



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

ALVARO GUSTAVO FERREIRA DA SILVA

**CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS
FARINHAS DOS FRUTOS DE *Spondias purpurea* L. EM CINCO ESTÁDIOS DE
MATURAÇÃO**

POMBAL-PB
2021

ALVARO GUSTAVO FERREIRA DA SILVA

**CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS
FARINHAS DOS FRUTOS DE *Spondias purpurea* L. EM CINCO ESTÁDIOS DE
MATURAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia de
Alimentos da Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Ciências e
Tecnologia Agroalimentar, como requisito
para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Alimentos.

Orientador: D. Sc. Franciscleudo B. da Costa
Coorientador: D. Sc. Wellington Souto Ribeiro

POMBAL-PB

2021

S586c

Silva, Alvaro Gustavo Ferreira da.

Cinética de secagem e características físico-químicas das farinhas dos frutos de *Spondias purpurea* L. em cinco estádios de maturação. / Alvaro Gustavo Ferreira da Silva. - Pombal, 2021.

43 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2021.

"Orientação: Prof. Dr. Franciscleudo B. da Costa; Coorientação: Dr. Wellington Souto Ribeiro."

Referências.

1. Ciriguela. 2. *Spondias purpurea* L. 3. Cinética de secagem. 4. *Spondias purpurea* L.- farinha. 5. Ciriguela - farinha. 6. Ciriguela - secagem. I. Costa, Franciscleudo B. da. II. Ribeiro, Wellington Souto. III. Título.

CDU 634.2(043)

ALVARO GUSTAVO FERREIRA DA SILVA

**CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS
FARINHAS DOS FRUTOS DE *Spondias purpurea* L. EM CINCO ESTÁDIOS DE
MATURAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia de
Alimentos da Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Ciências e
Tecnologia Agroalimentar, como requisito
para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Alimentos.

APROVADA EM: 04/05/2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. D. Sc. Franciscleudo Bezerra da Costa
UFCG/CCTA/UATA – Orientador

Prof. D. Sc. Stelio Braga da Fonseca
UFCG/CCTA/UATA – Examinador Interno



Me. Ana Marinho do Nascimento
UFCG/CCT/PPGEP – Examinadora Externa

POMBAL – PB
2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha avó, Francisca Gonçalves de Queiroz, por me ensinar a importância dos valores, da humildade, da resiliência e do cuidado aos seus.

À minha mãe, Maria Elioneide de Queiroz Ferreira, por enfrentar tudo que enfrentou por mim, sempre me apoiando.

A Luiz Cavalcante, a quem sempre serei grato por todo o suporte dado no início da minha graduação.

Ao meu orientador, Franciscleudo Bezerra da Costa, agradeço por todas as oportunidades, ensinamentos, acolhimento, compreensão e pela grande amizade.

Aos meu coorientador, Wellington Souto Ribeiro, pelos ensinamentos, acolhimento, confiança e amizade.

À Ana Marinho do Nascimento, por todos os ensinamentos, suporte, compreensão, amizade e pelas contribuições feitas para melhorar o meu trabalho.

Ao professor Sthelio Braga, por aceitar participar banca de avaliação do meu trabalho e por todas as considerações de extrema relevância que foram realizadas.

Aos meus amigos, Sinthya Kelly, Dauany Sousa, Raissa Leandro e Fabricio Alves. A graduação se tornou mais leve com vocês. Agradeço pelo companheirismo em todos os momentos sérios e de descontração.

À minha ‘família prodígio’, Flavia Saraiva e Edvania Barbosa. Mesmo separados fisicamente durante nossas trajetórias, sempre estaremos juntos em pensamento.

A Yasmin Brasil e Jonnathan Nunes, meus amigos e companheiros de laboratório, a quem deposito grande admiração, respeito e carinho.

A Giuliana Sales, Jéssica Leite e Alzira Neta pela parceria, amizade e pelo grande suporte no desenvolvimento experimental do meu trabalho.

A Bruno Fonseca, pela amizade, pelas parcerias enriquecedoras que foram construídas e pelo grande suporte durante a realização do meu Estágio Supervisionado.

A todos os membros do Grupo de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Engenharia de Alimentos (GPCTEA), pelas parcerias realizadas no decorrer da graduação.

SILVA, A. G. F. **Cinética de secagem e características físico-químicas de farinhas de frutos de *Spondias purpurea* L. em cinco estádios de maturação.** 2021. 43 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2021.

RESUMO

Frutos de *Spondias purpurea* L. são altamente perecíveis. A secagem para obtenção de farinhas é uma forma de redução das perdas pós-colheita e diversificação do mercado alimentício. O objetivo foi analisar a cinética de secagem e a qualidade físico-química de farinhas de frutos de *S. purpurea* em cinco estádios de maturação. Frutos de *S. purpurea* em cinco estádios de maturação foram colhidos, higienizados, secos, triturados e peneirados para a obtenção de farinhas. A cinética de secagem, modelagem matemática, rendimento, umidade, acidez total titulável (ATT), pH, açúcares redutores (AR), sