-se observar que as amostras apresentaram um comportamento mais elástico que viscoso, onde os valores de G’ (módulo de armazenamento) foram superiores aos de G” (módulo de perda). Comportamento semelhante foi observado por outros autores em estudos com produtos à base de frutas

como Pereira et al. (2008), que avaliaram a adição de biopolímeros em polpa de umbu e Keenan et al. (2011), que estudaram processos de estabilização para um *smoothie* formulado com maçã, morango, banana e laranja.

Entre as amostras estudadas, verifica-se que o *smootihe* apenas uniformizado apresentou maiores valores de G' e G". De acordo com Tan e Kerr (2015), que estudaram homogeneização do purê de tomate em diferentes pressões, o fato da amostra sem tratamento apresentar maiores valores de G' e G" é devido à presença de grandes moléculas, que promove um empacotamento denso das mesmas, resultando em maiores valores para os espectros mecânicos.

Com relação à dependência da frequência (Figura 4.6) observa-se que o módulo de perda (G") foi sempre o mais dependente em todas as amostras avaliadas, sendo que no *smoothie* uniformizado este módulo apresentou menor uniformidade, o que pode estar associado à presença de partículas mais heterogêneas em forma e tamanho que a amostra homogeneizada a 60 MPa.

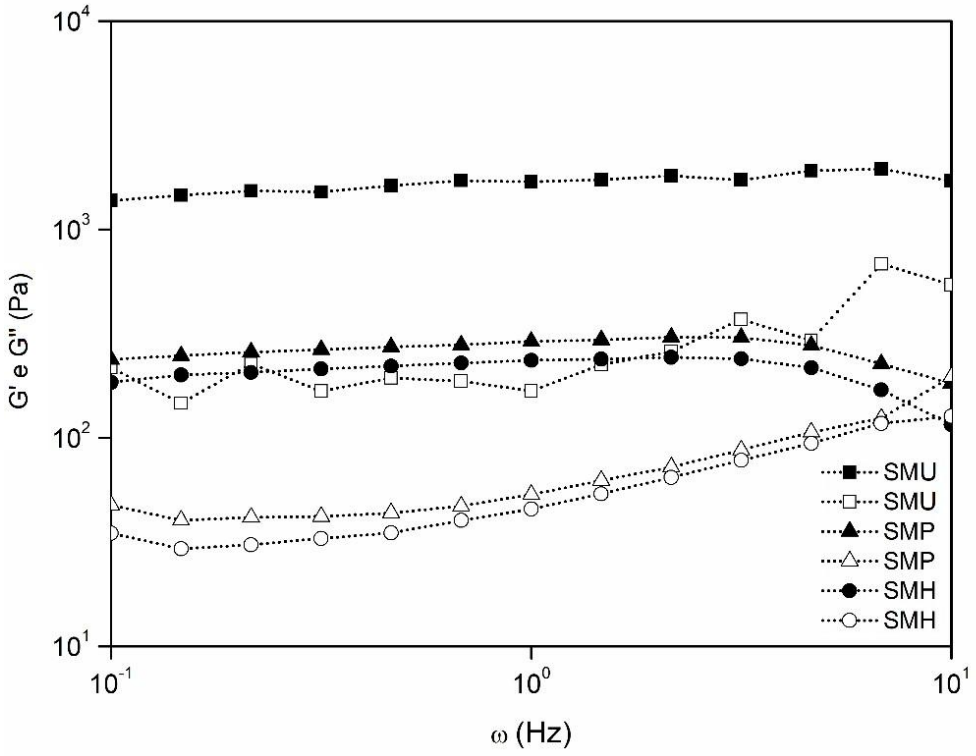


Figura 4.6 - Efeito da frequência sobre os espectros mecânicos (G' – módulo de armazenameno e G" – módulo de perda) das amostras de smoothie (SMU), homogeneizado (SMH) e pasteurizado (SMP). Símbolos cheios (G') e Símbolos vazios (G''). ω - Frequência.

4.4. CONCLUSÕES

O *smoothie* de juçara, banana e morango submetido a homogeneização e pasteurização apresentou boa retenção de compostos bioativos, qualidade microbiológica e estabilidade físico-química. A homogeneização contribuiu para uma melhor homogeneidade do produto, a qual foi suportada pelos resultados obtidos nos estudos reológicos em estado estacionário e oscilatório, mostrando, principalmente, pouca influência da temperatura no produto final. Apesar do efeito da pasteurização sobre a cor global do produto, conclui-se que o *smoothie* desenvolvido pode atender à demanda do mercado consumidor que busca produtos mais saudáveis e práticos, além de contribuir para agregação de valor à cadeia agroindustrial da juçara.

REFERÊNCIAS

American Public Health Association. (2001). Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Food (4th ed.). APHA. Press. Washington, D.C.

A.O.A.C. (2006). Official methods of analysis (14th ed.). Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists.

Augusto, P. E. D., Ibarz, A., & Cristianini, M. (2012). Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of tomato juice: Time-dependent and steady-state shear. *Journal of Food Engineering*, 111, 570–579.

Aurore, G., Parfait, B., & Fahrasmane, L. (2009). Bananas, raw materials for making processed food products. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 78–91.

Brasil. (2001). ANVISA-Agência nacional de vigilância sanitária. Resolução RDC nº 12, de 02/01/2001. Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 jan. 2001, Seção I, p. 45-53.

Bezerra, C. V., Silva, L. H. M. da, Costa, R. D. S. da, Mattietto, R. de A., & Rodrigues, A. M. da C. (2013). Rheological properties of tropical juices. *Brazilian Journal of Food Technology*, 16, 155–162.

Bicudo, M. O. P., Ribani, R. H., & Beta, T. (2014). Anthocyanins, Phenolic Acids and Antioxidant Properties of Juçara Fruits (Euterpe edulis M.) Along the On-tree Ripening Process. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69, 142–147.

Borges, G. D. S. C., Gonzaga, L. V., Jardini, F. A., Mancini Filho, J., Heller, M., Micke, G., … Fett, R. (2013). Protective effect of Euterpe edulis M. on Vero cell culture and antioxidant evaluation based on phenolic composition using HPLC − ESI-MS/MS. *Food Research International*, 51, 363–369.

Cardoso, A. L., Pietro, P. F. Di, Vieira, F. G. K., Boaventura, B. C. B., de Liz, S., da Silva Campelo Borges, G., … da Silva, E. L. (2015). Acute consumption of juçara juice (Euterpe edulis) and antioxidant activity in healthy individuals. *Journal of Functional Foods*, 17, 152–162.

Chen, Y., Yu, L. J., & Rupasinghe, H. P. V. (2013). Effect of thermal and non-thermal pasteurisation on the microbial inactivation and phenolic degradation in fruit juice: a mini-review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 981–986.

Costa, A. G. V., Garcia-Diaz, D. F., Jimenez, P., & Silva, P. I. (2013). Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red–black berries. *Journal of Functional Foods*, 5, 539–549.

Crozier, A., Jaganath, I. B., & Clifford, M. N. (2009). Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. *Nat. Prod. Rep*., 26, 1001–1043.

Freitas, S. P., Da Silva, F. C., Lago, R. C. A., & Qassim, R. Y. (1996). Rheological behaviour of processed avocado pulp emulsions. *International Journal of Food Science & Technology*, 31, 319–325.

Ferreira, V. L. P. (1981). Principles and Applications of Colorimetry in Food.Campinas: ITAL.

Frighetto, R.T. S., & Baccan M. (2012) Quantification of constituent phenolic acids of soybean [glycine max (l.) Merrill] by high-performance liquid chromatography (HPLC). *Scientia Agricola*, 71, 416-419.

Ganeshpurkar, A., & Saluja, A. K. (2016). The Pharmacological Potential of Rutin. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 25, 149-164.

Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., & Battino, M. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28, 9–19.

Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). *Characterization and measurement of*

anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. In R. E. Wrolstad (Ed.), Current protocols in food analytical chemistry. New York: John Wiley & Sons.

Guo, W., Huen, K., Park, J.-S., Petreas, M., Crispo Smith, S., Block, G., & Holland, N. (2016). Vitamin C intervention may lower the levels of persistent organic pollutants in blood of healthy women – A pilot study. *Food and Chemical Toxicology*, 92, 197–204.

Haminiuk, C. W. I., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S. V, & Peralta, R. M. (2012). Phenolic compounds in fruits - an overview. *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 2023–2044.

Inada, K. O. P., Oliveira, A. A., Revorêdo, T. B., Martins, A. B. N., Lacerda, E. C. Q., Freire, A. S., … Monteiro, M. C. (2015). Screening of the chemical composition and occurring antioxidants in jabuticaba (Myrciaria jaboticaba) and jussara (Euterpe edulis) fruits and their fractions. *Journal of Functional Foods*, 17, 422–433.

Jacobo-Velázquez, D. A., & Cisneros-Zevallos, L. (2009). Correlations of Antioxidant Activity against Phenolic Content Revisited: A New Approach in Data Analysis for Food and Medicinal Plants. *Journal of Food Science*, 74, 107-113.

Karacam, C. H., Sahin, S., & Oztop, M. H. (2015). Effect of high pressure homogenization (microfluidization) on the quality of Ottoman Strawberry (F. Ananassa) juice. *LWT - Food Science and Technology*, 64, 932–937.

Keenan, D. F., Brunton, N., Gormley, R., & Butler, F. (2011). Effects of thermal and high hydrostatic pressure processing and storage on the content of polyphenols and some quality attributes of fruit *smoothies*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 601–607.

Marszałek, K., Mitek, M., & Skąpska, S. (2015). The effect of thermal pasteurization and high pressure processing at cold and mild temperatures on the chemical composition, microbial and enzyme activity in strawberry purée. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 27, 48–56.

Mattietto, R. A., Gomes, F. S., & Matta, V. M. (2014) Effect of açaí pasteurization conditions on its antioxidant activity. *Acta Horticulturae*, 1, 179 - 185.

Moreira, R. M., Martins, M. L., de Castro Leite Júnior, B. R., Martins, E. M. F., Ramos, A. M., Cristianini, M., … de Souza Pereira, D. C. (2017). Development of a juçara and Ubá mango juice mixture with added Lactobacillus rhamnosus GG processed by high pressure. *LWT - Food Science and Technology*, 77, 259–268.

Naczk, M., & Shahidi, F. (2006). Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41, 1523–1542.

Norberto, S., Silva, S., Meireles, M., Faria, A., Pintado, M., & Calhau, C. (2013). Blueberry anthocyanins in health promotion: A metabolic overview. *Journal of Functional Foods*, 5, 1518–1528.

Oliveira, A., Coelho, M., Alexandre, E. M. C., Almeida, D. P. F., & Pintado, M. (2015). Long-Term Frozen Storage and Pasteurization Effects on Strawberry Polyphenols Content. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 1838–1844.

OMS – Organização Mundial de Saúde (2003). Fruit and Vegetable Promotion Initiative – report of the meeting, Geneva.

Patras, A., Brunton, N. P., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 3–11.

Pereira, E. A., Brandão, E. M., Borges, S. V, & Maia, M. C. A. (2008). Influence of concentration on the steady and oscillatory shear behavior of umbu pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 12, 87–90.

Pérez-Jiménez, J., Arranz, S., Tabernero, M., Rubio, M. E. D., Serrano, J., Goñi, I., & Saura-Calixto, F. (2008). Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. *Food Research International*, 41, 274–285.

Rao, M.A. (1999). *Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications*. Aspen Publishers, Gaithersburg.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231–1237.

Robbins, R. J. (2003). Phenolic Acids in Foods: An Overview of Analytical Methodology. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 2866–2887.

Rubinskiene, M., & Viskelis, P. (2005). Impact of various factors on the composition and stability of black currant anthocyanins. *Food Research International*, 38, 867– 871.

Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Morais, S. M., Sampaio, C. G., Pérez-Jiménez, J., & Saura-Calixto F. D. (2007). Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS+. *Comunicado Técnico*, 128, 1-4.

Santiago, M. C. P. A., Gouvêa, A. C. M. S., Godoy, R. L. O., Borguini, R. G., Pacheco, S., … Freitas, S. P. (2014). Analytical standards production for the analysis of pomegranate anthocyanins by HPLC. *Braz. J. Food Technol*, 17, 51–57.

Sarkis, J. R., Jaeschke, D. P., Tessaro, I. C., & Marczak, L. D. F. (2013). Effects of ohmic and conventional heating on anthocyanin degradation during the processing of blueberry pulp. *LWT - Food Science and Technology*, 51, 79–85.

Saura-Calixto, F., & Goñi, I. (2006). Antioxidant capacity of the Spanish Mediterranean diet. *Food Chemistry*, 94, 442–447.

Schulz, M., Borges, G. da S. C., Gonzaga, L. V., Seraglio, S. K. T., Olivo, I. S., Azevedo, M. S., … Fett, R. (2015). Chemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of juçara fruit (Euterpe edulis Martius) during ripening. *Food Research International*, 77, 125–131.

Schulz, M., da Silva Campelo Borges, G., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Juçara fruit (Euterpe edulis Mart.): Sustainable exploitation of a source of bioactive compounds. *Food Research International*, 89, 14–26.

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.*, 16, 144.

Steffe, J.F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering* (2nd ed). Freeman Press, East Lansing.

Tan, J., & Kerr, W. L. (2015). Rheological properties and microstructure of tomato puree subject to continuous high pressure homogenization. *Journal of Food*

Engineering, 166, 45–54.

Tonon, R. V., Alexandre, D., Hubinger, M. D., & Cunha, R. L. (2009). Steady and dynamic shear rheological properties of açai pulp (Euterpe oleraceae Mart.). *Journal of Food Engineering*, 92, 425–431.

Walkling-Ribeiro, M., Noci, F., Cronin, D. A., Lyng, J. G., & Morgan, D. J. (2010). Shelf life and sensory attributes of a fruit *smoothie*-type beverage processed with moderate heat and pulsed electric fields. *LWT - Food Science and Technology*, 43, 1067–1073.

Wei, Y. P., Wang, C. S., & Wu, J. S. B. (2001). Flow properties of fruit fillings. *Food Research International*, 34, 377–381.

Xu, Z., Lin, T., Wang, Y., & Liao, X. (2015). Quality assurance in pepper and orange juice blend treated by high pressure processing and high temperature short time. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 31, 28–36.

Zhang, J., Dhakal, I., Stone, A., Ning, B., Greene, G., Lang, N. P., & Kadlubar, F. F. (2007). Plasma carotenoids and prostate cancer: a population-based case-control study in Arkansas. *Nutrition and Cancer*, 59, 46–53.

5. EFEITO DA SONICAÇÃO SOBRE OS ATRIBUTOS DE QUALIDADE DE UM *SMOOTHIE* DE JUÇARA, BANANA E MORANGO

RESUMO

O efeito da sonicação sobre os parâmetros de qualidade de um *smoothie* de juçara, banana e morango foi avaliado utilizando um planejamento do tipo composto central rotacional tendo a potência (73,5 a 250,0 watts) e o tempo de processamento (7 a 36 minutos) como variáveis independentes. O *smoothie* sonicado foi avaliado quanto ao teor de antocianinas, cor instrumental, parâmetros microbiológicos, reológicos e físico-químicos. Nas condições de processamento avaliadas, foi possível reter 86% das antocianinas e não houve diferença significativa ($p < 0,05$) no pH e na acidez do produto. Em relação aos parâmetros de cor instrumental, apenas a luminosidade foi afetada pelas variáveis independentes. O fenômeno da cavitação, que ocorre durante a sonicação, diminuiu a viscosidade aparente do *smoothie*. As amostras do *smoothie* sonicado apresentaram comportamento não-newtoniano, característico de fluido pseudoplástico ($n<1$). A redução da carga microbiana foi observada apenas nos *smoothie* tratados a 220 watts, tanto por 7 quanto por 31 minutos. Em tais condições, a degradação das antocianinas foi fortemente dependente do tempo, o que indica que o uso do menor tempo (7 minutos), nesta potência de trabalho, deve ser a mais indicada para o processamento do *smoothie*.

Palavras-chaves: Ultrassom; Euterpe *edulis Martius*; Antocianinas; Viscosidade; Qualidade Microbiológica.

5.1. INTRODUÇÃO

O Brasil dispõe de diversas frutas nativas ricas em compostos antioxidantes de grande interesse do ponto de vista da saúde. Os compostos funcionais, em particular aqueles associados aos pigmentos, são considerados os de maior impacto na redução da incidência de doenças crônicas causadas pelo estresse oxidativo (PEIXOTO et al., 2016; ZAO et al., 2015; COSTA et al., 2013; RUFINO et al., 2010).

O cultivo de muitas dessas frutas é praticado em um modelo agrícola de pequena escala, ou mesmo extrativista, o que diminui a sua disponibilidade comercial. Aliado a isso, é importante ressaltar também que, devido aos atributos sensoriais característicos, algumas dessas frutas apresentam baixa aceitação quando consumidas *in natura* (SCHULZ et al., 2016). Neste sentido, a elaboração de novos produtos torna-se uma importante alternativa, no que diz respeito ao aumento do consumo dessas frutas e à agregação de valor às mesmas (NUNES et al., 2017; BHARDWAJ; PANDEY, 2011).

A juçara, fruta típica da Mata Attântica, comercializada principalmente sob a forma de polpa congelada, apresenta elevada concentração de antocianinas, composto fenólico responsável por sua coloração roxa e seu elevado poder antioxidante. Devido a estas características, a polpa de juçara apresenta-se como um importante ingrediente para o desenvolvimento de novos produtos com potencial funcionalidade para o organismo humano. Além disso, por apresentar baixo teor de sólidos solúveis, ou seja, pouco sabor doce, a combinação da polpa de juçara com outras frutas pode incrementar a sua aceitação sensorial (SCHULZ et al., 2016; GUERGOLETTO et al., 2016). Moreira et al. (2017) reportaram boa aceitação sensorial de um *blend* probiótico à base de juçara e manga. No presente trabalho, a polpa de juçara foi usada como ingrediente funcional no desenvolvimento de um *smoothie* contendo banana e morango.

Por se tratar de um produto de fruta, rico em nutrientes, os quais favorecem o crescimento de microrganismos, é necessário aplicar um método de conservação que prolongue sua vida útil, possibilitando sua comercialização. Tradicionalmente, a indústria de sucos e bebidas utiliza o tratamento térmico, em particular, a pasteurização, pois a temperatura promove uma redução significativa na carga microbiana de alimentos e bebidas.

A fim de atender a atual demanda do mercado consumidor que busca consumir

produtos mais saudáveis e com qualidade sensorial similar a de produtos frescos, muitas pesquisas têm sido conduzidas com métodos de conservação não-térmicos (HURTADO et al., 2015; KEENAN et al., 2012; TIWARI; O'DONNELL; CULLEN, 2009). O processamento com membranas tem sido aplicado para estabilização a frio de sucos e bebidas alcóolicas, pois pode evitar os impactos negativos das temperaturas elevadas tanto nos atributos sensoriais quanto nos compostos termossensíveis como vitaminas e antioxidantes naturalmente presentes nas matérias-primas vegetais (SAEEDUDDIN et al. 2017; ACHIR et al., 2016; CHEN; YU; RUPASINGHE, 2013). Entretanto, é um processo não adequado para produtos viscosos, já que ocorre a retenção de macromoléculas e alteração da viscosidade.

O ultrassom, por sua vez, devido ao fenômeno da cavitação, possibilita a destruição de microrganismos e a inativação enzimática, com reduzido impacto nas características sensoriais e compostos bioativos do produto, se comparado à pasteurização (SAEEDUDDIN et al., 2017; CERVANTES- ELIZARRARÁS et al., 2017; ENGMANN et al., 2015). Porém, sua eficiência depende de diversos fatores, tais como as características físicas e químicas da matriz alimentícia, carga microbiana, entre outros. Por esta razão, cada produto requer condições diferenciadas de processamento, necessitando de estudos específicos para o completo conhecimento dos efeitos da sonicação sobre as suas características (CHEMAT; HUMA; KHAN, 2011).

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeito da sonicação nas principais características de um *smoothie* de juçara, banana e morango, utilizando um planejamento experimental do tipo composto central rotacional, no qual o tempo e a potência de tratamento foram os fatores avaliados.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1. Material e desenvolvimento do *smoothie*

Para a realização deste trabalho foram utilizadas polpas comerciais de morango (Sempre Viva) e juçara (Vip Polpa), ambas congeladas e não pasteurizadas. A polpa de morango foi adquirida no comércio local da cidade do Rio de Janeiro e a polpa de juçara foi adquirida diretamente da indústria processadora, do Espírito Santo. A polpa de juçara foi submetida a um pré-tratamento em centrífuga de cestos com malha de nylon de 150 µm (Centrifugal IEC - Model K7165, EUA), a fim de remover os sólidos em suspensão provenientes do despolpamento e reduzir a fração lipídica, uma vez que esta

contribui para oxidação do produto, podendo comprometer sua qualidade sensorial.

A polpa de banana foi obtida pelo despolpamento dos frutos da variedade nanica, adquiridas no comércio local do Rio de Janeiro, em despolpadeira horizontal (Itametal, Brasil) provida de peneira inox de 1,5 mm e pás de polietileno. Para o despolpamento foram utilizadas bananas em estádio de maturação 6, ou seja, casca totalmente amarela, conforme escala de maturação descrita por Aurore, Parfait e Fahrasmane (2009).

As polpas foram combinadas levando-se em consideração a composição e o impacto de cada uma para a formulação de um produto sem adição de açúcar, ácidos ou conservadores. A banana visou conferir doçura, o morango, balancear o pH, diminuindo a possibilidade de crescimento microbiano, e a juçara foi o principal ingrediente em termos de compostos bioativos, como os fenólicos, em especial as antocianinas, que, além das propriedades potencialmente funcionais, atuam como corante natural. Todas as polpas foram armazenadas sob congelamento a -18 °C até o momento da realização dos experimentos.

O *smoothie* foi obtido pela mistura das polpas de juçara (20%), banana (40%) e morango (40%) em liquidificador industrial, sendo homogeneizado (controle) em um homogeneizador APV Gaulin (EUA) a 60 MPa. Após o processamento, amostras do *smoothie* sonicado foram congeladas a -18 ºC até o momento de realização das análises químicas e físico-químicas. As análises físicas foram realizadas logo após a sonicação, evitando, assim, os efeitos do congelamento sobre a cor e as características reológicas do produto.

5.2.2. Processamento do *smoothie*

A sonicação foi conduzida em batelada em um processador Ultrasonic UIP-1000hd da Hielscher (Teltow, Alemanha) (frequência 20 kHz - 230 volts) com intensidade de potência de 200 $W.cm^{-2}$, equipado com transductor IP65 de titânio, *Buster* B4 1.8 com área de 2.5 cm^2, e sonotrodo BS2d18, estando este último 20 mm submerso na amostra (Figura 5.1).

A cada processo, 200 mL do *smoothie* foram acondicionados em um reator de vidro encamisado, acoplado a um banho termostático programado a 10 °C. Utilizou-se um delineamento experimental do tipo composto central rotacional, no qual a potência e

o tempo de processamento foram as variáveis independentes, para avaliar o efeito de sonicação nos atributos de qualidade do *smoothie* de juçara, banana e morango (Tabela 5.1). Neste caso, foram avaliadas como respostas o teor de antocianinas monoméricas totais, a cor instrumental, as características reológicas e físico-químicas e a qualidade microbiológica.

Foto: Leilson Ribeiro

Figura 5.1 - Equipamento de ultrassom em batelada.

As faixas de tempo e potência de sonicação empregadas neste estudo foram baseadas nos dados reportados por Dias et al. (2015), Costa et al. (2013) e Keenan et al. (2012), os quais também avaliaram os efeitos da sonicação nos parâmetros de qualidade de sucos de frutas. O gradiente de temperatura (ΔT), dado pela diferença entre a temperatura final e a temperatura inicial das amostras, foi registrado em todos os ensaios.

Tabela 5.1 - Planejamento experimental do tipo composto central rotacional para a sonicação do *smoothie* de juçara, banana e morango.

Ensaio	Variáveis codificadas		Variáveis reais	
			Tempo (minutos)	Potência (watts)
1	-1	-1	7	73,5
2	1	-1	31	73,5
3	-1	1	7	220
4	1	1	31	220
5	0	0	19	147
6	0	0	19	147
7	0	0	19	147
8	-1,41	0	2	147
9	1,41	0	36	147
10	0	-1,41	19	43,5
11	0	1,41	19	250

5.2.3. Métodos analíticos

5.2.3.1. Antocianinas monoméricas totais

As antocianinas monoméricas totais foram quantificadas pelo método do pH diferencial (GIUSTI; WROLSTAD, 2001), utilizando a cianidina-3-glucosídeo como referência, cujo coeficiente de extinção molar é de 26900 $M^{-1}cm^{-1}$ e massa molecular de 449.2 $g.gmol^{-1}$. Os extratos obtidos foram diluídos em tampão pH 1.0 e pH 4.5, separadamente, e, após 30 minutos de estabilização, as absorvâncias das soluções foram lidas a 510 e 700 nm.

5.2.3.2. Cor instrumental

A análise instrumental de cor foi realizada em colorímetro (ColorQuest XE, Hunterlab) utilizando o sistema CIELab/CIELCH de coordenadas L*, a*, b*, e ângulo Hue (h) com abertura de 0,375 mm de diâmetro, com iluminante D65/10 (FERREIRA,

1981), onde L* = luminosidade (0 = preto e 100 = branco); a* (-80 até zero = verde, do zero ao +100 = vermelho); b* (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo); H° ângulo Hue = arctan (b*/a*).

5.2.3.3. Características físico-químicas

As determinações foram realizadas seguindo as metodologias propostas pela AOAC (2006). Para as medidas de pH e acidez titulável foi utilizado um titulador automático devidamente calibrado (785 DMP Titrino, Metrohm). A determinação dos sólidos solúveis foi realizada em refratômetro digital portátil (Pal-3, Atago).

5.2.3.4. Características microbiológicas

Foi realizada análise para detecção de *Salmonella sp*, coliformes a 45 ºC, contagem de bactérias aeróbias mesófilas e de fungos filamentosos e leveduras, segundo as metodologias recomendadas pela *American Public Health Association* (2001).

5.2.3.5. Características reológicas

As análises reológicas, em regime estacionário, foram realizadas em um Reômetro HaakeMARS II (Thermo Electron Corporation) (Karlsruhe, Alemanha). Utilizou-se um dispositivo tipo placa-placa (PP60Ti) e uma abertura de 1 mm. A temperatura de análise foi mantida a 25 ºC por meio de um termostato "peltier" instalado na placa inferior. O tempo de cada determinação experimental foi de 3 minutos, obtendo-se 90 pontos de deformação (0 – 600 s^{-1}).

O modelo da Lei de Potência (Equação 1) foi ajustado aos dados obtidos de tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação, por meio de regressão não linear com auxílio do *software* Statistica 12.

$$\tau = k.\gamma^n \ldots \text{Eq. 1}$$

onde: τ é a tensão de cisalhamento (Pa), k é o índice de consistência ($Pa.s^n$), γ é a taxa de deformação (s^{-1}) e n é o índice de comportamento.

5.2.4. Análise dos dados

Os resultados das variáveis dependentes adotadas como resposta foram apresentados como médias ± desvio padrão de análises conduzidas em triplicata. A análise estatística dos dados experimentais foi realizada no software Statistica 12 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, EUA). Análise de variância e *F-test* foram utilizados para

estimar a significância dos efeitos e modelos observados.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1. Antocianinas

A sonicação reduziu o teor de antocianinas do *smoothie* de juçara, banana e morango, que variou de 12,02 a 13,88 mg.100 g^{-1}, independentemente das condições operacionais aplicadas. Em relação ao controle, a amostra com maior degradação destes pigmentos (T4), tratada a 220 watts por 31 minutos, ainda apresentou retenção de 86% destes compostos (Tabela 5.2). Sabe-se que a cavitação, em processos de sonicação, pode causar a degradação de compostos bioativos (CHEMAT; HUMA; KHAN, 2011), o que foi verificado no presente trabalho. Isto acontece em função das condições físicas extremas que ocorrem durante o processamento, causando a formação e colapso das bolhas de cavitação, o que promove o aumento de temperatura e da pressão no meio (TIWARI et al., 2010). Além disso, a interação das antocianinas, por exemplo, com os radicais livres formados durante a sonicação, facilita a ruptura da estrutura deste pigmento (SADILOVA; CARLE; STINTZING, 2007).

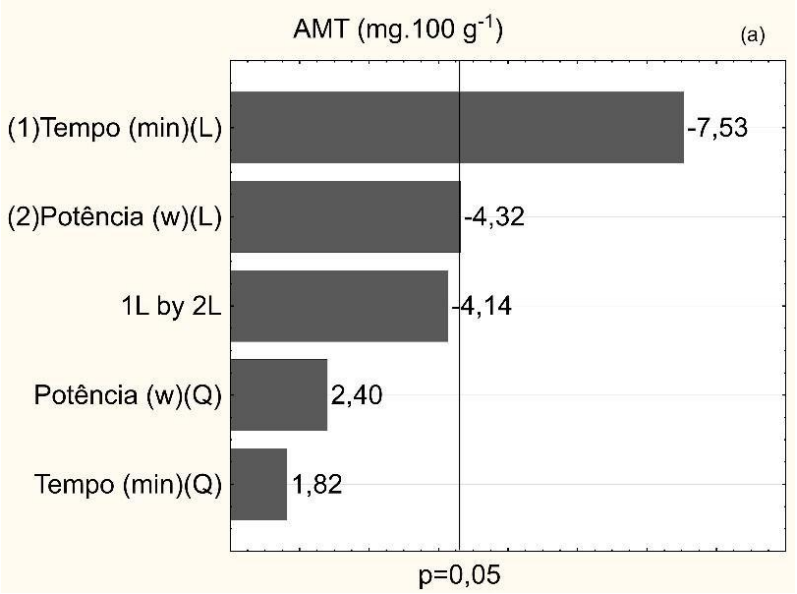
Tiwari, O'Donnell e Cullen (2009), na condição mais drástica de sonicação, observaram 5% de degradação das antocianinas de suco de amora. Neste caso, a amplitude, tempo e intensidade teórica aplicados foram 100%, 10 minutos e 18,75 $W.cm^{-2}$, respectivamente. Mohideen et al. (2015), no processamento de suco de mirtilo por ultrassom realizado em modo contínuo a 24 $mL.min^{-1}$ e 93.5 $mL.min^{-1}$, com faixa de amplitude de 40 a 100%, não observaram degradação significativa no teor de antocianinas. Assim, verifica-se que a maior perda de antocianinas (14%) observada neste trabalho foi superior aos dados reportados pela literatura, o que se deve à intensidade de potência aplicada, que foi dez vezes maior que aquela reportada por Tiwari, O'Donnell e Cullen (2009) e, também, ao uso do processamento em batelada, sem agitação, o qual aumenta o tempo de contato do produto com a sonda, favorecendo a degração do pigmento, em comparação com o processamento em modo contínuo adotado por Mohideen et al. (2015).

Tabela 5.2 - Antocianinas, cor instrumental, características físico-químicas e reológicas do *smoothie* de juçara, banana e morango sonicado e do *smoothie* controle.

Amostras	AMT[1]	L*	a*	H°	pH	Acidez[2]	SS	$\eta_{100\ s^{-1}}$ ($Pa.s^{-1}$)	n	k	Δt (ºC)
Controle	14,0 ± 0,5	35,8 ± 0,6	9,3 ± 0,3	359 ± 0	4,2 ± 0,1	0,44 ± 0,02	11,5 ± 0,1	0,24 ± 0,02	0,30	6,2	-
T1 (73,5 W/7 min)	13,5 ± 0,1	35,7 ± 0,2	9,0 ± 0,1	359 ± 0	4,2 ± 0,1	0,44 ± 0,01	11,4 ± 0,4	0,19 ± 0,01	0,30	4,7	12
T2 (73,5 W/31min)	13,5 ± 0,4	35,8 ± 0,2	9,1 ± 0,0	359 ± 0	4,2 ± 0,1	0,44 ± 0,01	11,6 ± 0,1	0,16 ± 0,01	0,34	3,4	14
T3 (220 W/7 min)	13,6 ± 0,2	36,2 ± 0,5	9,5 ± 0,1	360 ± 0	4,2 ± 0,1	0,41 ± 0,01	11,6 ± 0,1	0,14 ± 0,01	0,36	2,8	43
T4 (220W/31 min)	12,0 ± 0,1	36,6 ± 0,7	8,9 ± 0,5	359 ± 0	4,2 ± 0,1	0,41 ± 0,01	11,1 ± 0,1	0,12 ± 0,01	0,34	2,5	44
T5 (147 W/19 min)	12,6 ± 0,2	36,0 ± 0,1	9,3 ± 0,1	360 ± 0	4,2 ± 0,0	0,44 ± 0,00	11,6 ± 0,1	0,14 ± 0,00	0,32	3,3	32
T6 (147 W/19 min)	13,0 ± 0,1	36,1 ± 0,3	9,2 ± 0,1	359 ± 0	4,4 ± 0,0	0,41 ± 0,01	11,6 ± 0,1	0,14 ± 0,00	0,35	2,7	33
T7 (147 W/19 min)	12,8 ± 0,2	36,3 ± 0,2	9,5 ± 0,4	360 ± 0	4,2 ± 0,0	0,44 ± 0,00	11,5 ± 0,1	0,14 ± 0,00	0,32	3,2	30
T8 (147 W/2 min)	13,9 ± 0,2	35,6 ± 0,1	8,9 ± 0,0	359 ± 0	4,2 ± 0,0	0,44 ± 0,01	11,5 ± 0,1	0,19 ± 0,01	0,32	4,4	24
T9 (147 W/36 min)	12,3 ± 0,3	36,2 ± 0,1	9,2 ± 0,1	359 ± 0	4,3 ± 0,0	0,42 ± 0,00	11,5 ± 0,1	0,12 ± 0,01	0,33	2,7	36
T10 (43,5 W/19 min)	13,5 ± 0,0	36,2 ± 0,2	9,4 ± 0,1	360 ± 0	4,2 ± 0,0	0,43 ± 0,00	11,5 ± 0,1	0,21 ± 0,00	0,30	5,6	18
T11 (250 W/19 min)	12,8 ± 0,2	36,6 ± 0,4	9,5 ± 0,2	360 ± 0	4,2 ± 0,0	0,44 ± 0,01	11,8 ± 0,1	0,24 ± 0,02	0,29	4,2	50

Resultados expressos como média ± desvio padrão. Entre parênteses estão apresentados os parâmetros operacionais dos tratamentos por sonicação (Potência em watts/ tempo em minutos). AMT - Antocianinas monoméricas totais. L* - luminosidade. a* - intensidade de vermelho. H° - ângulo Hue. SS – sólidos solúveis expressos em ºBrix. n – índice de comportamento. k – índice de consistência expresso em $Pa.s^n$. η – Viscosidade aparente a 100 s^{-1} expressa em Pa.s. [1]Resultados expressos em mg de cianidina-3-glicosídeo por 100g [2]Resultados expressos em gramas de ácido cítrico por 100 gramas.

Entretanto, verifica-se que as antocianinas apresentam certa estabilidade à sonicação em diferentes condições de processamento, uma vez que boa retenção delas foi observada nos estudos citados e no presente estudo, com retenção acima de 86%, demonstrando que esta tecnologia pode ser uma alternativa em potencial para o processamento não convencional de sucos de frutas, principalmente aqueles ricos neste pigmento.



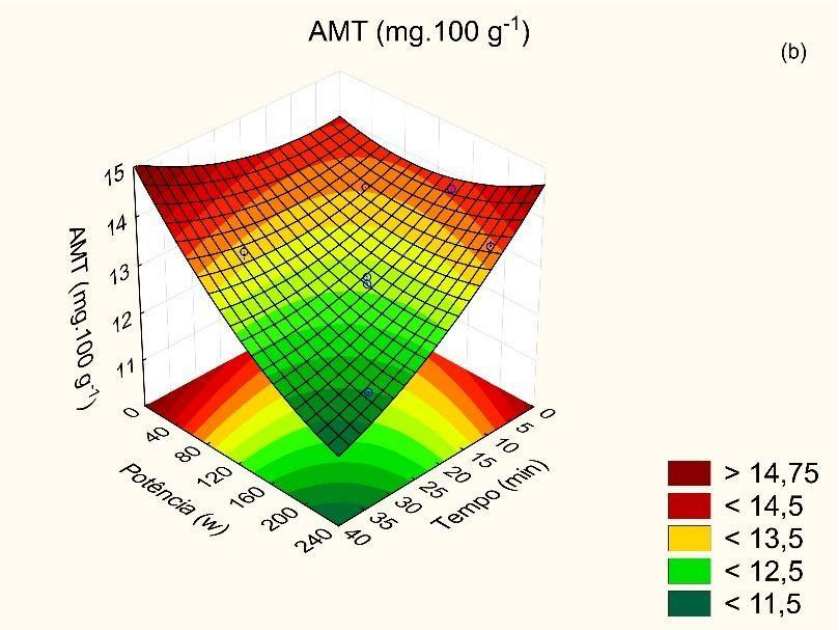


Figura 5.2 - Gráfico de Pareto (a) e superfície de resposta (b) dos efeitos das variáveis independentes sobre o teor de antocianinas monoméricas totais (AMT) do smoothie de juçara, banana e morango sonicado.

Com relação aos efeitos das variáveis independentes sobre o teor de antocianinas do *smoothie* (Figura 5.2a), o gráfico de Pareto indica que os efeitos lineares do tempo e da potência foram significativos e negativos, reforçando que longos tempos e altas potências de processamento comprometem o teor das antocianinas do produto.

Na Figura 5.2 (b) é mostrada a superfície de resposta para o teor de antocianinas associado às variáveis independentes. O ajuste foi estatisticamente significativo ($p<0.05$), uma vez que apresentou F_{calc} superior ao F_{tab} (21.92 e 5.05, respectivamente) e elevado coeficiente de determinação ($R^2=0.97$).

5.3.2. Cor instrumental

Observou-se pouca variação nos parâmetros luminosidade, intensidade de vermelho (a*) e ângulo Hue (H°) das amostras de *smoothie* submetidas às diferentes condições de sonicação.

Entre estas respostas, somente a luminosidade foi afetada ($p<0,05$) pelo tratamento, conforme mostrado no gráfico de Pareto (Figura 5.3a), no qual verifica-se que o efeito linear da potência foi positivo. Ou seja, com o aumento da potência houve aumento da luminosidade do produto. O modelo ajustado aos dados de luminosidade do *smoothie* em função das variáveis independentes de tratamento explicou 88% da variabilidade dos resultados para esta resposta. Além disso, o modelo foi significativo a 95% de confiança, pois apresentou F_{calc} (7.37) superior ao F_{tab} (5.05). Ao analisar o gráfico de superfície de resposta (Figura 5.3b), observa-se que a luminosidade do *smoothie* aumentou significativamente em potências superiores a 180 watts. Isto se deve, possivelmente, à quebra da estrutura celular das polpas pelo efeito da cavitação que desencadeia várias reações químicas e físicas, resultando na maior luminosidade do produto (CHEMAT; HUMA; KHAN, 2011).

Tiwari et al. (2010) e Dias et al. (2015) também reportaram que sucos de *red grape* e graviola tratados por sonicação apresentaram maior luminosidade que o suco controle. Segundo eles, isto se deve, inicialmente, à precipitação de partículas suspensas no suco devido à sonicação. Entranto, Aadil et al. (2013) ao avaliarem os efeitos da sonicação nos parâmetros de qualidade do suco de *grapefruit* tratado em diferentes tempos (30, 60 e 90 minutos) a 420 watts, verificaram a diminuição da luminosidade do suco, principalmente no tratamento mais drástico, sendo eles diferentes, estatisticamente, do controle.

Keenan et al. (2012) também observaram a redução da luminosidade de

smoothie de frutas formulado com maçã, suco concentrado de maçã, morango, banana e laranja submetido à sonicação em uma faixa de amplitude de 40 a 100% e tempo de 3 a 10 minutos, com intensidade de potência máxima igual 22,8 W.cm^{-2} quando a amplitude de 100% foi aplicada. No entanto, os autores citam que em termos práticos as alterações globais de cor foram bem pequenas, as quais possivelmente não seriam perceptíveis ao olho nu, o que também se observou no presente trabalho, principalmente no que diz respeito aos parâmetros a* (intensidade de vermelho) e H° (ângulo Hue), o qual representa a cor real do produto observada pelo consumidor

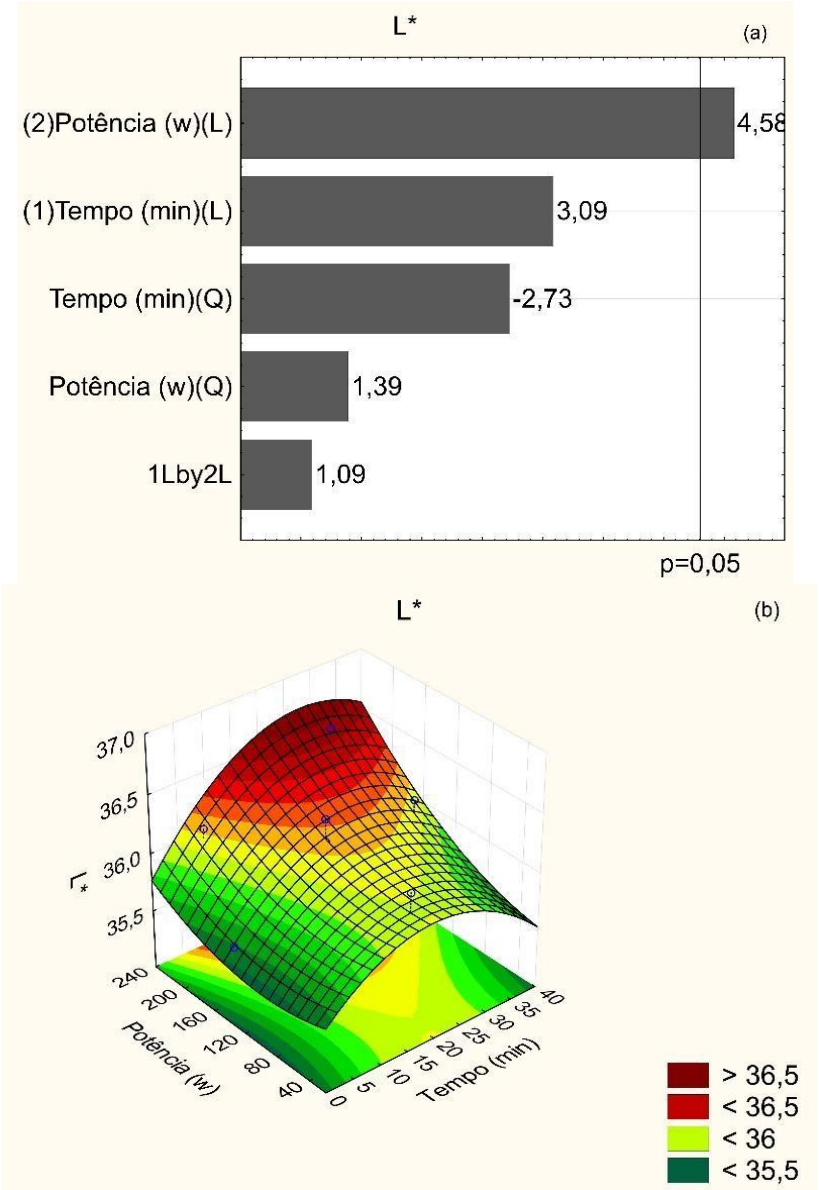


Figura 5.3 - Gráfico de Pareto (a) e superfície de resposta (b) dos efeitos das variáveis independentes sobre a luminosidade (L*) do *smoothie* de juçara, banana e morango sonicado.

5.3.3. Características físico-químicas

Entre os parâmetros físico-químicos pH, sólidos solúveis e acidez, apresentados na Tabela 5.2, apenas o teor de sólidos solúveis do *smoothie* foi afetado significativamente pelas condições operacionais, como mostra a Figura 5.4, na qual destaca-se o efeito da interação tempo/potência. No entanto, em termos práticos, este efeito não é relevante, pois se deve, principalmente, ao erro analítico do método.

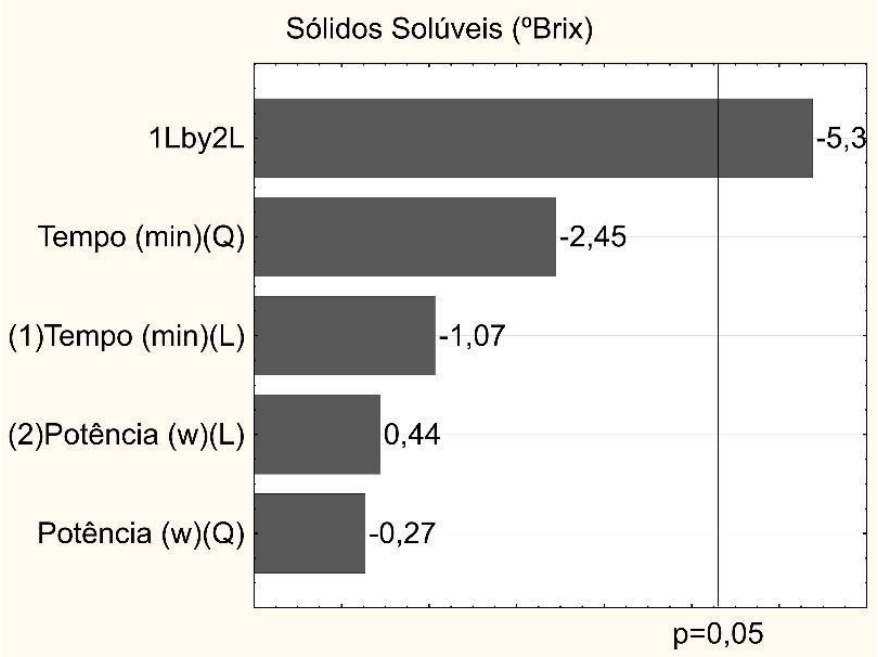


Figura 5.4 - Gráfico de Pareto mostrando o efeito da potência e do tempo de processo sobre o teor de sólidos solúveis do *smoothie* de juçara, banana e morango sonicado.

Os parâmetros pH e acidez não foram dependentes da potência e do tempo de processamento ($p>0,05$). Estes resultados estão em acordo com dados reportados por Chitgar et al. (2016) ao avaliarem os efeitos da sonicação sobre os parâmetros físico-químicos do suco de *barberry* e por Bhat e Goh (2017), na sonicação do suco de morango.

5.3.4. Características reológicas

Como esperado, a viscosidade aparente do *smoothie* foi afetada pela sonicação. Na Tabela 5.2 encontram-se, também, os valores da viscosidade aparente a uma taxa de deformação de 100 s^{-1}, a qual corresponde à maior parte dos processos da indústria de sucos de frutas (STEFFE, 1996), e os valores do índice de comportamento (n) e consistência (k) das amostras sonicadas em diferentes tempos e potência.

A maior redução da viscosidade aparente do *smoothie* (51%) foi observada nos tratamentos mais longos, correspondendo aos tempos de 31 e 36 minutos. No entanto, do ponto de vista industrial, tal redução pode ser considerada positiva, pois um fluido menos viscoso apresenta menor resistência durante o escoamento, refletindo em um menor custo energético no processamento (STEFFE, 1996; COSTA et al., 2013).

A cavitação foi, provavelmente, o fenômeno responsável pela redução da viscosidade do *smoothie*, por atuar nas estruturas celulares ao ponto de rompê-las devido às condições extremas, principalmente de pressão. Segundo Costa et al. (2013), que também observaram a redução da viscosidade do suco de abacaxi submetido à sonicação, considerado um material fibroso que contém grandes quantidades de pectina, a redução da viscosidade foi devido à quebra de moléculas pécticas, levando a uma diminuição do peso molecular dos carboidratos presentes no suco. O mesmo comportamento foi observado por Keenan et al. (2012) na sonicação de *smoothie* de frutas.

Pelo gráfico de Pareto (Figura 5.5a) pode-se observar que a redução da viscosidade aparente do *smoothie* foi significativamente influenciada pela potência e tempo de tratamento. Quanto maior a potência e o tempo de tratamento, menor a viscosidade aparente do *smoothie*.

Os parâmetros relativos ao modelo da Lei de Potência, obtidos por meio do ajuste dos dados experimentais do *smoothie* sonicado e do controle, são mostrados na Tabela 5.2. O modelo ajustou-se muito bem aos dados obtidos para todas as amostras avaliadas, apresentando valores superiores a 0,99 para o coeficiente de determinação (R^2) e $p<0.05$ ($F_{calc}/F_{tab} >> 10^2$).

Todas as amostras do *smoothie* sonicado e o controle apresentaram valores de índice de comportamento inferiores a 1, o que os classifica como fluidos não-Newtonianos do tipo pseudoplástico (STEFFE, 1996). Comportamento semelhante foi observado no purê de tomate (TAN; KERR, 2015) e nas polpas de açaí e de umbu (TONON et al., 2009; GOUVÊA et al., 2017).

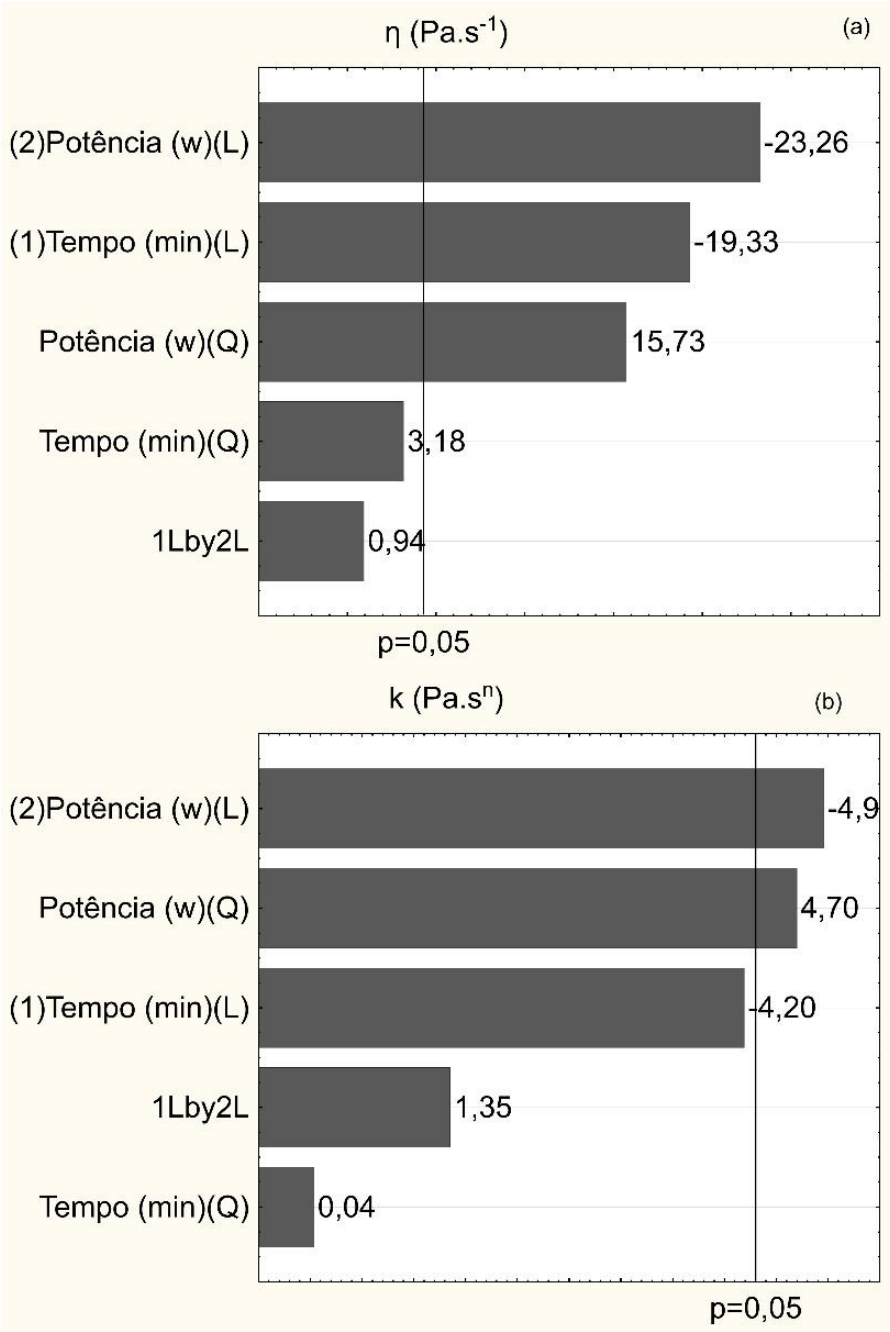


Figura 5.5 - Gráficos de Pareto mostrando o efeito da potência e do tempo de processo sobre a viscosidade aparente (a) e índice de consistência (b) do *smoothie* sonicado.

O índice de consistência (k) do *smoothie* apresentou o mesmo comportamento que a viscosidade aparente, ou seja, houve redução do mesmo após a sonicação. Isto mostra que a diminuição da viscosidade, causada pela possível quebra de polissacarídeos, impactou diretamente no índice de consistência das amostras, pois diminuiu o grau de empacotamento das partículas do produto. As amostras processadas apresentaram menor valor do k em relação ao controle, confirmando que a cavitação foi

responsável por estes resultados. Tan e Kerr (2015) também associaram a redução do tamanho das partículas de suco de tomate às zonas de cavitação formadas durante processos de homogeneização, as quais causam o aumento da pressão, temperatura e cisalhamento das partículas.

Com relação ao efeito das variáveis independentes sobre o índice de consistência do *smoothie* sonicado, observa-se, pelo gráfico de Pareto (Figura 5.5b), que a potência apresentou maior influência na redução deste parâmetro, sendo o seu efeito linear mais influente, ou seja, com o aumento da potência há redução da consistência do *smoothie*.

5.3.5. Qualidade microbiológica

Os processos que apresentaram os melhores resultados para redução de bactérias mesófilas e fungos filamentosos e leveduras são mostrados na Tabela 5.3 e correspondem aos tratamentos realizados a 220 watts por 7 e 31 minutos. Os demais tratamentos não promoveram redução da carga microbiana inicial (dados não mostrados). Verificou-se também, nestes tratamentos, ausência de *Salmonella sp* e contagem de coliformes a 45 °C menor que 3, conforme preconiza a legislação brasileira (BRASIL, 2001).

Tabela 5.3 - Qualidade microbiológica do *smoothie* de juçara, banana e morango sonicado e do controle.

Parâmetros	Controle	T3 (220 W/7 min)	T4 (220W/31 min)
Bactérias mesófilas ($UFC.g^{-1}$)	$1,4 \times 10^4$	$1,2 \times 10^3$	$2,3 \times 10^3$
Fungos filamentosos e leveduras ($UFC.g^{-1}$)	$6,5 \times 10^2$	$5,0 \times 10^1$	$1,0 \times 10^1$
Salmonella sp (ausência em 25g)	Ausência	Ausência	Ausência
Coliformes a 45 °C ($UFC.g^{-1}$)	< 3	< 3	< 3

Segundo Chemat, Huma e Khan (2011), a redução da carga microbiana em processos de sonicação se deve ao fenômeno da cavitação, o qual produz a formação de zonas de alta temperatura e alta pressão que são capazes de romper a estrutura celular

dos microrganismos. Além disso, a formação de radicais livres, devido a este fenômeno, pode também contribuir para a destruição de células microbianas.

Mohideen et al. (2015), avaliando o efeito da sonicação na qualidade microbiológica do suco de mirtilo, também observaram redução de coliformes totais, leveduras e bactérias aeróbias, sendo os melhores resultados alcançados na condição de processamento mais drástica. De igual modo, Jabbar et al. (2014) observaram a redução da carga microbiana do suco de cenoura sonicado a 525 watts por 5 minutos. No entanto, outros trabalhos com sucos de frutas têm mostrado que a sonicação não reduziu significativamente a contagem de microrganismos, tais como os reportados por Bhat e Goh (2017), para os sucos de morango sonicados usando 70% da potência nominal do equipamento por 30 e 60 minutos e por Tomadoni et al. (2017), para o suco de morango tratado a 180 watts por 10 e 30 minutos. Estes autores não observaram redução significativa na contagem de bactérias mesófilas e psicrotróficas em ambos os tempos, no entanto, os fungos e as leveduras foram significativamente afetados no tratamento mais longo.

Estes dados indicam que a eficiência da sonicação sobre a carga microbiana de sucos de frutas é também dependente da matriz, tipo e concetração de microrganismos na amostra inicial, do volume processado, e do tempo e potência aplicados no tratamento (CHEMAT; HUMA; KHAN, 2011). Considerando que a sonicação pode causar menos impacto sobre as principais características físico-químicas, atributos sensoriais, nutrientes e compostos bioativos dos alimentos, explorar o seu potencial por meio da sua combinação com outras tecnologias não-térmicas, como sugerido por Bhat e Goh (2017), torna-se uma abordagem de interesse tecnológico, pois pode aumentar o desempenho do tratamento do ponto de vista microbiológico, além de reduzir as perdas sensoriais, em geral significativas com o tratamento térmico convencional (SAEEDUDDIN et al., 2016; AADIL et al., 2013). A literatura reporta que a combinação da sonicação com a alta-pressão hidrostática e com radiação UV-C apresentaram bons resultados para a redução microbiana em sucos de frutas (ABID et al., 2014; CHAR et al., 2010).

5.3.6. Variação da temperatura

O aumento de temperatura durante a sonicação do *smoothie* confirma que o colapso das bolhas formadas pelo fenômeno da cavitação é responsável pelo calor

gerado. A avaliação estatística, por meio da análise do gráfico de Pareto, mostra que o efeito linear da variável potência foi o que mais contribuiu para o aumento da temperatura no processamento (Figura 5.6a). O modelo ajustado aos dados foi significativo, pois apresentou F_{calc} superior ao F_{tab} (F_{calc} = 16.96 e F_{tab} = 5.05) e coeficiente de determinação elevado (R^2 = 0.94). A superfície de resposta correspondente ao modelo ajustado é mostrada na Figura 5.6 (b).

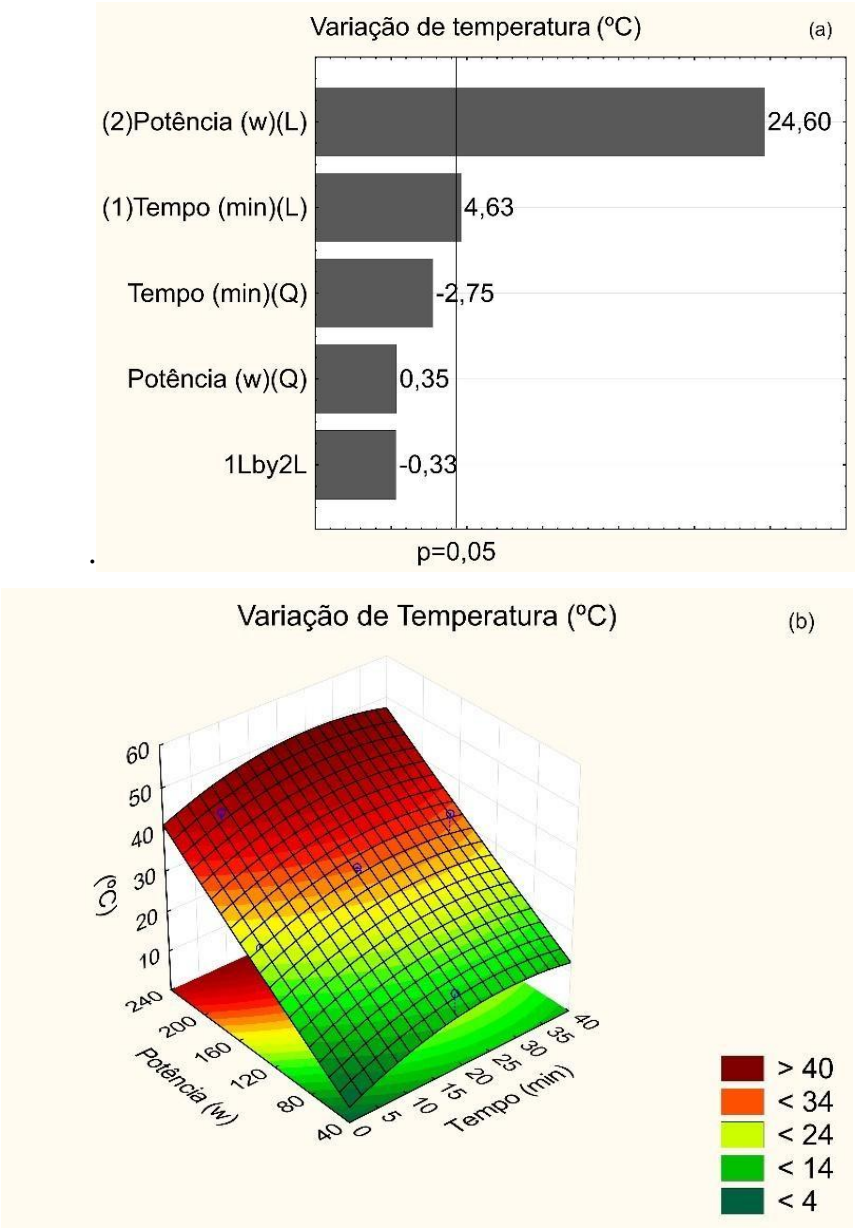


Figura 5.6 - Pareto (a) e superfície de resposta (b) dos efeitos das variáveis independentes sobre o aumento da temperatura do *smoothie* de juçara, banana e morango sonicado.

Uma vez que o aumento da temperatura é inerente à sonicação, cabe ressaltar

que o calor pode favorecer a degradação de microrganismos do alimento, permitindo condições mais brandas de processamento em comparação ao tratamento térmico convencional. Neste trabalho a temperatura máxima registrada, correspondente à maior potência (250 W) de processamento empregada, foi de 65 ºC.

Assim, os resultados obtidos, principalmente aqueles encontrados para o teor de antocianinas do *smoothie*, podem ser explicados pelo efeito sinérgico entre a cavitação e o calor. No entanto, ressalta-se, mais um vez, que a degradação deste pigmento, o qual pode ser considerado como um indicador de qualidade do processamento, foi pequena.

5.4. CONCLUSÕES

A sonicação não promoveu alterações relevantes nas características físico-químicas e na cor instrumental do *smoothie*, e afetou, significativamente, a viscosidade do produto. Observou-se retenção das antocianinas superior a 86% no *smoothie* sonicado em comparação ao controle. Por outro lado, apenas os tratamentos conduzidos a 220 watts foram efetivos na destruição de microrganismos. Assim, levando-se em consideração que no menor tempo houve maior retenção de antocianinas, o tratamento realizado a 220 watts por 7 minutos seria o mais recomendado para o processamento do *smoothie*. Pesquisas futuras, combinando a sonicação com outros métodos não-térmicos, podem ser conduzidas visando melhorar a qualidade microbiológica do produto e aumentar a retenção de antocianinas.

REFERÊNCIAS

American Public Health Association. (2001). Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Food (4th ed.). APHA. Press. Washington, D.C.

AOAC (2006). Official methods of analysis (14th ed.). Gaithersburg: Association o f Official Analytical Chemists.

Aadil, R. M., Zeng, X. A., Han, Z., & Sun, D. W. (2013). Effects of ultrasound treatments on quality of grapefruit juice. *Food Chemistry*, 141, 3201–3206.

Abid, M., Jabbar, S., Hu, B., Muhammad, M., Wu, T., Wu, Z., … Zeng, X. (2014). Synergistic impact of sonication and high hydrostatic pressure on microbial and enzymatic inactivation of apple juice. *LWT - Food Science and Technology*, 59, 70–76.

Achir, N., Dhuique-Mayer, C., Hadjal, T., Madani, K., Pain, J. P., & Dornier, M. (2016). Pasteurization of citrus juices with ohmic heating to preserve the carotenoid profile. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 397–404.

Aurore, G., Parfait, B., & Fahrasmane, L. (2009). Bananas, raw materials for making processed food products. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 78–91.

Bhardwaj, R. L., & Pandey, S. (2011). Juice Blends-A Way of Utilization of Under-Utilized Fruits, Vegetables, and Spices: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51, 563–570.

Bhat, R., & Ming, K. (2017). Sonication treatment convalesce the overall quality of hand- pressed strawberry juice. *Food Chemistry*, *215*, 470–476.

Brasil. (2001). ANVISA-Agência nacional de vigilância sanitária. Resolução RDC nº 12, de 02/01/2001. Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 jan. 2001, Seção I, p. 45-53.

Cervantes-Elizarrarás, A., Piloni-Martini, J., Ramírez-Moreno, E., Alanís-García, E., Güemes-Vera, N., Gómez-Aldapa, C. A., … del Socorro Cruz-Cansino, N. (2017). Enzymatic inactivation and antioxidant properties of blackberry juice after thermoultrasound: Optimization using response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 371–379.

Char, C. D., Mitilinaki, E., Guerrero, S. N., & Alzamora, S. M. (2010). Use of High-Intensity Ultrasound and UV-C Light to Inactivate Some Microorganisms in Fruit Juices. *Food and Bioprocess Technology*, 3, 797–803.

Chemat, F., Zill-E-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18, 813–835.

Chen, Y., Yu, L. J., & Rupasinghe, H. P. V. (2013). Effect of thermal and non-thermal pasteurisation on the microbial inactivation and phenolic degradation in fruit juice: a mini-review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 981–986.

Chitgar, F. M., Aalami, M., Maghsoudlou, Y., & Milani, E. (2016). Comparative Study on the Effect of Heat Treatment and Sonication on the Quality of Barberry (Berberis Vulgaris) Juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, 1-9.

Costa, A. G. V., Garcia-Diaz, D. F., Jimenez, P., & Silva, P. I. (2013). Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red–black berries. *Journal of Functional Foods*, 5, 539–549.

Costa, M. G. M., Fonteles, T. V., de Jesus, A. L. T., Almeida, F. D. L., de Miranda, M. R. A., Fernandes, F. A. N., & Rodrigues, S. (2013). High-Intensity Ultrasound Processing of Pineapple Juice. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 997–1006.

Dias, D. R. C., Barros, Z. M. P., cCarvalho, C. B. O., Honorato, F. A., Guerra, N. B., & Azoubel, P. M. (2015). Effect of sonication on soursop juice quality. *LWT - Food Science and Technology*, *62*(1, Part 2), 883–889.

Engmann, F. N., Ma, Y., Tchabo, W., & Ma, H. (2015). Ultrasonication Treatment Effect on Anthocyanins, Color, Microorganisms and Enzyme Inactivation of Mulberry (Moraceae nigra) Juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 854–862.

Ferreira, V. L. P. (1981). *Principles and Applications of Colorimetry in Food*. Campinas: ITAL.

Gouvêa, R. F., Ribeiro, L. O., Souza, É. F., Penha, E. M., Matta, V. M., & Freitas, S. P. (2017). Effect of enzymatic treatment on the rheological behavior and vitamin C content of Spondias tuberosa (umbu) pulp. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 2176- 2180.

Guergoletto, K. B., Costabile, A., Flores, G., Garcia, S., & Gibson, G. R. (2016). In vitro fermentation of juçara pulp (Euterpe edulis) by human colonic microbiota. *Food Chemistry*, 196, 251–258.

Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). *Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy*. In R. E. Wrolstad (Ed.), Current protocols in food analytical chemistry. New York: John Wiley & Sons.

Hurtado, A., Picouet, P., Jofré, A., Guàrdia, M. D., Ros, J. M., & Bañón, S. (2015). Application of High Pressure Processing for Obtaining B Fresh-Like Fruit

Smoothies. *Food and Bioprocess and Technology*, 8, 2470–2482.

Jabbar, S., Abid, M., Hu, B., Muhammad Hashim, M., Saeeduddin, M., Lei, S., … Zeng, X. (2014). Influence of sonication and high hydrostatic pressure on the quality of carrot juice. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 2449–2457.

Keenan, D. F., Rößle, C., Gormley, R., Butler, F., & Brunton, N. P. (2012). Effect of high hydrostatic pressure and thermal processing on the nutritional quality and enzyme activity of fruit *smoothies*. *LWT - Food Science and Technology*, 45, 50–57.

Keenan, D. F., Tiwari, B. K., Patras, A., Gormley, R., Butler, F., & Brunton, N. P. (2012). Effect of sonication on the bioactive, quality and rheological characteristics of fruit *smoothies*. *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 827–836.

Mohideen, F. W., Solval, K. M., Li, J., Zhang, J., Chouljenko, A., Chotiko, A., … Sathivel, S. (2015). Effect of continuous ultra-sonication on microbial counts and physico-chemical properties of blueberry (Vaccinium corymbosum) juice. *LWT - Food Science and Technology*, 60, 563–570.

Moreira, R. M., Martins, M. L., de Castro Leite Júnior, B. R., Martins, E. M. F., Ramos, A. M., Cristianini, M., … de Souza Pereira, D. C. (2017). Development of a juçara and Ubá mango juice mixture with added Lactobacillus rhamnosus GG processed by high pressure. *LWT - Food Science and Technology*, 77, 259–268.

Nunes, M. A., Costa, A. S. G., Barreira, J. C. M., Vinha, A. F., Alves, R. C., Rocha, A., & Oliveira, M. B. P. P. (2016). How functional foods endure throughout the shelf storage? Effects of packing materials and formulation on the quality parameters and bioactivity of *smoothies*. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 70–78.

Peixoto, F. M., Fernandes, I., Gouvêa, A. C. M. S., Santiago, M. C. P. A., Borguini, R. G., Mateus, N., … Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2016). Simulation of in vitro digestion coupled to gastric and intestinal transport models to estimate absorption of anthocyanins from peel powder of jabuticaba, jamelão and jambo fruits. *Journal of Functional Foods*, *24*, 373–381.

Rufino, M. do S. M., Alves, R. E., de Brito, E. S., Pérez-Jiménez, J., Saura-Calixto, F.,

& Mancini-Filho, J. (2010). Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non- traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 121, 996–1002.

Sadilova, E., Carle, R., & Stintzing, F. C. (2007). Thermal degradation of anthocyanins and its impact on color and in vitro antioxidant capacity. *Molecular Nutrition & Food Research*, 51, 1461–1471.

Saeeduddin, M., Abid, M., Jabbar, S., Hu, B., Hashim, M. M., Khan, M. A., … Zeng, X. (2016). Physicochemical parameters, bioactive compounds and microbial quality of sonicated pear juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 51, 1552– 1559.

Saeeduddin, M., Abid, M., Jabbar, S., Wu, T., Yuan, Q., Riaz, A., … Zeng, X. (2017). Nutritional, microbial and physicochemical changes in pear juice under ultrasound and commercial pasteurization during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, 1-7.

Schulz, M., da Silva Campelo Borges, G., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Juçara fruit (Euterpe edulis Mart.): Sustainable exploitation of a source of bioactive compounds. *Food Research International*, 89, 14–26.

Steffe, J.F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering* (2nd ed). Freeman Press, East Lansing.

Tan, J., & Kerr, W. L. (2015). Rheological properties and microstructure of tomato puree subject to continuous high pressure homogenization. *Journal of Food Engineering*, 166, 45–54.

Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P., & Cullen, P. J. (2009). Effect of sonication on retention of anthocyanins in blackberry juice. *Journal of Food Engineering*, 93, 166–171.

Tiwari, B. K., Patras, A., Brunton, N., Cullen, P. J., & O'Donnell, C. P. (2010). Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17, 598–604.

Tomadoni, B., Cassani, L., Viacava, G., Moreira, M. D. R., & Ponce, A. (2017). Effect of ultrasound and storage time on quality attributes of strawberry juice. *Journal of Food Process Engineering*, 40, 1-8.

Tonon, R. V., Alexandre, D., Hubinger, M. D., & Cunha, R. L. (2009). Steady and

dynamic shear rheological properties of açai pulp (Euterpe oleraceae Mart.). *Journal of Food Engineering*, 92, 425–431.

Zhao, M., Wang, P., Zhu, Y., Liu, X., Hu, X., & Chen, F. (2015). Blueberry anthocyanins extract inhibits acrylamide-induced diverse toxicity in mice by preventing oxidative stress and cytochrome P450 2E1 activation. *Journal of Functional Foods*, 14, 95–101.

6. AVALIAÇÃO GASTROINTESTINAL *IN VITRO* DE *SMOOTHIE* DE JUÇARA, BANANA E MORANGO: EFEITO DO PROCESSAMENTO NA BIOACESSIBILIDADE DOS SEUS COMPOSTOS FENÓLICOS E POTENCIAL ANTIOXIDANTE

RESUMO

Neste trabalho foi avaliada a bioacessibilidade dos principais compostos fenólicos de um *smoothie* de juçara, banana e morango homogeneizado (controle) e submetido a dois diferentes processos de conservação, a pasteurização e a sonicação. O *smoothie* foi também avaliado quanto a suas principais características químicas e físicas. O *smoothie* pasteurizado apresentou maior viscosidade aparente, bem como maior tensão inicial durante seu escoamento quando comparado ao controle e à amostra sonicada. O aumento na viscosidade aparente do *smoothie* pasteurizado foi associado ao menor tamanho das partículas desta amostra (68 µm). Tais características conferiram ao *smoothie* pasteurizado maior estabilidade física, destacando-o do controle e do *smoothie* sonicado. A bioacessibilidade dos compostos fenólicos foi maior nos *smoothies* pasteurizado e sonicado do que na amostra controle, o que confirmou o efeito positivo dos tratamentos para a preservação destes compostos após a digestão gastrointestinal. Se comparado com o processo de sonicação, a pasteurização proporcionou maior bioacessibilidade dos compostos fenólicos totais (47%), como também dos ácidos ferúlico (16,4%) e elágico (80%). A capacidade antioxidante, medida pela redução do radical ABTS, foi maior na digesta gástrica para todas as amostras avaliadas. No entanto, as digestas intestinais também apresentaram tal potencial. Estes resultados confirmam a importância do processamento para a estabilidade física e a bioacessibilidade dos compostos fenólicos do *smoothie* de juçara, banana e morango, com destaque para o produto tratado termicamente.

Palavras-chaves: *Euterpe edulis*; avaliação gastrointestinal harmonizada; microscopia óptica; reologia.

6.1. INTRODUÇÃO

A juçara *(Euterpe edulis* Martius), palmeira típica da Mata Atlântica brasileira, produz frutos ricos em compostos potencialmente antioxidantes, como as antocianinas (BICUDO; RIBANI; BETA et al., 2014; SCHULZ et al., 2015). Uma vez que as antocianinas atuam como corante e antioxidante natural e que, individualmente, a polpa de juçara apresenta baixa aceitação sensorial, principalmente por seus baixos teores de sólidos solúveis, seu uso como ingrediente funcional em novas formulações tem sido estimulado (RIBEIRO et al., 2018).

Sabe-se que produtos derivados de frutas, como os *smoothies*, por serem ricos em nutrientes e, por isso, passíveis de crescimento microbiano, devem ser estabilizados microbiologicamente (AZOFEIFA et al., 2015; SANTHIRASEGARAM et al., 2014). O tratamento térmico tem sido, tradicionalmente, o método mais aplicado, uma vez que reduz a carga microbiana inicial, tornando o produto próprio para o consumo. Entretanto, as condições de processamento podem causar efeitos negativos no produto, tais como o sabor residual de cozido, escurecimento, além da redução do teor de compostos potencialmente benéficos à saúde, em particular as vitaminas (RIBEIRO et al., 2017; DUTRA et al., 2012).

Tecnologias não térmicas têm sido avaliadas como alternativas para redução da carga microbiana, por causar menos impacto nos compostos termolábeis, ampliando a oferta de produtos processados com apelo funcional. Neste sentido, o uso de ondas acústicas no processamento de alimentos tem se difundido como uma alternativa para a conservação dos mesmos. O ultrassom, pelo fenômeno da cavitação, pode garantir, simultaneamente, a destruição de microrganismos e a inativação enzimática. Porém, sua eficiência depende de diversos fatores, como as características físicas e químicas do produto, a concentração e tipo de microrganismos presentes no alimento, entre outros. Por esta razão, cada produto requer condições diferenciadas de processamento, necessitando de estudos específicos para ampliar o conhecimento dos efeitos da sonicação sobre a qualidade dos alimentos (CHEMAT; HUMA; KHAN et al., 2011).

A avaliação dos efeitos da digestão sobre os compostos potencialmente bioativos presentes nos alimentos naturais e processados é uma tendência que tem contribuído para interpretação dos resultados das pesquisas tecnológicas associadas à nutrição humana. Esta avaliação tem sido fortemente estimulada pela comunidade científica, pois

pouco se sabe sobre o comportamento dos compostos bioativos do alimento ao longo do trato gastrointestinal. A bioacessibilidade, uma das respostas obtidas pela avaliação gastrointestinal *in vitro*, é definida como a quantidade de cada composto ingerido que fica disponível para absorção no intestino após a digestão. Assim, avaliar a composição e quantidade de compostos bioativos disponíveis em matrizes alimentícias, por meio da digestão *in vitro*, possibilita o entendimento dos efeitos destes compostos no organismo humano (PALAFOX-CARLOS; AYALA-ZAVALA; GONZÁLEZ-AGUILAR, 2011).

Os modelos de digestão *in vitro* têm sido amplamente utilizados com o objetivo de estudar, por meio da simulação das condições gastrointestinais, as alterações estruturais, a digestibilidade e a liberação de compostos presentes nos alimentos, fatores que podem modificar a bioacessibilidade dos principais compostos funcionais. Estes modelos compreendem, em geral, uma digestão com pepsina gástrica em pH ácido, seguida de uma digestão com pancreatina e sais biliares em condições alcalinas (MINEKUS et al., 2014; ALMINGER et al., 2014).

A avaliação gastrointestinal *in vitro* permite simular os principais efeitos da digestão na matriz alimentícia sem envolver questões éticas necessárias nos testes *in vivo*, o que dinamiza o estudo, tornando-a uma técnica potencial para este fim (MCCLEMENTS; LI, 2010).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a bioacessibilidade *in vitro*, pelo uso de um sistema gastrointestinal estático, dos principais compostos fenólicos do *smoothie* de juçara, banana e morango submetido aos processos de pasteurização e sonicação, como também caracterizar os dois produtos quanto às suas principais características químicas e físicas.

6.2. MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1. Material

Para a realização deste trabalho foram utilizadas polpas comerciais de morango (Sempre Viva) e juçara (Vip Polpa), ambas congeladas e não pasteurizadas. A polpa de morango foi adquirida no comércio local da cidade do Rio de Janeiro e a polpa de juçara foi adquirida diretamente da indústria processadora, de Rio Novo do Sul, Espírito Santo. A polpa de juçara foi processada em centrífuga de cestos com malha de nylon de 150 µm (Centrifugal IEC - Model K7165, EUA), a fim de remover os sólidos em suspensão

provenientes do despolpamento e reduzir a fração lipídica, uma vez que esta pode comprometer a qualidade do produto, por causar rancidez oxidativa.

A polpa de banana foi obtida pelo despolpamento dos frutos da variedade nanica, adquiridas no comércio local de Guaratiba/RJ, em despolpadeira horizontal (Itametal, Brasil) provida de peneira inox de 1,5 mm e pás de polietileno. Para o despolpamento foram utilizadas bananas em estádio de maturação classificado como 6, ou seja, casca totalmente amarela, conforme escala de maturação descrita por Aurore, Parfait e Fahrasmane (2009).

Todas as polpas foram armazenadas sob congelamento a -18 °C até o momento da realização dos experimentos.

6.2.2. Processamento

O *smoothie* obtido pela mistura das polpas de banana (40%), morango (40%) e juçara (20%) (RIBEIRO et al., 2018) foi misturado por agitação mecânica em liquidificador industrial e homogeneizado a 60 MPa (APV Gaulin, EUA) (controle). A amostra controle foi, posteriormente, submetida à pasteurização (*smoothie* pasteurizado) ou sonicação (*smoothie* sonicado) conforme descrito a seguir.

O produto foi pasteurizado em um trocador de calor de superfície raspada (FT25D, Armfield, Inglaterra) a 90 °C por 35 s, sendo o envase, a frio, realizado em câmara de envase ultra-limpa.

A sonicação foi conduzida em batelada em um processador Ultrasonic UIP-1000hd da Hielscher (Teltow, Alemanha) (frequência 20 kHz - 230 volts), equipado com transductor IP65 de titânio, *Buster* B4 1.8 com área de 2,5 cm², 20 mm submerso na amostra e sonotrodo BS2d18. 200 mL do *smoothie* foram acondicionados em um reator de vidro encamisado, acoplado a um banho termostático programado a 10 °C, no qual o produto foi sonicado por 7 minutos a 220 watts.

Os produtos foram armazenados sob congelamento até a realização das análises químicas e físicas como também dos ensaios de digestão gastrointestinal *in vitro*.

6.2.3. Avaliação gastrointestinal *in vitro*

A avaliação gastrointestinal *in vitro*, em sistema estático, foi realizada conforme a metodologia descrita por Minekus et al. (2014). Resumidamente, são descritas as

etapas avaliadas neste trabalho de acordo com a metodologia proposta por estes autores. Todos os ensaios foram realizados em tubos *falcon* de 50 mL, mantidos em um banho termostático agitado a 120 rpm a 37 ºC, para simulação das fases da digestão.

Tabela 6.1 - Soluções usadas para a simulação da digestão gastrointestinal dos *smoothies*.

			Solução salivar (pH 7,0)	Solução gástrica (pH 3,0)	Solução intestinal (pH 7,0)
Sais	Solução estoque (Concentração)		Solução estoque para preparar 500 mL		
	$g.L^{-1}$	$mol.L^{-1}$	Vol (mL)	Vol (mL)	Vol (mL)
KCl	37,3	0,5	15,1	6,9	6,8
KH_2PO_4	68	0,5	3,7	0,9	0,8
$NaHCO_3$	84	1,0	6,8	12,5	42,5
NaCl	117	2,0	-	11,8	9,6
$MgCl_2(H_2O)_6$	30,5	0,15	0,5	0,4	1,1
$(NH_4)_2CO_3$	48	0,5	0,06	0,5	-
HCl	-	6,0	0,09	1,3	0,7

Na fase oral, 5 g de amostra foram misturadas a 4 mL de fluido salivar (Tabela 6.1), 25 µL de $CaCl_2$ 0,3 M, 0,5 mL de solução aquosa de amilase 75 $U.mL^{-1}$ e 0,475 mL de água grau Milli-Q, mantendo-se a mistura incubada por 2 min. Após este período, iniciou-se a etapa gástrica da digestão. Para tal, foram adicionados 8 mL de solução gástrica, 1 mL de solução aquosa de pepsina 2000 $U.mL^{-1}$ e 0,5 µL de $CaCl_2$ 0,3 M. Após a mistura das soluções, o pH foi corrigido para 3,0 com auxílio de HCl 1M e o volume final (20 mL) foi alcançado pela adição de água grau Milli-Q. A amostra foi, então, incubada por 2 h. Ao fim da fase gástrica, a ação enzimática foi interrompida pelo uso de um inibidor enzimático (Pefabloc 1 mM; 10 µL para cada mL de solução). As amostras foram centrifugadas a 4 ºC e 5000 g por 15 minutos, sendo os sobrenadantes

separados e armazenados sob congelamento até a realização das análises.

A avaliação gastrointestinal completa compreendeu as etapas descritas anteriormente e a etapa intestinal. Assim, a solução resultante das etapas oral e gástrica (20 mL), após o período de incubação, foi adicionada de 11 mL de solução intestinal (Tabela 6.1), 5 mL de solução de pancreatina diluída na solução intestinal (100 $U.mL^{-1}$), 2,44 mL de bile 10 Mm, diluída também na solução intestinal, e 40 µL de $CaCl_2$ 0,3 M. Após a mistura das soluções, o pH foi corrigido para 7,0 com auxílio de HCl 1M e o volume final (40 mL) foi alcançado pela adição de água grau Milli-Q. Nesta fase, as amostras foram incubadas por 2 h. A ação enzimática foi interrompida pelo uso de um inibidor enzimático (Pefabloc 1 mM; 10 µL para cada mL de solução). As amostras foram centrifugadas a 4 ºC e 5000 g por 15 minutos, sendo os sobrenadantes separados e armazenados sob congelamento até a realização das análises.

A bioacessibilidade foi expressa em percentual do composto alvo presente na amostra após a simulação da digestão gastrointestinal, conforme mostrado na Equação 1. Da mesma forma foi calculada a capacidade antioxidante remanescente (CAR) (Equação 2).

$$B\ (\%) = \frac{Conc_{amostra\ digerida}}{Conc_{amostra\ íntegra}} \ldots \text{Eq. 1}$$

onde: B é a bioacessibilidade expressa em percentual, $Conc_{amostra\ digerida}$ é a concentração do composto de interesse após a digestão e $Conc_{amostra\ íntegra}$ é a concentração do composto de interesse não digerido.

$$CAR\ (\%) = \frac{C_{amostra\ digerida}}{C_{amostra\ íntegra}} \ldots \text{Eq. 2}$$

onde: CAR é a capacidade antioxidante remanescente após a digestão expressa em percentual, $C_{amostra\ digerida}$ é a capacidade antioxidante da amostra após a digestão e $C_{amostra\ íntegra}$ é a capacidade antioxidante da amostra não digerida.

6.2.4. Métodos analíticos

6.2.4.1. Compostos fenólicos totais

Para determinação dos compostos fenólicos totais (CFT) utilizou-se o reagente Folin-Ciocalteu (Merck®, Alemanha), de acordo com o método descrito por Singleton e Rossi (1965), adaptado a um leitor de microplacas (Synergy HT, Bio-Tek, EUA). Os

compostos fenólicos foram extraídos em acetona 70% por 30 minutos sob agitação. Após a filtração os extratos foram diluídos (1:10) com água destilada e usados na quantificação. Para as reações foram misturados 30 µL de cada extrato filtrado e diluído adequadamente com 120 µL de solução de carbonato de sódio 7,5% (p/v) e 150 µL de reagente de Folin-Ciocalteu 10%. Posteriormente, as amostras foram aquecidas a 50 °C durante 15 minutos e, após este período, resfriadas à temperatura ambiente. A absorvância foi medida a 760 nm. Para a quantificação dos compostos fenólicos, uma curva de calibração foi elaborada usando o ácido gálico (Sigma-Aldrich®, Espanha) como padrão. O conteúdo de CFT foi expresso em mg GAE.100 g^{-1}.

6.2.4.2. Antocianinas totais

As antocianinas foram quantificadas pelo método de pH diferencial, utilizando-se cianidina-3-glicosídeo como referência, coeficiente de extinção molar de 26900 $M^{-1}cm^{-1}$ e peso molecular de 449,2 $g.gmol^{-1}$ (GIUSTI; WROLSTAD, 2001). Os extratos foram diluídos em solução tampão de pH 1,0 e após 15 minutos de estabilização a absorvância foi lida a 510 e 700 nm em um leitor de microplacas (Synergy HT, Bio-Tek, EUA).

6.2.4.3. Capacidade antioxidante (ABTS)

A capacidade antioxidante foi determinada pelo método de redução do radical ABTS•+ (Sigma-Aldrich®, Espanha) de acordo com Gião et al. (2007), adaptado a um leitor de microplacas (Synergy HT, Bio-Tek, EUA). Para tal, as amostras foram extraídas, primeiramente, com metanol 50% por 1 hora seguido de centrifugação para a separação do sobrenadante. O precipitado foi novamente extraído com acetona 70% nas mesmas condições citadas anteriormente (RUFINO et al., 2007). Os extratos foram combinados e adicionados de água destilada para completar o volume de 10 mL.

Assim, foram reagidos 10 µL de cada extrato filtrado e devidamente diluído com 200 µL de radical ABTS•+. Os resultados foram expressos como micromol de Trolox (Sigma-Aldrich®, Espanha) equivalente por grama (µmol $TE.g^{-1}$).

6.2.4.4. Capacidade antioxidante (DPPH)

A capacidade de inibição de radicais de DPPH (Sigma-Aldrich®, Espanha) dos extratos, obtidos conforme descrito no item anterior, foi determinada de acordo com o método descrito por Hidalgo et al. (2010). 10 µL de cada extrato devidamente diluído

reagiram com 290 µL de solução de DPPH (6×10^{-5} M). Após 30 min contados a partir da reação, a absorvância das amostras foi medida a 517 nm em um leitor de microplacas (Synergy HT, Bio-Tek, EUA). Os resultados foram expressos como micromol de Trolox (Sigma-Aldrich®, Espanha) equivalente por grama (µmol TE.g^{-1}).

6.2.4.5. Quantificação de fenólicos

As amostras foram analisadas em um cromatógrafo Shimatzu Nexpera X2 UHPLC (*Ultra High Performance Liquid Chromatograph*) equipado com detector de arranjo de diodo (Shimadzu, SPD-M20A). A separação foi realizada em uma coluna Aquity UPLC BEH C18 de fase reversa (2,1 mm × 100 mm, tamanho de partícula de 1,7 µm, Waters) e uma pré-coluna do mesmo material a 40 °C. A taxa de fluxo foi de 0,4 mL.min^{-1}. Os solventes de grau cromatográfico foram o ácido fórmico (solução aquosa 0,1%) como solvente A e acetonitrila como solvente B. Os gradientes de eluição para o solvente B foram: de 0,0 a 5,5 min, 5%; de 5,5 a 17 min, aumento linear até atingir 60%; 17,0 a 18,5 min, 100%; após este período o equilíbrio da coluna foi restabelecido de 18,5 a 30,0 min. Os compostos fenólicos foram identificados comparando seus espectros UV, obtidos no comprimento de onda com maior absorção, e tempos de retenção, de acordo com os padrões correspondentes (PEREIRA et al., 2016).

6.2.4.6. Comportamento reológico

As análises reológicas dos *smoothies*, em regime estacionário, foram realizadas em um Reômetro *Discovery* HR-1 (TA Instruments, New Castle, EUA). Para isso, utilizou-se uma geometria do tipo placa-placa (40 mm) e abertura de 1 mm. Os experimentos foram realizados a 25 ºC. O tempo de cada determinação experimental foi de 3 minutos, obtendo-se 90 pontos de taxa de deformação entre 0 – 600 s^{-1}. Os modelos da Lei da Potência (Equação 3) e Herschel-Bulkley (Equação 4) foram ajustados aos dados obtidos de tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação, por meio de regressão linear com auxílio do *software Statistica* 12.

$$\tau = k \,.\, \gamma^n \ldots \text{Eq. 3}$$

$$\tau = \tau_0 + k \,.\, \gamma^n \ldots \text{Eq. 4}$$

onde: τ é a tensão de cisalhamento (Pa), τ_0 é a tensão inicial de cisalhamento (Pa), k é o índice de consistência (Pa.s^n), γ é a taxa de deformação (s^{-1}) e n é o índice de comportamento.

6.2.4.7. Tamanho de partícula

A distribuição de tamanho de partícula foi determinada por difração a laser usando-se um Coulter (Beckman, LS230, EUA). As amostras foram introduzidas em um tanque cheio de água até atingir uma obscuração de 10%. O tamanho das partículas foi calculado em termos do diâmetro médio da esfera de igual volume ($D_{4,3}$), usando o *software* LS v3.29 (WANG et al., 2014).

6.2.4.8. Microscopia óptica

As amostras de *smoohties*, diluídas cinco vezes em água ultra-pura, foram analisadas em um microscópio de luz (Olympus BX51) acoplado com uma câmera digital DP71 (Olympus Portugal SA, Porto, Portugal). Todas as imagens foram adquiridas usando o *software* Olympus CellSens.

6.2.5. Análise dos dados

Os dados obtidos foram tratados estatisticamente no *software Statistica* 12, por meio de análise de variância (ANOVA), considerando o teste de *Tukey*, para verificação da existência de diferenças significativas entre as médias, utilizando um intervalo de confiança de 95%. Os resultados, em base úmida, foram expressos como média ± desvio-padrão de ensaios analíticos realizados em triplicata.

6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1. Características químicas e físicas

Os resultados para os teores de antocianinas, compostos fenólicos, capacidade antioxidante e perfil fenólico dos *smoothies* são mostrados na Tabela 6.2. É possível verificar que as amostras do *smoothie* controle, pasteurizado e sonicado não diferiram estatisticamente entre si para os teores de antocianinas totais e de compostos fenólicos. No entanto, a capacidade antioxidante das amostras, expressa pela inibição do radical DPPH, foi afetada pela pasteurização e pela sonicação ($p<0,05$), sendo constatada uma maior influência negativa do tratamento térmico. Isto ocorre, provavelmente, pelo efeito da temperatura que pode afetar de forma significativa a estrutura dos compostos fenólicos, uma vez que novos compostos podem ser formados devido a degradação térmica. Além disso, após o tratamento térmico, os compostos fenólicos podem se ligar a outros componentes do alimento formando moléculas complexas com o caráter antioxidante reduzido (RAWSON et al., 2011; LI et al., 2017).

Tabela 6.2 - Compostos bioativos e capacidade antioxidante do *smoothie* de juçara, banana e morango controle, pasteurizado e sonicado.

Parâmetros	SMC	SMP	SMS
AT[1] (mg.100 g^{-1})	24 ± 0[a]	23 ± 1[a]	23 ± 1[a]
CFT[2] (mg.100 g^{-1})	278 ± 10[a]	264 ± 13[a]	277 ± 23[a]
ABTS (µmol Trolox.g^{-1})	12 ± 1[a]	10 ± 0[b]	12 ± 0[a]
DPPH (µmol Trolox.g^{-1})	9 ± 0[a]	7 ± 0[b]	8 ± 0[c]
ácido ferúlico (mg.L^{-1})	21 ± 1[a]	20 ± 1[a]	21 ± 1[a]
ácido gálico (mg.L^{-1})	1823 ± 17[a,b]	1727 ± 61[b]	1852 ± 52[a]
ácido elágico (mg.L^{-1})	246 ± 11[a]	280 ± 32[a]	407 ± 23[b]

Resultados expressos como média ± desvio padrão. AT – antocianinas totais. CFT – compostos fenólicos totais. SMC – *smoothie* controle. SMP – *smoothie* pasteurizado. SMS – *smoothie* sonicado. Médias seguidas de letras iguais na mesma linha, não diferem entre si estatisticamente ($p>0,05$).[1]Expresso em cianidina-3-glicosídeo. [2]Expresso em ácido gálico.

Cabe ressaltar que a sonicação, pelo colapso das bolhas de cavitação, pode romper a estrutura celular dos vegetais, liberando compostos fenólicos, o que pode equilibrar a perda destes compostos ao longo do processamento (ZINOVIADOU et al., 2015). Isto é corroborado pelo aumento significativo observado na concentração de ácido elágico na amostra sonicada em comparação com a do *smoothie* controle (amostra homogeneizada).

Os compostos fenólicos identificados nesta formulação são recomendados para o bom funcionamento do organismo humano, pois atuam como antioxidantes, estabilizando ou até mesmo inibindo radicais livres que promovem o estresse oxidativo no organismo (PISOSCHI; POP, 2015). Assim, os produtos obtidos por ambos os processamentos podem contribuir para o aumento da ingestão de compostos com potencial benefício à saúde.

As principais diferenças observadas nas amostras do *smoothie* ocorreram nos seus parâmetros físicos. Como mostrado na Tabela 6.3, a viscosidade aparente das amostras tanto na taxa de deformação de 50 s^{-1} quanto a 100 s^{-1}, as quais correspondem, respectivamente, à deglutição humana e aos principais processos da indústria alimentícia (STEFFE, 1996), foram significativamente diferentes ($p< 0,05$). A amostra pasteurizada apresentou maior valor absoluto para a viscosidade aparente em

comparação com as outras amostras avaliadas.

Tabela 6.3 - Características reológicas do *smoothie* de juçara, banana e morango controle, pasteurizado e sonicado.

	SMC	SMP	SMS
		Viscosidade (Pa.s)	
γ 50 s^{-1}	0,071 ± 0,050[a]	0,221 ± 0,007[b]	0,050 ± 0,000[c]
γ 100 s^{-1}	0,044 ± 0,002[a]	0,135 ± 0,004[b]	0,030 ± 0,001[c]
		Lei de Potência	
n	0,433 ± 0,015[a]	0,363 ± 0,006[b]	0,523 ± 0,015[c]
K ($Pa.s^n$)	0,597 ± 0,059[a]	2,523 ± 0,108[b]	0,273 ± 0,021[c]
R^2	0,99	0,99	0,99
		Herschel-Bulkley	
τ_0 (Pa)	1,857 ± 0,117[a]	5,703 ± 0,155[b]	1,057 ± 0,035[c]
n	0,650 ± 0,010[c]	0,563 ± 0,006[b]	0,700 ± 0,017[c]
K ($Pa.s^n$)	0,127 ± 0,006[a]	0,567 ± 0,032[b]	0,083 ± 0,006[c]
R^2	0,99	0,99	0,99

Resultados expressos como média ± desvio padrão. SMC – *smoothie* controle. SMP – *smoothie* pasteurizado. SMS – *smoothie* sonicado. γ – Taxa de deformação. n – Índice de comportamento. k – Índice de consistência. τ_0 – Tensão inicial. R^2 – Coeficiente de determinação. Médias seguidas de letras iguais na mesma linha, não diferem entre si estatisticamente (p>0,05).

Os modelos ajustaram-se bem aos dados, apresentando coeficiente de determinação superior a 0,99. Por ambos os modelos, o valor do índice de comportamento (n) foi inferior a 1, o que indica que as amostras se comportam como fluidos não-Newtonianos com características pseudoplásticas, comportamento típico de produtos de frutas (GOUVEIA et al., 2017; TAN; KERR, 2015).

O índice de consistência, o qual indica a sensibilidade do fluido ao gradiente de temperatura, foi maior no *smoothie* pasteurizado, assim como observado nos valores de viscosidade aparente discutidos anteriormente. Adicionalmente, esta amostra apresentou maior resistência ao escoamento, em comparação com os *smoothies* controle e sonicado, uma vez que apresentou maior valor absoluto de tensão inicial, parâmetro referente ao modelo de *Herschel-Bulkley.*

A pasteurização favoreceu a redução das partículas do *smoothie* como pode ser

observado na Figura 6.1 e na Tabela 6.4. Tal característica pode ser devido à colisão das partículas do *smoothie* durante o tratamento térmico no trocador de calor de superfície raspada, que foi conduzido em modo contínuo. Isto pode ter possibilitado uma maior solubilização de macromoléculas, como amido e pectina, e de agregados macromoleculares, devido à ruptura destes em partículas menores (AHMED et al., 2005; BI et al., 2015). Este fenômeno contribuiu para o aumento da viscosidade aparente observado nesta amostra, uma vez que a diminuição do tamanho das partículas produz uma maior área superficial e diminui a distância média entre elas, favorecendo interações mais fortes (ZHOU et al., 2017).

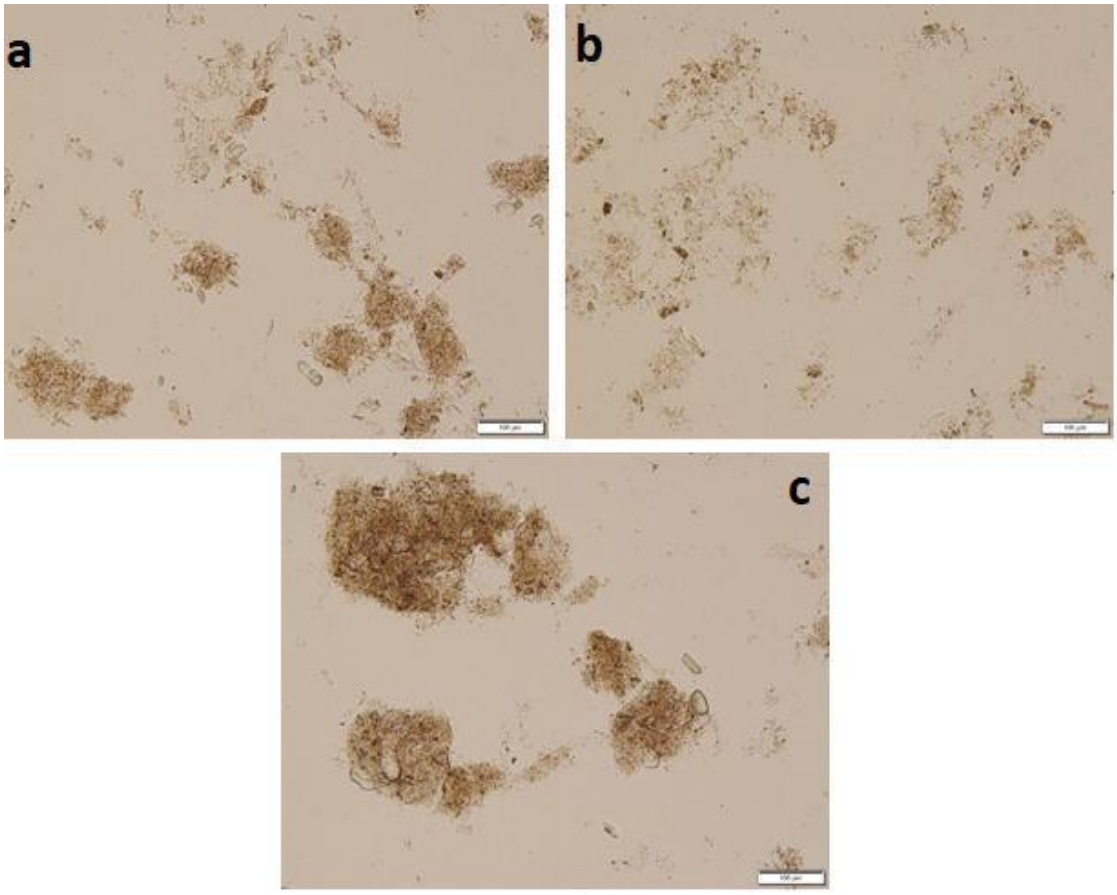


Figura 6.1 - Micrografias do *smoothie* de jucara, banana e morango controle (a), pasteurizado (b) e sonicado (c). Barra de escala (100 µm).

A sonicação foi realizada em batelada e sem agitação. Assim, possivelmente, as zonas mais próximas da sonda foram mais afetadas pela cavitação provocada pelas ondas acústicas, o que provavelmente contribuiu para uma menor homogeneidade do meio e maior tamanho médio de partícula (Figura 6.1 e Tabela 6.4). A heterogeneidade em suspensões favorece a separação de fase ao longo do armazenamento, devido à

sedimentação das partículas maiores (KUBO; AUGUSTO; CRISTIANINI, 2013). Portanto, o maior tamanho médio de partícula do *smoothie* submetido à sonicação não favoreceu a estabilidade física do produto.

Tabela 6.4 - Tamanho médio de partículas do smoothie de juçara, banana e morango controle, pasteurizado e sonicado.

Amostras	$D_{4,3}$ (µm)
SMC	104[a]
SMP	68[b]
SMS	287[c]

Resultados expressos como média. SMC – *smoothie* controle. SMP – *smoothie* pasteurizado. SMS – *smoothie* sonicado. Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, não diferem entre si estatisticamente (p>0,05).

6.3.2. Digestão gastrointestinal *in vitro*

A bioacessibilidade das antocianinas totais é apresentada na Figura 6.2. Verifica-se que esta variou de 5 a 25% entre as amostras avaliadas nas diferentes fases da digestão, sendo os maiores percentuais observados na digesta gástrica. Este comportamento era esperado, uma vez que a estabilidade das antocianinas é fortemente influenciada pelo pH do meio. De acordo com Castañeda-Ovando et al. (2009), o pH promove alterações na estrutura destes compostos, sendo que valores de pH acima de 7,0 podem acarretar em degradação deste pigmento, que é de grande importância do ponto de vista da saúde devido ao seu potencial antioxidante, reportado em vários trabalhos, principalmente com frutas (RIBEIRO et al., 2018; INADA et al., 2017).

Sui, Dong e Zhou et al. (2014) destacam que há uma tendência geralmente crescente na taxa de degradação das antocianinas com o aumento do pH. Este estudo indicou que as antocianinas foram mais estáveis em pHs ácidos e instáveis em condições neutras e alcalinas, sendo detectados apenas traços de antocianinas em pHs 7,0 e 8,0.

Correa-Betanzo et al. (2014), ao avaliarem a bioacessibilidade das antocianinas de mirtilo selvagem por digestão *in vitro*, também observaram maior percentual bioacessível destes compostos na digesta gástrica.

Avaliando o efeito da digestão gastrointestinal sobre as antocianinas das amostras do *smoothie*, pode-se afirmar que o processamento favoreceu a

bioacessibilidade deste pigmento na etapa gástrica de digestão. Na etapa intestinal, o *smoothie* sonicado apresentou maior bioacessibilidade para este pigmento, diferindo estatisticamente das demais amostras (Figura 6.2). Este comportamento pode ter sido influenciado pelo tamanho das partículas desta amostra, conforme discutido no item anterior. Possivelmente, a formação de aglomerados na amostra sonicada protegeu boa parte das antocianinas em comparação com a amostra pasteurizada, que apresentou menor tamanho de partícula.

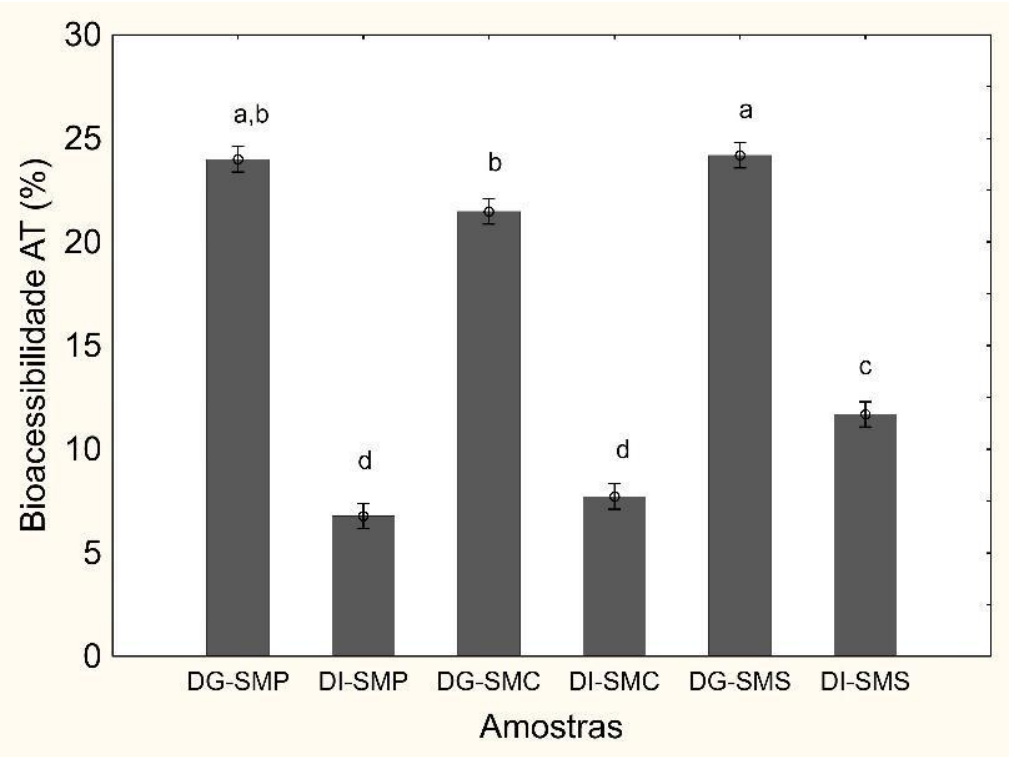


Figura 6.2 - Bioacessibilidade das antocianinas totais (AT) do *smoothie* de juçara, banana, morango controle (SMC), pasteurizado (SMP) e sonicado (SMS). DG – Digesta gástrica. DI – Digesta intestinal.

A bioacessibilidade dos compostos fenólicos do *smoothie* variou de 20 a 47% entre as digestas gástrica e intestinal (Figura 6.3). A digesta intestinal do *smoothie* pasteurizado foi significativamente maior que as digestas intestinais dos *smoothies* sonicado e controle. Quando comparada às digestas gástricas, a bioacessibilidade do *smoothie* pasteurizado não diferiu estatisticamente do *smoothie* sonicado e do controle. Isto corrobora o efeito positivo do tratamento térmico em relação ao controle e à amostra sonicada. Dados reportados por He et al. (2016) mostram que sucos de frutas tratados termicamente também apresentaram maior bioacessibilidade de compostos fenólicos que os tratados por alta pressão hidrostática, um método não térmico de

conservação. Segundo estes autores, o tratamento térmico fragiliza a parede celular dos vegetais, favorecendo a liberação dos compostos fenólicos durante a digestão gastrointestinal.

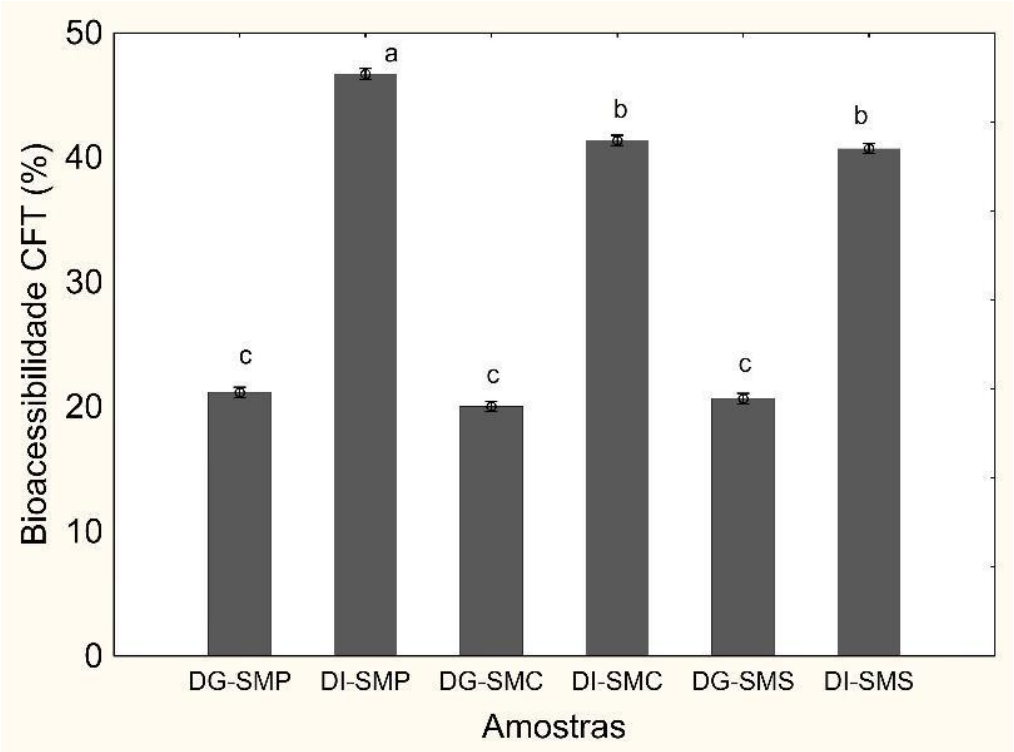


Figura 6.3 - Bioacessibilidade dos compostos fenólicos totais (CFT) do *smoothie* de juçara, banana e morango controle (SMC), pasteurizado (SMP) e sonicado (SMS). DG – Digesta gástrica. DI – Digesta intestinal.

A bioacessibilidade dos compostos fenólicos foi maior na digesta intestinal para todas as amostras analisadas. Possivelmente, isto se deve à liberação de outros fenólicos, devido ao aumento do pH na fase intestinal, que, além da hidrólise de constituintes da parede celular das frutas, pode causar a clivagem das antocianinas, que tem os ácidos fenólicos como um dos produtos de sua degradação (PATRAS et al., 2010; BOHN et al., 2015).

Cassani et al. (2018), ao avaliarem a bioacessibilidade de compostos fenólicos de sucos de morango enriquecidos com fibras submetidos à digestão gastrointestinal *in vitro*, também observaram maior bioacessibilidade dos compostos fenólicos na digesta intestinal. Estes autores reportam que o aumento da bioacessibilidade nesses produtos se deve à liberação de ácido elágico, um dos compostos fenólicos presentes no morango, em função da hidrólise dos elagitaninos quando submetidos ao pH alcalino do meio

intestinal.

Segundo Alminger et al. (2014), a maioria dos compostos fenólicos são encontrados glicosilados, esterificados ou polimerizados na sua forma original. Assim, durante a digestão gastrointestinal estes podem ser hidrolisados como consequência do ambiente ácido do estômago e do ambiente alcalino do intestino, bem como da ação de enzimas digestivas. Estas condições resultam em várias mudanças na estrutura destes compostos como a hidroxilação, metilação, dimerização e glicosilação, bem como na formação de derivados fenólicos pela degradação parcial da sua estrutura original, como no caso das antocianinas, fazendo com que a bioacessibilidade destes metabólitos secundários seja altamente dependente do tipo e da quantidade destes na matriz vegetal.

A capacidade antioxidante das amostras digeridas pode ser vista na Tabela 6.5. A digestão gastrointestinal reduziu, significativamente, o potencial antioxidante das amostras em ambas as etapas avaliadas. Todas as frações digeridas apresentaram potencial antioxidante, sendo sempre maior na digesta gástrica quando avaliada pelo método ABTS para todos os *smoothies*. Quando as amostras foram reagidas com o radical DPPH, apenas a digesta intestinal do *smoothie* pasteurizado apresentou um pequeno aumento em comparação com a digesta gástrica, destoando, ligeiramente, da tendência observada nesta avaliação, ou seja, maior potencial antioxidante na digesta gátrica dos *smoothies* avaliados.

Os compostos fenólicos, principalmente as antocianinas, são dependentes do pH do meio, conforme citou Castañeda-Ovando et al. (2009). As antocianinas podem exibir diferentes conformações estruturais em função do pH, e, portanto, apresentar maior ou menor capacidade antioxidante quando as novas estruturas são formadas. Sui, Dong e Zhou (2014) mostraram que o aumento da capacidade antioxidante de soluções contendo antocianinas foi diretamente proporcional ao aumento do pH, quando este variou de 2,2 a 6,0. Maior capacidade antioxidante também foi reportada por Ribeiro et al. (2018) em extrato de juçara (pH 5,75) rico em antocianinas, quando comparado com aquele obtido em pH 1,0. Cassani et al. (2018) citam, ainda, que o pH alcalino, bem como a ação das enzimas digestivas, podem causar alterações na estrutura dos compostos bioativos, dando origem a espécies químicas com caráter antioxidante diferente.

Tabela 6.5 - Capacidade antioxidante do *smoothie* de juçara, banana e morango controle, pasteurizado e sonicado, submetido à digestão gastrointestinal.

Amostras	Etapas da Digestão	ABTS[1]	CAR ABTS (%)	DPPH[1]	CAR DPPH (%)
SMC	ND	11,8 ± 0,6[a]	-	8,8 ± 0,3[a]	-
	DG	2,7 ± 0,1[d]	23,2 ± 0,9[b]	1,3 ± 0,1[e]	14,3 ± 1,2[c]
	DI	1,5 ± 0,3[e]	12,3 ± 2,3[c,d]	1,1 ± 0,1[f]	12,1 ± 1,2[d]
SMP	ND	9,9 ± 0,3[c]	-	7,4 ± 0,2[b]	-
	DG	2,7 ± 0,1[d]	27,7 ± 0,8[a]	1,4 ± 0,1[e]	18,6 ± 0,9[b]
	DI	1,1 ± 0,3[f]	11,0 ± 3,0[d]	1,5 ± 0,2[d]	20,9 ± 2,1[a]
SMS	ND	11,5 ± 0,3[b]	-	8,4 ± 0,3[c]	-
	DG	2,8 ± 0,1[d]	24,6 ± 1,2[b]	1,6 ± 0,2[d]	19,6 ± 2,3[a,b]
	DI	1,6 ± 0,3[e]	13,6 ± 2,5[c]	1,3 ± 0,2[e]	15,1 ± 2,1[c]

Resultados expressos como média ± desvio padrão. SMC – *smoothie* controle. SMP – *smoothie* pasteurizado. SMS – *smoothie* sonicado. ND – amostra não digerida. DG – digesta gástrica. DI – digesta intestinal. CAR – capacidade antioxidante remanescente. [1] Resultados expressos em µmol Trolox.g^{-1}. Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, não diferem entre si estatisticamente ($p>0,05$).

Rodríguez-Roque et al. (2013), ao submeterem uma bebida de soja, rica em compostos fenólicos, à digestão gastrointestinal *in vitro*, também observaram maior capacidade antioxidante na digesta gástrica em comparação com a digesta intestinal. Segundo esses autores, a diminuição da capacidade antioxidante sob condição intestinal pode ser atribuída ao fato de que algumas substâncias com este potencial podem ser transformadas via reorganização estrutural devido à sua sensibilidade ao pH alcalino. Além disso, esses compostos são capazes de se ligar a outros constituintes da matriz alimentícia, resultando na formação de complexos, o que também pode contribuir para a redução do potencial antioxidante desta fração.

Embora a maior concentração de compostos fenólicos tenha sido observada na digesta intestinal do *smoothie* (independentemente do tratamento), o pH básico, característico do intestino, reduziu o potencial antioxidante desta fração, conforme mencionado anteriormente. Apesar deste resultado, na digesta intestinal ainda foram detectados compostos potencialmente antioxidantes (ácidos ferúlico, elágico, vanílico e cinâmico) capazes de contribuir com diversas ações benéficas ao organismo humano,

uma vez absorvidos pelas células. Urias-Lugo et al. (2015) reportaram o efeito positivo de extratos ricos em ácidos fenólicos e antocianinas obtidos de milho roxo sobre a proliferação de diversas células tumorais, o que corrobora a importância dos resultados obtidos neste trabalho.

De modo geral, o processamento contribuiu positivamente para a manutenção da capacidade antioxidante do *smoothie* após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*. A digesta gástrica da amostra pasteurizada apresentou maior preservação do potencial antioxidante, medido por meio da redução do radical ABTS, em comparação com as demais frações gástricas avaliadas, particularmente para aquela obtida após a digestão do controle. A digesta intestinal da amostra pasteurizada, bem como a digesta gástrica da amostra sonicada se destacaram quanto à retenção da capacidade antioxidante, medida pelo radical DPPH, em comparação com as digestas do *smoothie* controle.

O comportamento dos principais compostos fenólicos quantificados nas amostras do *smoothie* submetidas à digestão gastrointestinal foi avaliado apenas nas amostras processadas, uma vez que estas apresentaram maiores alterações quando avaliadas pelos parâmetros espectrofotométricos em comparação com o *smoothie* controle (Tabela 6.6).

O ácido ferúlico foi mais bioacessível quando o *smoothie* foi tratado termicamente. Este mesmo comportamento foi verificado também na bioacessibilidade do ácido elágico, embora este composto estivesse em maior concentração no *smoothie* sonicado, o que está associado ao fenômeno da cavitação, já discutido anteriormente. O ácido gálico não foi detectado nas digestas gástricas e intestinais de ambas as amostras avaliadas. Este comportamento também foi observado por Schulz et al. (2017). Estes autores avaliaram a bioacessibilidade dos compostos fenólicos presentes nos frutos de juçara em vários estádios de maturação.

Assim como no presente estudo, Schulz et al. (2017) também observaram diferenças na bioacessibilidade dos compostos fenólicos. Segundo eles, diferentes valores de bioacessibilidade de compostos fenólicos se devem à diversidade química deste grupo, que varia de moléculas simples a moléculas altamente polimerizadas. A maioria dos compostos fenólicos é encontrada na forma glicosilada ou como ésteres ou polímeros, que, durante a digestão, é hidrolisada como consequência do ambiente ácido

do estômago e do ambiente alcalino do intestino, bem como da ação das enzimas digestivas. É importante ressaltar, também, que os compostos fenólicos podem sofrer mudanças estruturais ao longo do trato gastrointestinal. Além disso, ao serem degradados podem dar origem a outros componentes fenólicos. Em nosso trabalho foram detectados, somente após a digestão, o ácido cinâmico e o ácido vanílico nas frações digeridas dos *smoothies* pasteurizado e sonicado (Tabela 6.6), o que provavelmente está associado com a degradação das antocianinas, uma vez que a degradação destes pigmentos resulta, principalmente, em ácidos fenólicos (PATRAS et al., 2010; SINELA et al., 2017).

O ácido cinâmico foi detectado apenas na digesta intestinal dos *smoothies* avaliados. Embora na digesta gástrica de ambas amostras do *smoothie* tenha sido determinada a mesma concentração de ácido vanílico, após a etapa intestinal este ácido fenólico foi detectado apenas na amostra pasteurizada. Possivelmente, as características físicas da amostra pasteurizada tenham contribuído para a manutenção deste composto após a etapa intestinal, que exerce influência na degradação destes compostos, principalmente pelo aumento do pH do meio.

Os ácidos fenólicos, como os demais compostos fenólicos, são de grande importância do ponto de vista de saúde, pois contribuem para o bom funcionamento do organismo humano (HELENO et al., 2015).

O efeito do ácido ferúlico sobre as propriedades bioquímicas e histológicas de fígado e coração de ratos obesos e diabéticos foi avaliado por Song et al. (2014). Após 16 semanas de administração deste composto fenólico (60 mg/kg), os autores reportaram o aumento na atividade antioxidante do plasma. Além disso, eles observaram manunteção do peso corporal, diminuição da glicose e de lipídios séricos do fígado e do coração.

Ao ácido elágico, embora não seja classificado como um ácido fenólico e sim como um tanino, tem sido associado o efeito antioxidante, o qual, em conjunto com o sistema de defesa endógeno, reduziu a resposta inflamatória de injúrias hepáticas induzidas por lipopolissacarídeo/D-galactosamina em ratos (GU et al., 2014).

Assim, os compostos fenólicos bioacessíveis do *smoothie* podem reforçar as defesas do organismo, atuando como antioxidante, quando absorvidos pelas células, ressaltando a importância da avaliação realizada neste trabalho.

Tabela 6.6 - Bioacessibilidade dos compostos fenólicos do *smoothie* pasteurizado e sonicado.

Amostras		Ácido ferúlico[1]	B ácido ferúlico (%)	Ácido gálico[1]	B ácido gálico (%)	Ácido elágico[1]	B ácido elágico (%)	Ácido cinâmico[1]	Ácido vanílico[1]
SMP	ND	20 ± 1[a]	-	1727 ± 61[a]	-	272 ± 32[b]	-	nd	nd
	DG	3,5 ± 0,1[b]	17,6 ± 0,8[a]	nd	nb	197 ± 7[c]	73 ± 8[a]	nd	5,9 ± 0,1[a]
	DI	3,3 ± 0,1[b]	16,4 ± 0,8[a,b]	nd	nb	216 ± 13[c]	80 ± 10[a]	4,6 ± 0,2[a]	12 ± 1[b]
SMS	ND	21 ± 1[a]	-	1852 ± 52[b]	-	407 ± 23[a]	-	nd	nd
	DG	1,6 ± 0,0[c]	7,5 ± 0,2[c]	nd	nb	197 ± 15[c]	49 ± 5[c]	nd	5,9 ± 0,1[a]
	DI	3,3 ± 0,0[b]	15,2 ± 0,5[b]	nd	nb	250 ± 14[b]	62 ± 6[b]	4,6 ± 0,2[a]	nd

Resultados expressos como média ± desvio padrão. SMP – *smoothie* pasteurizado. SMS – *smoothie* sonicado. ND – amostra não digerida. DG – digesta gástrica. DI – digesta intestinal. B – bioacessibilidade. nd – não detectado. nb – não bioacessível. [1] Resultados expressos em $mg.L^{-1}$. Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, não diferem entre si estatisticamente ($p>0,05$).

6.4. CONCLUSÕES

O *smoothie* pasteurizado apresentou melhores características físicas destacando-se entre as amostras avaliadas. A bioacessibilidade dos compostos fenólicos foi maior nas amostras pasteurizada e sonicada, sendo observada uma maior influência do tratamento térmico sobre esse parâmetro, uma vez que a bioacessibilidade dos ácidos ferúlico e elágico foi significativamente maior na amostra pasteurizada. Assim, conclui-se que a pasteurização do *smoothie* de juçara, banana e morango conferiu maior estabilidade física ao produto, contribuindo para uma maior preservação dos compostos fenólicos após a digestão gastrointestinal *in vitro*.

REFERÊNCIAS

Ahmed, J., Ramaswamy, H. S., & Hiremath, N. (2005). The effect of high pressure treatment on rheological characteristics and colour of mango pulp. *International Journal of Food Science and Technology*, 40, 885–895.

Alminger, M., Aura, A. M., Bohn, T., Dufour, C., El, S. N., Gomes, A., … Santos, C. N. (2014). In vitro models for studying secondary plant metabolite digestion and bioaccessibility. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 413–436.

Aurore, G., Parfait, B., & Fahrasmane, L. (2009). Bananas, raw materials for making processed food products. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 78–91.

Azofeifa, G., Quesada, S., Pérez, A. M., Vaillant, F., & Michel, A. (2015). Pasteurization of blackberry juice preserves polyphenol-dependent inhibition for lipid peroxidation and intracellular radicals. *Journal of Food Composition and Analysis*, 42, 56–62.

Bi, X., Hemar, Y., Balaban, M. O., & Liao, X. (2015). The effect of ultrasound on particle size, color, viscosity and polyphenol oxidase activity of diluted avocado puree. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 567–575.

Bicudo, M. O. P., Ribani, R. H., & Beta, T. (2014). Anthocyanins, Phenolic Acids and Antioxidant Properties of Ju{ç}ara Fruits (Euterpe edulis M.) Along the On-tree Ripening Process. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69, 142–147.

Bohn, T., Mcdougall, G. J., Alegría, A., Alminger, M., Arrigoni, E., Aura, A. M., …

Santos, C. N. (2015). Mind the gap-deficits in our knowledge of aspects impacting the bioavailability of phytochemicals and their metabolites-a position paper focusing on carotenoids and polyphenols. *Molecular Nutrition and Food Research*, 59, 1307–1323.

Cassani, L., Gerbino, E., Moreira, M. del R., & Gómez-Zavaglia, A. (2018). Influence of non- thermal processing and storage conditions on the release of health-related compounds after in vitro gastrointestinal digestion of fiber-enriched strawberry juices. *Journal of Functional Foods*, 40, 128–136.

Castañeda-Ovando, A., de Lourdes Pacheco-Hernández, M., Páez-Hernández, M. E., Rodríguez, J. A., & Galán-Vidal, C. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113, 859–871.

Chemat, F., Zill-E-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18, 813–835.

Correa-Betanzo, J., Allen-Vercoe, E., McDonald, J., Schroeter, K., Corredig, M., & Paliyath, G. (2014). Stability and biological activity of wild blueberry (Vaccinium angustifolium) polyphenols during simulated in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 165, 522–531.

Dutra, A. de S., Furtado, A. A. L., Pacheco, S., & Oiano Neto, J. (2012). Efeito do tratamento térmico na concentração de carotenoides, compostos fenólicos, ácido ascórbico e capacidade antioxidante do suco de tangerina murcote. *Brazilian Journal of Food Technology*, 15, 198–207.

Gião, M. S., González-Sanjosé, M. L., Rivero-Pérez, M. D., Pereira, C. I., Pintado, M. E., & Malcata, F. X. (2007). Infusions of Portuguese medicinal plants: Dependence of final antioxidant capacity and phenol content on extraction features. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 2638–2647.

Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). *Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy*. In R. E. Wrolstad (Ed.), Current protocols in food analytical chemistry. New York: John Wiley & Sons.

Gouvêa, R. F., Ribeiro, L. O., Souza, É. F., Penha, E. M., Matta, V. M., & Freitas, S. P. (2017). Effect of enzymatic treatment on the rheological behavior and vitamin C

content of Spondias tuberosa (umbu) pulp. *Journal of Food Science and Technology*, 2176-2180.

Gu, L., Deng, W., Liu, Y., Jiang, C., Sun, L., Sun, X., … Zhou, H. (2014). Ellagic acid protects Lipopolysaccharide/d-galactosamine-induced acute hepatic injury in mice. *International Immunopharmacology*, 22, 341–345.

He, Z., Tao, Y., Zeng, M., Zhang, S., Tao, G., Qin, F., & Chen, J. (2016). High pressure homogenization processing, thermal treatment and milk matrix affect in vitro bioaccessibility of phenolics in apple, grape and orange juice to different extents. *Food Chemistry*, 200, 107–116.

Heleno, S. A., Martins, A., Queiroz, M. J. R. P., & Ferreira, I. C. F. R. (2015). Bioactivity of phenolic acids: Metabolites versus parent compounds: A review. *Food Chemistry*, 173, 501–513.

Hidalgo, M., Sánchez-moreno, C., & Pascual-teresa, S. De. (2010). Flavonoid – flavonoid interaction and its effect on their antioxidant activity. *Food Chemistry*, 121, 691–696.

Inada, K. O. P., Duarte, P. A., Lapa, J., Miguel, M. A. L., & Monteiro, M. (2017). Jabuticaba (Myrciaria jaboticaba) juice obtained by steam-extraction: phenolic compound profile, antioxidant capacity, microbiological stability, and sensory acceptability. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 52-61.

Kubo, M. T. K., Augusto, P. E. D., & Cristianini, M. (2013). Effect of high pressure homogenization (HPH) on the physical stability of tomato juice. *Food Research International*, 51, 170–179.

Li, F., Chen, G., Zhang, B., & Fu, X. (2017). Current applications and new opportunities for the thermal and non-thermal processing technologies to generate berry product or extracts with high nutraceutical contents. *Food Research International*, 100, 19–30.

McClements, D. J., & Li, Y. (2010). Review of in vitro digestion models for rapid screening of emulsion-based systems. *Food Funct.*, 1, 32–59.

Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., … Brodkorb, A. (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable for

food - an international consensus. *Food Funct.*, 5, 1113–1124.

Patras, A., Brunton, N. P., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 3–11.

Palafox-Carlos, H., Ayala-Zavala, J. F., & González-Aguilar, G. A. (2011). The Role of Dietary Fiber in the Bioaccessibility and Bioavailability of Fruit and Vegetable Antioxidants. *Journal of Food Science*, *76*, R6–R15.

Pisoschi, A. M., & Pop, A. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97, 55–74.

Pereira, R. N., Rodrigues, R. M., Genisheva, Z.,...Vicente, A. A. (2016). Effects of ohmic heating on extraction of food-grade phytochemicals from colored potato. *LWT - Food Science and Technology*, 74, 493-503.

Rawson, A., Patras, A., Tiwari, B. K., Noci, F., Koutchma, T., & Brunton, N. (2011). Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. *Food Research International*, 44, 1875–1887.

Ribeiro, L. O.; Pereira, R. N.; Tonon, R. V.; Cabral, L. M. C.; Santiago, M. C. P. A.; Vicente, A A.; Teixeira, J. A. C.; Matta, V. M.; Freitas, S. P. Antioxidant Compounds Recovery from Juçara Residue by Thermal Assisted Extraction. *Plant Foods for Human Nutrition*. In press.

Ribeiro, L. O., Pontes, S. M., Ribeiro, A. P. O., Pacheco, S., Freitas, S. P., & Matta, V. M. da. (2017). Avaliação do armazenamento a frio sobre os compostos bioativos e as características físico-químicas e microbiológicas do suco de umbu pasteurizado. *Brazilian Journal of Food Technology*, *20*, 1-8.

Ribeiro, L. O., Santos, J. G. C., Gomes, F. S., Cabral, L. M. C., Sá, D. de G. C. F., Matta, V. M., & Freitas, S. P. (2018). Sensory evaluation and antioxidant capacity as quality parameters in the development of a banana, strawberry and juçara *smoothie*. *Food Science and Technology*, in Press.

Rodríguez-Roque, M. J., Rojas-Graü, M. A., Elez-Martínez, P., & Martín-Belloso, O. (2013). Soymilk phenolic compounds, isoflavones and antioxidant activity as

affected by in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 136, 206–212.

Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Morais, S. M., Sampaio, C. G., Pérez-Jiménez, J., & Saura-Calixto F. D. (2007). Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS+. *Comunicado Técnico*, 128, 1-4.

Santhirasegaram, V., Razali, Z., George, D. S., & Somasundram, C. (2014). Comparison of UV-C treatment and thermal pasteurization on quality of Chokanan mango (Mangifera indica L.) juice. *Food and Bioproducts Processing*, 94, 313–321.

Schulz, M., Biluca, F. C., Gonzaga, L. V., da Silva Campelo Borges, G., Vitali, L., Micke, G. A., … Fett, R. (2017). Bioaccessibility of bioactive compounds and antioxidant potential of juçara fruits (Euterpe edulis Martius) subjected to in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 228, 447–454.

Schulz, M., Borges, G. da S. C., Gonzaga, L. V., Seraglio, S. K. T., Olivo, I. S., Azevedo, M. S., … Fett, R. (2015). Chemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of juçara fruit (Euterpe edulis Martius) during ripening. *Food Research International*, 77, 125–131.

Sinela, A., Rawat, N., Mertz, C., Achir, N., Fulcrand, H., & Dornier, M. (2017). Anthocyanins degradation during storage of Hibiscus sabdariffa extract and evolution of its degradation products. *Food Chemistry*, 214, 234–241.

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.*, *16*, 144.

Song, Y., Wu, T., Yang, Q., Chen, X., Wang, M., Wang, Y., … Ou, S. (2014). Ferulic acid alleviates the symptoms of diabetes in obese rats. *Journal of Functional Foods*, 9, 141– 147.

Steffe, J.F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering* (2nd ed). Freeman Press, East Lansing.

Sui, X., Dong, X., & Zhou, W. (2014). Combined effect of pH and high temperature on the stability and antioxidant capacity of two anthocyanins in aqueous solution. *Food Chemistry*, 163, 163–170.

Tan, J., & Kerr, W. L. (2015). Rheological properties and microstructure of tomato puree subject to continuous high pressure homogenization. *Journal of Food Engineering*, 166, 45–54.

Urias-Lugo, D. A., Heredia, J. B., Muy-Rangel, M. D., Valdez-Torres, J. B., Serna-Saldívar, S. O., & Gutiérrez-Uribe, J. A. (2015). Anthocyanins and Phenolic Acids of Hybrid and Native Blue Maize (Zea mays L.) Extracts and Their Antiproliferative Activity in Mammary (MCF7), Liver (HepG2), Colon (Caco2 and HT29) and Prostate (PC3) Cancer Cells. *Plant Foods for Human Nutrition*, 70, 193–199.

Wang, S., Lin, T., Man, G., Li, H., Zhao, L., Wu, J., & Liao, X. (2014). Effects of Anti-browning Combinations of Ascorbic Acid, Citric Acid, Nitrogen and Carbon Dioxide on the Quality of Banana *Smoothies*. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 161–173.

Zhou, L., Guan, Y., Bi, J., Liu, X., Yi, J., Chen, Q., … Zhou, M. (2017). Change of the rheological properties of mango juice by high pressure homogenization. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 121–130.

Zinoviadou, K. G., Galanakis, C. M., Brnčić, M., Grimi, N., Boussetta, N., Mota, M. J., … Barba, F. J. (2015). Fruit juice sonication: Implications on food safety and physicochemical and nutritional properties. *Food Research International*, 77, 743–752.

7. AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE QUÍMICA, FÍSICA E MICROBIOLÓGIA DE UM *SMOOTHIE* PASTEURIZADO DE JUÇARA, BANANA E MORANGO DURANTE O ARMAZENAMENTO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do tempo e da temperatura de armazenamento no teor dos compostos bioativos, características físico-químicas e qualidade microbiológica de um *smoothie* de juçara, banana e morango. O *smoothie* pasteurizado foi armazenado a 7 e 25 ºC por 90 dias. Em ambas temperaturas houve houve redução ($p<0,05$) dos teores de antocianinas do *smoothie*, provenientes principalmente da polpa de juçara, que, como esperado, foi mais drástica no armazenamento à temperatura ambiente, afetando, também, a cor instrumental do produto ($p<0,05$). Por outro lado, a capacidade antioxidante do produto foi mantida ao longo dos três meses de armazenamento. No caso dos parâmetros físico-químicos do *smoothie*, as alterações ao longo do armazenamento foram consideradas irrelevantes, considerando-se o processo em escala industrial. A qualidade microbiológica do *smoothie* foi assegurada em ambas temperaturas de armazenamento, apresentando ausência de Salmonella sp e contagem <3 $NMP.g^{-1}$ para coliformes a 45 ºC, conforme preconiza a legislação brasileira. Após os 90 dias as contagens de bactérias aeróbias mesófilas, fungos filamentosos e leveduras e bactérias láticas de todas as amostras foram inferiores a 10^3 $UFC.g^{-1}$, garantindo, assim, que a estabilidade microbiológica do produto foi mantida. Tendo como base uma maior preservação dos compostos bioativos, principalmente das antocianinas, a condição mais adequada para o armazenamento do *smoothie* de juçara, banana e morango, por até 90 dias, é em temperatura de refrigeração (7 ºC).

Palavras-chaves: Envase a frio; *Hot fill*; armazenamento sob refrigeração e temperatura ambiente; vida de prateleira.

7.1. INTRODUÇÃO

O consumo de sucos prontos e néctares de frutas apresentou um crescimento relevante no país no período de 2010 a 2015 (Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas não Alcóolicas, 2017). Globalmente, Priyadarshini e Priyadarshini (2018) estimam que este segmento crescerá cerca de 18% em cinco anos, compreendendo uma produção de 90 bilhões de litros de sucos de frutas. Este crescimento se deve não só pelas características sensoriais destes produtos, mas por serem fonte de vitaminas, minerais e compostos antioxidantes, substâncias importantes para o bom funcionamento do organismo humano, além de serem práticos e de fácil consumo, reunindo, assim, características importantes para o consumidor (CROZIER; JAGANATH; CLIFFORD, 2009; HURTADO et al., 2015).

Os sucos mistos compostos por polpas integrais de frutas e hortaliças sem adição de água e açúcar, também conhecidos como *smoothies*, representam uma forma de unir características sensoriais desejáveis de diferentes frutas em um mesmo produto, além da possível ação funcional no organismo devido à combinação de diferentes compostos bioativos. Os *smoothies* também são interessantes considerando-se o desenvolvimento de novos sabores, melhoria da cor e consistência do produto final, além de representar uma alternativa potencial para a redução das perdas de frutas e hortaliças (BHARDWAJ; PANDEY, 2011; BRASIL, 2009).

Seguindo essa tendência do mercado, foi desenvolvido um *smoothie* de juçara, banana e morango com boa aceitabilidade sensorial e com teores relevantes de compostos fenólicos (RIBEIRO et al., 2018). A juçara apresenta uma composição rica em compostos bioativos e que contribui para a capacidade antioxidante da formulação, principalmente pelo seu alto teor de antocianinas (SCHULZ et al., 2016). A banana contém vitaminas, minerais e uma pequena fração de compostos fenólicos, sendo muito utilizada na formulação de sucos em função do seu sabor doce e da consistência (AURORE; PARFAIT; FAHRASMANE, 2009). O morango é rico em minerais como fósforo, cálcio, ferro e magnésio e contém também antocianinas e outros compostos bioativos (HOSSAIN et al., 2016; TIWARI et al., 2009) e, por apresentar sabor característico levemente ácido (OLIVEIRA et al., 2013), contribui para o equilíbrio doce/ácido, melhorando a qualidade sensorial dos produtos nos quais ele é adicionado.

Entretanto, por ser um produto rico em nutrientes, o que facilita o crescimento

microbiano, é necessário que o *smoothie* seja submetido a tratamento térmico, visando à redução da carga microbiana inicial e destruição de microrganismos patogênicos, a fim de propiciar uma maior estabilidade durante o seu armazenamento. Embora alguns trabalhos destaquem os efeitos negativos do calor nas qualidades sensoriais e nutricionais do produto, essa tecnologia ainda se destaca pela redução significativa da carga microbiana inicial em produtos líquidos como os sucos de frutas em comparação com tecnologias não-térmicas de estabilização (KEENAN et al., 2012; TOMADONI et al., 2017). Para Walkling et al. (2010), a combinação de tempos curtos e médias e altas temperaturas na pasteurização promoveu redução significativa da carga microbiana de um *smoothie* de abacaxi, banana, maçã, laranja e leite de coco. Neste caso, os autores não observaram diferença significativa na aceitação sensorial global do produto quando comparado ao controle, mostrando que em condições operacionais adequadas os efeitos do calor podem ser minimizados.

Uma vez que a pasteurização se apresenta como uma tecnologia em potencial para prolongar a vida útil de bebidas à base de frutas, além de ser de mais fácil aplicação por este segmento da indústria alimentícia, compreendendo desde pequenas a grandes indústrias, este trabalho teve por objetivo avaliar a estabilidade de um *smoothie* de juçara, banana e morango pasteurizado, envasado a frio e a quente, armazenado por 90 dias nas temperaturas de 7 e 25 ºC.

7.2. MATERIAL E MÉTODOS

7.2.1. Material

Para a realização deste trabalho foram utilizadas polpas comerciais de morango (Sempre Viva) e juçara (Vip Polpa), ambas congeladas e não pasteurizadas. A polpa de morango foi adquirida no comércio local da cidade do Rio de Janeiro e a polpa de juçara foi adquirida diretamente da indústria processadora, de Rio Novo do Sul, Espírito Santo. A polpa de juçara foi centrifugada em centrífuga de cestos com malha de nylon de 150 µm (Centrifugal IEC - Model K7165, EUA), a fim de remover parte dos sólidos em suspensão provenientes do despolpamento e reduzir a fração lipídica, uma vez que esta pode comprometer a qualidade do produto, por causar rancidez oxidativa.

A polpa de banana foi obtida em despolpadeira horizontal (Itametal, Brasil) provida de peneira inox de 1,5 mm e pás de polietileno a partir dos frutos da variedade nanica, adquiridos no comércio local do Rio de Janeiro. Foram utilizadas bananas em

estádio de maturação classificado como 6, ou seja, casca totalmente amarela, conforme escala de maturação descrita por Aurore, Parfait e Fahrasmane (2009).

Todas as polpas foram armazenadas sob congelamento a -18 °C até o momento da realização dos experimentos.

7.2.2. Metodologia experimental

7.2.2.1. Processamento do smoothie

O *smoothie* foi obtido pela mistura das polpas de banana (40%), morango (40%) e juçara (20%) em liquidificador industrial, homogeneizado em um homogeneizador APV Gaulin (EUA) a 60 MPa, e submetido a tratamento térmico. O produto foi pasteurizado em um trocador de calor de superfície raspada (FT25D, Armfield, Inglaterra) a 90 °C por 35 s, sendo o envase, a frio e a quente (*hot fill*), realizado em câmara de envase ultra limpo (Figura 7.1). No envase a quente, o produto foi acondicionado em garrafas de vidro transparente de 300 mL fechadas com tampas metálicas do tipo garra-torção e resfriado em banho de gelo, sendo armazenado a 25 ºC. No envase a frio, o produto pré-resfriado na etapa final da pasteurização (40 ºC) foi envasado em garrafas de PET transparente (300 mL) e fechadas com tampas de plástico rosqueáveis. Estas garrafas foram resfriadas em banho de gelo e armazenadas a 7 ºC. Todas as garrafas foram previamente sanitizadas com hipoclorito de sódio 50 $mL.kg^{-1}$ e, após envase, foram armazenadas em incubadoras do tipo B.O.D. sob temperatura controlada durante 90 dias.

Amostras do *smoothie* foram coletadas a cada 15 dias, para avaliação dos teores de compostos fenólicos e antocianinas, capacidade antioxidante, pH, sólidos solúveis, acidez titulável e cor instrumental. O mesmo período de coleta foi adotado para avaliação da qualidade microbiológica do *smoothie*. As amostras foram testadas quanto a presença de fungos filamentosos, leveduras, bactérias mesófilas e bactérias láticas. A fim de atender à legislação, foram ainda realizadas avaliações de *Salmonella* sp e coliformes a 45 ºC nos tempo 0 e 90 dias de armazenamento, de forma a confirmar a adoção de boas práticas de fabricação no desenvolvimento do produto e validar as mesmas no período final do estudo da estabilidade.

Foto: Virgínia Matta

Figura 7.1 - Envase do *smoothie* de juçara, banana e morango em câmara ultra limpa.

7.2.3. Métodos Analíticos

7.2.3.1. Compostos fenólicos totais

A determinação dos compostos fenólicos totais (CFT) foi realizada por espectrofotometria, utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu (Merck®, Alemanha), de acordo com o método de Singleton e Rossi (1965). Os compostos fenólicos foram extraídos em acetona 70% por 30 minutos sob agitação. Após a filtração os extratos foram diluídos (1:10) com água destilada e usados na quantificação. O ácido gálico, padrão analítico, foi utilizado como referência, sendo os resultados expressos em mg de ácido gálico equivalente por 100 g de amostra.

7.2.3.2. Antocianinas monoméricas totais

As antocianinas monoméricas totais (AMT) foram quantificadas pelo método do pH diferencial (GIUSTI; WROLSTAD, 2001), utilizando a cianidina-3-glucosídeo como referência, cujo valor do coeficiente de extinção molar é de 26900 $M^{-1}cm^{-1}$ e massa molecular de 449,2 $g.gmol^{-1}$. As amostras foram diluídas em tampão pH 1,0 e pH 4,5, separadamente, e após 30 minutos de estabilização, as absorvâncias das soluções foram lidas a 510 e 700nm.

7.2.3.3. Capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante (CA) foi determinada pelo método de redução do radical ABTS+•, de acordo com Re et al. (1999) e os resultados foram expressos em µmol de Trolox por grama de amostra. Para tal, as amostras foram extraídas, primeiramente, com metanol 50% por 1 hora seguido de centrifugação para a separação do sobrenadante. O precipitado foi novamente extraído com acetona 70% nas mesmas condições citadas anteriormente (RUFINO et al., 2007). Os extratos foram combinados e adicionados de água destilada para completar o volume de 25 mL. A determinação da capacidade foi obtida por meio da reação de 30 µL de extrato da amostra com 3 mL de ABTS•+, sendo a absorvância medida a 734 nm após 6 minutos.

7.2.3.4. pH, acidez titulável, sólidos solúveis e sólidos totais

Para as medidas de pH e acidez titulável foi utilizado um titulador automático devidamente calibrado (785 DMP Titrino, Metrohm). A determinação dos sólidos solúveis foi realizada em refratômetro digital portátil (Pal-3, Atago). Os sólidos totais foram determinados gravimetricamente em estufa a vácuo a 70 ºC. Estas análises foram realizadas seguindo as metodologias recomendadas pela AOAC (2006).

7.2.3.5. Cor instrumental

A análise instrumental de cor foi realizada em colorímetro (ColorQuest XE, Hunterlab) utilizando o sistema CIELab/CIELCH de coordenadas L*, a*, b*, e ângulo Hue (h) com abertura de 0,375 mm de diâmetro, com iluminante D65/10 (FERREIRA, 1981), onde L* = luminosidade (0 = preto e 100 = branco); a* (-80 até zero = verde, do zero ao +100 = vermelho); b* (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo); H° ângulo Hue = arctan (b*/a*).

7.2.3.6. Avaliação microbiológica

As amostras do produto foram analisadas para detecção de *Salmonella* sp, coliformes a 45 ºC, contagem padrão em placas de bactérias aeróbias mesófilas e contagem de fungos filamentosos e leveduras, segundo as metodologias recomendadas pela *American Public Health Association* (2001).

7.2.3.7. Análise sensorial

O smoothie armazenado sob refrigeração foi avaliado quanto a sua aceitação

sensorial, sendo avaliadas as amostras retiradas nos tempos 0, 29, 60, 75 e 90 dias de armazenamento. O teste de aceitação foi realizado com 74 provadores adultos não treinados, de ambos os sexos, selecionados entre estagiários e funcionários da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro. Todos os avaliadores são potenciais consumidores de bebidas de frutas.

Os provadores avaliaram o *smoothie* quanto à aceitação global, relativa à primeira impressão causada pelo produto como um todo (aparência, aroma, cor, sabor). A aceitação global foi medida por meio de uma escala hedônica estruturada de 9 pontos (9 = gostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 1 = desgostei extremamente) (MEILGAARD et al., 1999).

As amostras foram servidas, monadicamente, em copos plásticos brancos com 50 mL de capacidade, codificados com algarismos de três dígitos à temperatura de refrigeração em cabines individuais, sob luz branca.

Esta etapa do projeto foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos/RJ ligado ao Hospital Universitário Clementino Fraga Filho/HUCFF/UFRJ, protocolada sob n° 17796813.0.00005257.

7.2.4. Análise dos dados

Os dados obtidos foram tratados, estatisticamente, no *software Statistica 12* por meio de análise de variância (ANOVA), considerando o teste de *Tukey*, para verificação da existência de diferenças significativas entre as médias, considerando-se um intervalo de confiança de 95%. O estudo do armazenamento e os ensaios analíticos foram realizados em triplicata e os valores médios mais desvio padrão foram reportados em base úmida.

7.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.3.1. Compostos bioativos e características físico-químicas

Os resultados para os compostos bioativos e capacidade antioxidante do *smoothie* durante o armazenamento estão mostrados nas Tabelas 7.1 e 7.2, nas duas temperaturas avaliadas. A análise dos dados mostra que houve diferença significativa ($p<0,05$) no teor de antocianinas e de compostos fenólicos em relação ao tempo inicial, em ambas as temperaturas. Na temperatura de refrigeração (7 ºC) observou-se 25% de perda de antocianinas e de 9% para os compostos fenólicos ao final dos 90 dias de

armazenamento. O *smoothie* armazenado à temperatura ambiente (25 ºC) apresentou maiores perdas destes compostos, sendo de 66% para as antocianinas e de 11% para compostos fenólicos. A degradação dos compostos fenólicos se deve, provavelmente, a oxidação dos mesmos ao longo do armazenamento, apresentando, como esperado, maior redução na maior temperatura, uma vez que esta pode catalizar a degradação dos compostos fenólicos como reportado por Laorko, Tongchitpakdee e Youravong (2013). Estes autores avaliaram a degradação dos compostos fenólicos de suco de abacaxi clarificado armazenado por seis meses a 4, 27 e 37 ºC.

A capacidade antioxidante não diferiu significativamente ao longo do armazenamento, em ambas as temperaturas. O potencial antioxidante do *smoothie* se deve, principalmente, à presença dos diferentes compostos fenólicos, representados, majoritariamente, pelas antocianinas e pelo ácido elágico (resultado mostrado no capítulo 4), de modo que a degradação desses compostos pode acarretar a diminuição da capacidade antioxidante do produto. Como a capacidade antioxidante não variou significativamente, supõe-se que, provavelmente, a degradação térmica das antocianinas pode levar à formação de outros compostos fenólicos, de igual ou até superior potencial antioxidante (PATRAS et al., 2010).

Inada et al. (2017) verificaram o aumento no teor dos compostos fenólicos totais e da capacidade antioxidante do suco de jabuticaba obtido por arraste a vapor e armazenado à temperatura ambiente por 90 dias, apesar da degradação de antocianinas como a cianidina e delfinidina, principalmente. Uma vez que os autores determinaram o perfil de compostos fenólicos do produto durante o armazenamento, os mesmos sugerem que a despolimerização dos elagitaninos a ácido elágico e que a clivagem das antocianinas, cujo produto de degradação é o ácido gálico, foram os fenômenos responsáveis por este comportamento, uma vez que a concentração dos ácidos elágico e gálico aumentou, significativamente, ao longo do estudo. Devido à similaridade da composição fenólica, os resultados de Inada et al. (2017) dão suporte aos resultados obtidos no presente trabalho.

Com relação às características físico-químicas do *smoothie* (Tabelas 7.1 e 7.2), foram observadas poucas alterações durante o armazenamento, tanto na temperatura de refrigeração quanto na temperatura ambiente. O pH do *smoothie*, em ambas as temperaturas, apresentou uma ligeira redução ($p<0,05$) após 75 dias de armazenamento. O teor de sólidos solúveis e a acidez do produto armazenado a 7 ºC não variaram

significativamente. O teor de sólidos solúveis do produto armazenado a 25 ºC apresentou ligeira diminuição ($p<0,05$) nos primeiros 15 dias, porém manteve-se constante ao longo dos 90 dias. Isto, possivelmente, se deve a um erro amostral no envase do *smoothie*. A acidez também apresentou uma pequena variação ($p<0,05$) ao longo do mesmo período. Entretanto, é importante destacar que em função do baixo erro analítico destes parâmetros físico-químicos, pequenas variações nos valores absolutos se tornam significativas estatisticamente, o que, na prática, não acarretam em mudanças físico-químicas relevantes no produto.

Alguns resultados reportados corroboram os resultados obtidos no presente trabalho, nos quais se verifica ligeira ou inexistente alteração nos parâmetros físico-químicos de bebidas de frutas armazenadas, como, por exemplo, os trabalhos realizados por Inada et al. (2017) e Tomadoni et al. (2017), que avaliaram o comportamento desses parâmetros ao longo do armazenamento de suco de jabuticaba obtido por arraste a vapor e de suco de morango pasteurizado e sonicado, respectivamente.

Tabela 7.1 - Compostos bioativos e características físico-químicas de *smoothie* de juçara, banana e morango ao longo do armazenamento a 7 ºC.

Parâmetros	Tempo de armazenamento (dias)						
	0	15	30	45	60	75	90
Antocianinas[1]	15,41 ± 0,88 [a]	14,47 ± 0,18 [a,b]	13,81± 0,77 [b]	13,54 ± 0,53[b]	13,47 ± 0,59 [b]	11,78 ± 0,46 [c]	11,56 ± 0,86[c]
Compostos Fenólicos[2]	183,25 ± 11,75 [a]	173,64 ± 4,94 [a,b]	167,18 ± 22,45[a,b]	132,05 ± 11,23[c]	132,32 ± 22,81[c]	154,16 ± 13,99[b,c]	166,16 ± 4,60[a,b]
Capacidade Antioxidante[3]	9,43 ± 0,54[a]	9,16 ± 0,35[a]	9,78 ± 0,43[a]	9,88 ± 0,43[a]	9,71 ± 0,66[a]	9,54 ± 0,59[a]	9,06 ± 0,69[a]
Acidez[4]	0,52 ± 0,01[a]	0,52 ± 0,01[a]	0,51 ± 0,01[a]	0,55 ± 0,05[a]	0,52 ± 0,02[a]	0,53 ± 0,00[a]	0,53 ± 0,00[a]
pH	4,07 ± 0,01[a]	4,08 ± 0,03[a]	4,07 ± 0,02[a]	4,05 ± 0,02[a]	4,06 ± 0,02[a]	4,00 ± 0,01[b]	4,01 ± 0,01[b]
Sólidos solúveis[5]	12,3 ± 0,24[a]	11,8 ± 0,71[a]	12,0 ± 0,59[a]	12,3 ± 0,17[a]	12,1 ± 0,29[a]	12,1 ± 0,26[a]	12,4 ± 0,10[a]

Resultados expressos como média ± desvio padrão. [1]Expresso em mg de cianidina-3-glicosídeo.100 g^{-1}. [2]Expresso em mg de ácido gálico.100 g^{-1}. [3]Expresso em µmol de Trolox.g^{-1}. [4]Expresso em g de ácido cítrico.100 g [1]. [5]Expresso em ºBrix. Médias na mesma linha seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si ($p<0,05$).

Tabela 7.2 - Compostos bioativos e características físico-químicas de *smoothie* de juçara, banana e morango ao longo do armazenamento a 25 ºC.

Parâmetros	Tempo de armazenamento (dias)						
	0	15	30	45	60	75	90
Antocianinas[1]	15,48 ± 0,54[a]	11,04 ± 0,68[b]	9,50 ± 1,00[b,c]	8,51 ± 0,76[c]	6,60 ± 0,97[d]	5,65 ± 1,32[d]	4,97 ± 1,43[d]
Compostos Fenólicos[2]	174,99 ± 5,76[a]	174,20 ± 9,02[a]	160,54 ± 15,71[a,b]	130,79 ± 13,38[c]	137,56 ± 19,22[b,c]	149,55 ± 15,32[b,c]	154,68 ± 2,11[a,b]
Capacidade Antioxidante[3]	9,58 ± 0,28[a]	9,98 ± 0,47[a]	10,07 ± 0,72[a]	10,11 ± 1,03[a]	10,18 ± 0,32[a]	9,85 ± 0,36[a]	9,60 ± 0,67[a]
Acidez[4]	0,53 ± 0,01[a,b]	0,51 ± 0,01[b]	0,51 ± 0,01[b]	0,51 ± 0,01[b]	0,51 ± 0,02[b]	0,54 ± 0,00[a]	0,52 ± 0,00[a,b]
pH	4,07 ± 0,00[a]	4,07 ± 0,03[a]	4,07 ± 0,01[a]	4,06 ± 0,03[a]	4,08 ± 0,03[a]	4,01 ± 0,02[b]	4,00 ± 0,01[b]
Sólidos solúveis[5]	12,5 ± 0,28[a]	10,7 ± 1,43[b]	12,2 ± 0,35[a]	12,0 ± 0,41[a]	12,0 ± 0,17[a]	12,6 ± 0,08[a]	12,4 ± 0,14[a]

Resultados expressos como média ± desvio padrão. [1]Expresso em mg de cianidina-3-glicosídeo.100 g^{-1}. [2]Expresso em mg de ácido gálico.100 g^{-1}. [3]Expresso em µmol de Trolox.g^{-1}. [4]Expresso em g de ácido cítrico.100 g^{-1}. [5]Expresso em ºBrix. Médias na mesma linha seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si ($p<0,05$).

7.3.2. Cor instrumental

Avaliando-se os parâmetros de cor instrumental do *smoothie* durante o seu armazenamento (Tabelas 7.3 e 7.4), verifica-se que a luminosidade foi o único parâmetro que não variou em ambas as temperaturas ($p>0,05$). Os demais parâmetros de cor foram afetados, significativamente, pelo tempo de armazenamento e pela temperatura, sendo que as alterações mais drásticas foram observadas no *smoothie* armazenado à temperatura ambiente.

O parâmetro a*, que representa a intensidade de vermelho na amostra, variou ($p<0,05$) principalmente no produto armazenado a 25 ºC, corroborando com a degradação das antocianinas observada nos resultados discutidos no item anterior (7.3.1.).

Comparando-se as alterações observadas para os valores dos parâmetros b* e C*, os quais correspondem à intensidade de amarelo e à saturação de cor nas amostras, respectivamente, bem como para o ângulo Hue (Hº), o qual corresponde à cor do produto que é visualizada pelo consumidor, observou-se uma maior estabilidade da cor instrumental quando o *smoothie* foi armazenado sob refrigeração.

No *smoothie* armazenado à temperatura ambiente os parâmetros b* e Hº variaram drasticamente, verificando-se um aumento de até 11º no ângulo Hue. Estas mudanças se devem as reações químicas que podem ocorrer entre os próprios componentes do produto, catalisadas pela temperatura ao longo do tempo de exposição. Os produtos ricos em antocianinas podem sofrer polimerização e/ou clivagem durante o processamento e armazenamento, como documentado por diferentes autores (WEBER; LARSEN, 2017; SILVA et al., 2017). Estas reações acarretam mudanças indesejáveis na cor do produto, o que pode, em muitos casos, diminuir a aceitação sensorial do mesmo.

Segundo Choi, Kim e Lee (2002), valores de ΔE superiores a 2 indicam alterações de cor visíveis em produtos submetidos ao armazenamento. Assim, apenas o *smoothie* armazenado sob refrigeração não apresentou mudanças visíveis em relação à cor da amostra inicial (tempo zero do armazenamento) até os 90 dias. Com relação ao produto armazenado à temperatura ambiente, as alterações de cor visíveis ao consumidor foram registradas a partir dos 75 dias de armazenamento.

Tabela 7.3 - Parâmetros de cor instrumental do *smoothie* de juçara, banana e morango ao longo do armazenamento a 7 ºC.

	Tempo de armazenamento (dias)						
Parâmetros	0	15	30	45	60	75	90
L*	32,5 ± 1,1^{a}	33,2 ± 1,2^{a}	33,6 ± 0,6^{a}	32,1 ± 2,0^{a}	31,9 ± 2,5^{a}	32,0 ± 2,6^{a}	32,1 ± 2,6^{a}
a*	10,4 ±0,1^{a,b,c}	10,2 ± 0,2^{a,b}	9,9 ± 0,3^{b}	10,9 ± 0,6^{c}	10,9 ± 0,5^{c}	10,9 ± 0,5^{c}	10,8 ± 0,5^{a,c}
b*	1,6 ± 0,1^{b}	1,5 ± 0,2b^{b,c}	1,1 ± 0,0^{a}	1,3 ± 0,2^{a,c}	1,4 ± 0,2^{b,c}	1,6 ± 0,2^{b,c}	1,5 ± 0,2^{b,c}
C*	10,5 ± 0,1^{a,b,c}	10,3 ± 0,2 ^{a,b}	9,9 ± 0,3^{a}	11,0 ± 0,6^{c}	11,0 ± 0,5^{b,c}	11,0 ± 0,5^{c}	11,0 ± 0,5^{b,c}
Hº	9,0 ± 0,8^{b}	8,3 ± 1,4^{b,c}	6,3 ± 0,3^{a}	7,0 ± 0,6^{a,d}	7,1 ± 0,9^{a,c,d}	8,1 ± 0,7 ^{b,c,d}	8,0 ± 0,7 ^{b,c,d}
ΔE	-	0,7	1,3	1,2	1,5	1,6	1,6

Resultados expressos como média ± desvio padrão. L* - luminosidade. a* - intensidade de vermelho.b* - intensidade de amarelo. C* - Croma. Hº - âmgulo Huo. ΔE – variação da cor. Médias na mesma linha seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si ($p<0,05$).

Tabela 7.4 - Parâmetros de cor instrumental do *smoothie* de juçara, banana e morango ao longo do armazenamento a 25 ºC.

Parâmetros	Tempo de armazenamento (dias)						
	0	15	30	45	60	75	90
L*	32,5 ± 1,1^{a}	32,6 ± 2,1^{a}	32,9 ± 2,1^{a}	32,9 ± 1,9^{a}	32,6 ± 2,2^{a}	32,7 ± 2,2 ^{a}	33,3 ± 1,8 ^{a}
a*	10,4 ±0,1^{a,b}	10,7 ± 0,3^{a}	10,3 ± 0,6^{a,b}	9,9 ± 0,5^{b,c}	9,5 ± 0,5^{c,d}	9,4 ± 0,2^{c,d}	9,2 ± 0,4^{d}
b*	1,6 ± 0,1^{d}	1,9 ± 0,3^{c,d}	2,3 ± 0,3^{b,c}	2,6 ± 0,5^{a,b}	2,9 ± 0,4^{a,e}	3,2 ± 0,4^{e}	3,4 ± 0,3^{e}
C*	10,5 ± 0,1^{a,b}	10,9 ± 0,4^{a}	10,5 ± 0,7^{a,b}	10,2 ± 0,6^{a,b}	10,0 ± 0,6^{b}	9,9 ± 0,4^{b}	9,8 ± 0,5^{b}
Hº	9,0 ± 0,8^{a}	10,3 ± 1,2^{a,b}	12,4 ± 1,1^{b,c}	14,4 ± 2,2^{c}	16,7 ± 1,8^{d}	18,8 ± 1,7^{d,e}	20,0 ± 1,1^{e}
ΔE	-	1,2	1,4	1,5	1,9	2,2	2,3

Resultados expressos como média ± desvio padrão. L* - luminosidade. a* - intensidade de vermelho.b* - intensidade de amarelo. C* - Croma. Hº - âmgulo Huo. ΔE – variação da cor. Médias na mesma linha seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si ($p<0,05$).

7.3.3. Qualidade microbiológica

Nas Tabelas 7.5 e 7.6 estão apresentados os resultados das análises microbiológicas do *smoothie* durante o armazenamento sob refrigeração e em temperatura ambiente. Verificou-se, em ambas temperaturas, a ausência de *Salmonella* sp e de coliformes a 45 ºC nos tempos 0 e 90 dias, comprovando a adoção de boas práticas de fabricação na elaboração e armazenamento do produto. Os resultados também estão em acordo com o que preconiza a legislação brasileira para este tipo de produto, conforme descrito na RDC nº 12 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2001).

As contagens de fungos filamentos e leveduras, para ambas as temperaturas, permaneceram abaixo de 10^2 UFC.g^{-1} durante o período de armazenamento. De acordo com o Padrão de Identidade e Qualidade de Polpas de Frutas do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), as polpas podem apresentar contagem de fungos filamentosos e leveduras até 10^3 UFC.g^{-1} (BRASIL, 2000), portanto, o *smoothie* formulado está dentro dos padrões estabelecidos por este órgão, sendo considerado seguro para o consumo até 90 dias, quando processado e armazenado nas condições deste estudo.

A legislação brasileira em vigor para este tipo de bebida não estabelece padrão para a contagem de bactérias aeróbias mesófilas e láticas, porém a presença desses dois grupos de microrganismos, classificados como bactérias deteriorantes, em números elevados, pode afetar a qualidade do alimento, promovendo alterações drásticas nos parâmetros físico-químicos como pH, acidez e sólidos solúveis, por exemplo. Uma vez que tais alterações não foram observadas, conforme discutido no item anterior (Tabelas 6.1 e 6.2), isto confirma que o crescimento máximo de 10^3 UFC.g^{-1}, observado em ambas contagens, não comprometeu a qualidade do produto.

Segundo Franco e Ladgraf (2003) a contagem de bactérias aeróbias mesófilas é utilizada para indicar a qualidade sanitária do alimento, pois uma contagem elevada ($>10^8$ UFC/g) deste grupo indica o uso de matéria-prima contaminada ou processamento insatisfatório.

Tabela 7.5 - Qualidade microbiológica de *smoothie* de juçara, banana e morango ao longo do armazenamento a 7 ºC.

Parâmetros	Tempo de armazenamento (dias)						
	0	15	30	45	60	75	90
Coliformes a 45 ºC[1]	<3	nr	nr	nr	nr	nr	<3
CBAM (UFC.g^{-1})	$1,5x10^4$ (estimado)	$3,1x10^3$ (estimado)	$3,6x10^3$ (estimado)	$7,1x10^3$ (estimado)	$3,6x10^3$ (estimado)	$4,0x10^3$ (estimado)	$3,0x10^3$ (estimado)
CBL (UFC.g^{-1})	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^3$ (estimado)
FFL (UFC.g^{-1})	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)
Salmonella sp.[2]	Ausência	nr	nr	nr	nr	nr	Ausência

[1]Resultados expressos em UFC.g^{-1}. [2]Ausência em 25 g de amostra. nr – não realizado. CBAM - Contagem de bactérias aeróbias mesófilas. CBL - Contagem de bactérias láticas. FFL - Fungos filamentosos e leveduras.

Tabela 7.6 - Qualidade microbiológica de *smoothie* de juçara, banana e morango ao longo do armazenamento a 25 ºC.

Parâmetros	Tempo de armazenamento (dias)						
	0	15	30	45	60	75	90
Coliformes a 45 ºC[1]	<3	nr	nr	nr	nr	nr	<3
CBAM (UFC.g^{-1})	$1,5x10^4$ (estimado)	$3,1x10^3$ (estimado)	$3,6x10^3$ (estimado)	$7,1x10^3$ (estimado)	$3,6x10^3$ (estimado)	$4,0x10^3$ (estimado)	$3,0x10^3$ (estimado)
CBL (UFC.g^{-1})	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^3$ (estimado)
FFL (UFC.g^{-1})	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)	$<1,0x10^2$ (estimado)
Salmonella sp.[2]	Ausência	nr	nr	nr	nr	nr	Ausência

[1]Resultados expressos em UFC.g^{-1}. [2]Ausência em 25 g de amostra. nr – não realizado. CBAM - Contagem de bactérias aeróbias mesófilas. CBL - Contagem de bactérias láticas. FFL - Fungos filamentosos e leveduras.

7.3.4. Avaliação sensorial

Os resultados da avaliação sensorial são mostrados na Tabela 7.7, na qual se observa pouca influência do tempo e da temperatura de armazenamento sobre a aceitação global do *smoothie* de juçara, banana e morango. Cabe ressaltar que em todos os tempos houve boa aceitação, uma vez que as notas foram superiores a 5, nota esta que representa a faixa "nem gostei e nem desgostei", confirmando a aceitação do produto ao longo do armazenamento.

Uma vez que a aceitação global é relativa à primeira impressão causada pelo produto como um todo (aparência, aroma, cor, sabor), o armazenamento sob refrigeração preservou a qualidade sensorial do *smoothie*, o que está relacionado com os dados mostrados nos itens anteriores, nos quais se observou estabilidade dos parâmetros físico-químicos e boa retenção de antocianinas e cor instrumental.

Tabela 7.7 - Notas da avaliação sensorial do *smoothie* de juçara, banana e morango armazenado por 90 dias a 7 ºC.

Tempo (dias)	Aceitação global (notas)
0	$6,5^{b}$
29	$7,0^{a}$
60	$7,0^{a}$
75	$6,8^{a,b}$
90	$6,9^{a,b}$

Resultados expressos como média. Médias na mesma coluna seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si ($p<0,05$).

7.4. CONCLUSÕES

Os resultado obtidos indicaram que o *smoothie* de juçara, banana e morango formulado e pasteurizado nas condições propostas neste trabalho pode ser armazenado por até 90 dias sob temperatura de refrigeração (7 ºC). Além de garantir a estabilidade microbiológica, nestas condições o produto apresentou maior estabilidade das antocianinas, características físico-químicas, cor instrumental e aceitação sensorial, mantendo a sua capacidade antioxidante.

REFERÊNCIAS

Abir (2017) Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas não

Alcoólicas. Dados estatísticos. Retrieved from http://abir.org.br/o-setor/dados/

American Public Health Association. (2001). Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Food (4th ed.). APHA. Press. Washington, D.C.

A.O.A.C. (2006). Official methods of analysis (14th ed.). Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists.

Aurore, G., Parfait, B., & Fahrasmane, L. (2009). Bananas, raw materials for making processed food products. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 78–91.

Bhardwaj, R. L., & Pandey, S. (2011). Juice Blends—A Way of Utilization of Under-Utilized Fruits, Vegetables, and Spices: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51, 563–570.

Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n°12, de 02 de janeiro de 2001. Dispõe sobre os princípios gerais para o estabelecimento de critérios e padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 jan. 2001.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009). Decreto nº 6.871, de 04 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. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. (2000). Instrução Normativa n° 01, de 07 de janeiro de 2000, que dispões sobre o padrão de identidade e qualidade de sucos de frutas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Choi, M. H., Kim, G. H., & Lee, H. S. (2002). Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (Citrus sinensis) juice during refrigerated storage. *Food Research International*, 35, 753–759.

Crozier, A., Jaganath, I. B., & Clifford, M. N. (2009). Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. *Nat. Prod. Rep*., 26, 1001–1043.

Ferreira, V. L. P. (1981). *Princípios e Aplicações da Colorimetria em Alimentos*. ITAL.

Franco, B. D. G. M., & Landgraf, M. (2003). *Microbiologia dos Alimentos*. 2.ed., Rio

de Janeiro: Atheneu.

Giusti, M. M., & Wrolstad R. E. (2001). *Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy.* In: Wrolstad, R. E. (ed.), Current protocols in food analytical chemistry (unit F1.2; pp. 1-13). New York: John Wile.

Hossain, A., Begum, P., Zannat, M. S., Rahman, M. H., Ahsan, M., & Islam, S. N. (2016). Nutrient composition of strawberry genotypes cultivated in a horticulture farm. *Food Chemistry*, 199, 648–652.

Hurtado, A., Picouet, P., Jofré, A., Guàrdia, M. D., Ros, J. M., & Bañón, S. (2015). Application of High Pressure Processing for Obtaining B Fresh-Like Fruit *Smoothies*. *Food Bioprocess and Technology*, 8, 2470–2482.

Inada, K. O. P., Duarte, P. A., Lapa, J., Miguel, M. A. L., & Monteiro, M. (2017). Jabuticaba (Myrciaria jaboticaba) juice obtained by steam-extraction: phenolic compound profile, antioxidant capacity, microbiological stability, and sensory acceptability. *Journal of Food Science and Technology*, 1-10.

Keenan DF, Rößle C, Gormley R, et al (2012). Effect of high hydrostatic pressure and thermal processing on the nutritional quality and enzyme activity of fruit *smoothies*. *LWT - Food Sci Technol*, 45, 50–57.

Laorko, A.; Tongchitpakdee, S.; Youravong, W. (2013). Storage quality of pineapple juice non-thermally pasteurized and clarified by microfiltration. *Journal of Food Engineering*, 116, 554-561.

Meilgaard, M., Civille, G. V., Carr, B. T. (1991). *Sensory evaluation tecniques*. Boca Raton: CRC Press.

Oliveira, M. I. S., Tonon, R. V., Nogueira, R. I., & Cabral, L. M. C. (2013). Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. *Brazilian Journal of Food Technology*, 16, 310–318.

Patras, A., Brunton, N. P., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 3–11.

Priyadarshini, A., & Priyadarshini, A. (2018). *Market dimensions of the fruit juice industry*. In: Rajauria, G., & Tiwari, B. K. (eds), Fruit Juices: Extraction,

Composition, Quality and Analysis (pp. 15-32). London: Academic Press.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231–1237.

Ribeiro L. O., Santos J. G. C., Gomes F. S., et al. (2018). Sensory evaluation and antioxidant capacity as quality parameters in the development of a banana, strawberry and juçara *smoothie*. *Food Sci Technol*, in Press.

Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Morais, S. M., Sampaio, C. G., Pérez-Jiménez, J., & Saura-Calixto F. D. (2007). Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS+. *Comunicado Técnico*, 128, 1-4.

Schulz, M., da Silva Campelo Borges, G., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Juçara fruit (Euterpe edulis Mart.): Sustainable exploitation of a source of bioactive compounds. *Food Research International*, 89, 14–26.

Silva, V. L. M., Silva, A. C. O., Costa-Lima, B. R. C., Carneiro, C. S., & Conte-Junior, C. A. (2017). Stability of polyphenols from blueberry (Vaccinium corymbosum L.) in fermented dairy beverage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, 1-8.

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.*, 16, 144.

Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P., & Cullen, P. J. (2009). Effect of sonication on retention of anthocyanins in blackberry juice. *Journal of Food Engineering*, 93, 166–171.

Tomadoni, B., Cassani, L., Viacava, G., Moreira, M. D. R., & Ponce, A. (2017). Effect of ultrasound and storage time on quality attributes of strawberry juice. *Journal of Food Process Engineering*, 40, 1-8.

Walkling-Ribeiro, M., Noci, F., Cronin, D. A., Lyng, J. G., & Morgan, D. J. (2010). Shelf life and sensory attributes of a fruit *smoothie*-type beverage processed with moderate heat and pulsed electric fields. *LWT - Food Science and Technology*, 47, 1067–1073.

Weber, F., & Larsen, L. R. (2017). Influence of fruit juice processing on anthocyanin

stability. *Food Research International*, 100, 354–365.

8. CONCLUSÕES GERAIS

Neste estudo foi possível obter quatro formulações de *smoothie* de juçara, banana e morango sem adição de água ou açúcar, com aceitação sensorial e valores relevantes de compostos fenólicos totais, antocianinas e capacidade antioxidante. A formulação com iguais quantidade de polpas de banana (40%) e morango (40%) e 20% de polpa de juçara destacou-se pelo equilíbrio entre os parâmetros analisados, aceitação sensorial e capacidade antioxidante, sendo a amostra selecionada para as demais etapas do estudo.

O *smoothie* de juçara, banana e morango apresentou teores relevantes de compostos fenólicos, destacando-se a rutina (5 mg.100 g^{-1}), cianidina-3-rutinosídeo (3,94 mg.100 g^{-1}) e ácido *p*-hidroxibenzóico (3,30 mg.100 g^{-1}), compostos em maior concentração no produto após a pasteurização. Após a etapa de homogeneização, o *smoothie* apresentou uma melhor homogeneidade, que propiciou uma menor viscosidade aparente quando comparado ao *smoothie* obtido somente pela mistura das polpas (amostra uniformizada). Apesar do pequeno efeito negativo da pasteurização sobre a cor global do produto, a integração dos processos de homogeneização e pasteurização promoveu a obtenção de um produto mais estável física e microbiologicamente.

A sonicação afetou a viscosidade aparente e o teor de antocianinas do *smoothie* quando comparada com a amostra não sonicada. A amostra sonicada a 220 watts por 7 minutos destacou-se pela maior retenção de antocianinas, sendo estas condições operacionais as mais recomendadas para o processamento do *smoothie* por esta tecnologia.

A bioacessibilidade dos compostos fenólicos do *smoothie* foi maior nas amostras pasteurizada e sonicada do que na amostra sem tratamento. A bioacessibilidade dos ácidos ferúlico e elágico, especificamente, foi maior na amostra pasteurizada, mostrando que o tratamento térmico exerceu um efeito positivo sobre este parâmetro. Estes resultados foram influenciados pelas características físicas das amostras, uma vez que elas apresentaram parâmetros reológicos diferentes, que estão associados ao tamanho médio de partícula das mesmas. O produto pasteurizado apresentou maior viscosidade aparente e menor tamanho médio de partícula, características que contribuíram para uma melhor homogeneidade desta amostra.

Entre as digestas analisadas, verificou-se que a digesta gástrica apresentou maior teor de antocianinas e a digesta intestinal foi caracterizada pela maior concentração de compostos fenólicos totais, sendo estes resultados fortemente influenciados pelo pH do trato gastrointestinal. Embora afetada pelo processo digestório, todas as digestas apresentaram capacidade antioxidante. A pasteurização do *smoothie* de juçara, banana e morango conferiu maior estabilidade física ao produto, contribuindo para uma maior preservação dos compostos fenólicos após a digestão gastrointestinal *in vitro*.

A qualidade microbiológica do produto armazenado a 7 ºC e 25 ºC não diferiu ao longo dos 90 dias de armazenamento. Entretanto, o tempo e a temperatura de armazenamento do *smoothie* afetaram significativamente os teores de antocianinas, compostos fenólicos e cor do produto. O armazenamento à temperatura ambiente (25 ºC) favoreceu a degradação destes compostos, sendo observadas reduções mais drásticas nestes parâmetros quando comparados aos do *smoothie* armazenado sob refrigeração (7 ºC). Este produto também apresentou boa aceitação sensorial durante o armazenamento. Assim, considerando todos os parâmetros de qualidade avaliados, o produto formulado e pasteurizado nas condições propostas neste trabalho deve ser armazenado por até 90 dias sob refrigeração.

É possível concluir que o *smoothie* de juçara, banana e morango pasteurizado, desenvolvido neste trabalho, pode ser considerado como uma alternativa potencial para agregar valor à cadeia agro-industrial da juçara, contribuindo para a preservação da palmeira e da Mata Atlântica e atendendo à uma importante tendência de mercado que busca produtos prontos para o consumo, seguros, saudáveis e com potencial de conferir benefícios à saúde.

8.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar o efeito da sonicação em sistema contínuo sobre os principais parâmetros de qualidade do *smoothie*, principalmente na sua qualidade microbiológica e compostos bioativos.
- Investigar o potencial do processamento por sonicação combinado com outras técnicas não térmicas de conservação na manutenção dos principais parâmetros de qualidade do produto.
- Avaliar o efeito da temperatura e tempo de armazenamento do *smoothie* sobre os seus principais compostos fenólicos.
- Realizar uma avaliação detalhada do perfil de compostos fenólicos presentes no *smoothie* de juçara, banana e morango por UPLC-MS, como também após o estudo da avaliação gastrointestinal *in vitro*.
- Estudar o efeito dos compostos bioacessíveis sobre os microrganismos benéficos para o bom funcionamento do intestino grosso.
- Avaliar a biodisponibilidade dos compostos bioativos do *smoothie* por meio da avaliação com células tipo Caco 2.

9. APÊNDICE

9.1. APÊNDICE A

Processo de obtenção e caracterização de *smoothie* de juçara, banana e morango

Introdução

A palmeira juçara *(Euterpe edulis* Martius), típica da Mata Atlântica brasileira, produz frutos ricos em compostos potencialmente antioxidantes, como as antocianinas (BICUDO et al., 2014; SCHULZ et al. 2016). Os frutos da juçara têm sido transformados em polpa congelada, que, por sua vez, pode ser utilizada como um ingrediente funcional em formulações de diferentes produtos tais como *smoothies*, sorvetes e outros, o que contribui para estimular o aproveitamento do fruto, preservando a palmeira.

Smoothies são produtos formulados, principalmente, de frutas e vegetais, unicamente pela mistura dos mesmos, o que permite reunir características desejáveis de diferentes frutas em um mesmo produto, seja com relação à composição nutricional ou substâncias com potencial bioativo, seja com relação aos compostos que conferem aroma e sabor. O equilíbrio entre os sabores doce e ácido, por exemplo, por meio da combinação de frutas, faz com que seja possível evitar o uso do açúcar de adição (NUNES et al., 2017; BHARDWAJ; PANDEY, 2011).

Neste trabalho estão descritas as etapas do desenvolvimento de um *smoothie* de juçara, banana e morango e a sua caracterização físico-química.

Desenvolvimento do smoothie

Para a realização deste trabalho foram utilizadas polpas comerciais de morango e juçara, ambas congeladas. A polpa de juçara foi centrifugada em centrífuga de cestos com malha de nylon de 150 µm (Centrifugal IEC - Model K7165, EUA), a fim de remover os sólidos em suspensão provenientes do despolpamento e reduzir a fração lipídica, uma vez que esta pode comprometer a qualidade do produto, por causar ranço.

A polpa de banana foi obtida pelo despolpamento dos frutos da variedade nanica, adquiridas no comércio local de Guaratiba/RJ, em despolpadeira horizontal (Itametal, Brasil) provida de peneira inox de 1,5 mm e pás de polietileno. Para o despolpamento foram utilizadas bananas em estádio de maturação classificado como 6,

ou seja, casca totalmente amarela, conforme escala de maturação descrita por Aurore et al. (2009).

O *smoothie* obtido pela mistura das polpas de banana (40%), morango (40%) e juçara (20%), foi uniformizado por agitação mecânica em liquidificador industrial (SMU), homogeneizado sob pressão em um homogeineizador APV (Gaulin, EUA) a 25 ^{o}C e 60 MPa e, posteriormente, tratado termicamente. A pasteurização foi realizada em um trocador de calor de superfície raspada (FT25D, Armfield, Inglaterra) a 90 ^{o}C/35 s.

Composição centesimal e mineral do smoothie pasteurizado

O *smoothie* apresenta composição centesimal (Tabela 9.1) típica de sucos de frutas, com baixo teor de proteínas e lipídeos e predominância de carboidratos, sendo todo este proveniente das frutas usadas na formulação, ou seja, o produto é isento de açúcar de adição. Quando comparado a outras bebidas de frutas, como néctares, por exemplo, que contêm entre 30-50% de polpa da fruta, o *smoothie* apresenta-se como uma alternativa mais saudável para o consumidor.

Tabela 9.1 - Composição centesimal do *smoothie* de juçara, banana e morango pasteurizado.

Parâmetro	SMP
Umidade (%)	85,49 ± 0,01
Proteínas (%)	0,66 ± 0,04
Lipídeos (%)	0,06 ± 0,01
Cinzas (%)	0,49 ± 0,01
Carboidratos totais (%)*	13,32 ± 0,04
Sólidos solúveis (°Brix)	12,00 ± 0,10
Fibra alimentar (%)	nq
Valor calórico (kcal·100 mL^{-1})	56,41

Resultados expressos em média ± desvio-padrão. SMP- *Smoothie* pasteurizado. *Calculado por diferença. nq – abaixo do limite de quantificação.

Na Tabela 9.2 está apresentada a composição em minerais do *smoothie*. Com base na RDC nº 269 da Agencia Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2005), que estabelece a ingestão diária recomendada (IDR) de vitaminas, minerais e proteínas,

verifica-se que em 100 gramas de *smoothie* tem-se 7% da ingestão recomendada de magnésio, 2,5% de fósforo, 4% de ferro, 2,3% de zinco, 23% de manganês e 25,5% de cobre. Pode-se destacar, também, o teor de potássio, o qual se deve, em grande parte, à presença da banana na formulação. De acordo com a RDC n° 54 (BRASIL, 2012), que normaliza os termos para a informação nutricional complementar, um produto só pode ser considerado fonte de algum mineral quando este apresenta conteúdo mínimo de 15% da IDR. Portanto, o *smoothie* de juçara, banana e morango é fonte de manganês e cobre. Sabe-se que os minerais são nutrientes essenciais para o bom funcionamento do organismo humano, atuando em diversas reações bioquímicas, sendo utilizados, muitas vezes, como cofator em processos enzimáticos (FERGUSON; FENECH, 2012).

Tabela 9.2 - Composição em minerais do *smoothie* de juçara, banana e morango pasteurizado.

Elemento	SMP
Sódio	7,10 ± 0,01
Potássio	207,77 ± 0,99
Magnésio	18,52 ± 0,47
Cálcio	12,18 ± 0,03
Fósforo	17,70 ± 0,21
Ferro	0,56 ± 0,01
Zinco	0,16 ± 0,01
Manganês	0,53 ± 0,00
Cobre	0,23 ± 0,00

Resultados expressos em média ± desvio-padrão. SMP- *Smoothie* pasteurizado. *Resultados expressos em mg·100 g^{-1}.

Considerações finais

A mistura de polpas de frutas por meio do desenvolvimento de bebidas tipo *smoothie* contribui para agregar valor à cadeia agroindustrial de frutas nativas e ainda pouco utilizadas como a juçara, como também possibilita a oferta de produtos mais saudáveis e ricos em nutrientes.

Referências

AURORE, G.; PARFAIT, B.; FAHRASMANE, L. Bananas, raw materials for making processed food products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 20, n. 2, p. 78–91, 2009.

BHARDWAJ, R. L.; PANDEY, S. Juice Blends - A Way of Utilization of Under-Utilized Fruits, Vegetables, and Spices: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 51, n. 6, p. 563–570, 2011.

BICUDO, M. O. P.; RIBANI, R. H.; BETA, T. Anthocyanins, Phenolic Acids and Antioxidant Properties of Juçara Fruits (Euterpe edulis M.) Along the On-tree Ripening Process. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 69, n. 2, p. 142–147, 2014.

BRASIL, ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005**. Aprova o "Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais".

BRASIL, ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012**. Aprovar o "Regulamento Técnico MERCOSUL sobre informação nutricional complementar (Declarações de Propriedades Nutricionais)"

FERGUSON, L. R.; FENECH, M. F. Vitamin and minerals that influence genome integrity, and exposure/intake levels associated with DNA damage prevention. **Mutation Research - Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 733, n. 1–2, p. 1–3, 2012.

NUNES, M. A.; COSTA, A. S. G.; BARREIRA, J. C. M.; VINHA, A. F.; ALVES, R. C.; ROCHA, A.; OLIVEIRA, M. B. P. P. How functional foods endure throughout the shelf storage? Effects of packing materials and formulation on the quality parameters and bioactivity of smoothies. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 70–78, 2016.

SCHULZ, M.; DA SILVA CAMPELO BORGES, G.; GONZAGA, L. V.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Juçara fruit (*Euterpe edulis* Mart.): Sustainable exploitation of a source of bioactive compounds. **Food Research International**, v. 89, Part 1, p. 14–26, 2016.

10. ANEXOS

10.1. TRABALHOS COMPLETOS EM ANAIS

RIBEIRO, L. O.; BRIGIDA, A. I. S.; FREITAS, S. P.; MATTA, V. M. Effect of ultrasound on the quality parameters of a banana, strawberry and juçara juice blend. In: XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos e o X CIGR Section VI International Techical Symposium, 2016, Gramado/RS. Food: The tree that sustains life, 2016.

10.2. RESUMOS EM ANAIS

BARBOSA, I. C. C.; **RIBEIRO, L. O.**; MATTA, V. M. Extraction of bioactive compounds from a juçara byproduct. In: 31st EFFoST International Conference, 2017, Melia Sitges, Sitges, Spain. Food Science and Technology Challenges for the 21st Century - Research to Progress Society, 2017.

RIBEIRO, L. O.; GOMES, F. S.; FREITAS, S. P.; MATTA, V. M. Effect of storage on

anthocyanin and antioxidant activity of a tropical blend juice. In: 31st EFFoST International Conference, 2017, Melia Sitges, Sitges, Spain. Food Science and Technology Challenges for the 21st Century - Research to Progress Society, 2017.

10.3. ARTIGOS EM PERIÓDICOS

RIBEIRO, L. O.; PEREIRA, R. N.; TONON, R. V.; CABRAL, L. M. C.; SANTIAGO, M. C. P. A.; VICENTE, A. A.; TEIXEIRA, J. A. C.; MATTA, V. M.; FREITAS, S. P. Antioxidant Compounds Recovery from Juçara Residue by Thermal Assisted Extraction. **Plant Foods for Human Nutrition**, 73, 68-73, 2018.

RIBEIRO, L. O.; SANTOS, J. G. C.; GOMES, F. S.; CABRAL, L. M. C.; FREITAS, D. G. C.; MATTA, V. M.; FREITAS, S. P. Sensory evaluation and antioxidant capacity as quality parameters in the development of a banana, strawberry and juçara *smoothie*. **Food Science and Technology**, In Press, 2018.

MATTA, V. M.; **RIBEIRO, L. O.**; OLIVEIRA, D. R.; FREITAS, S. C.; FREITAS, S. P. Obtenção e Caracterização Físico-Química de *Smoothie* de Juçara, Banana e Morango. **Comunicado Técnico - Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos**, v. 225, p. 1-3, 2017.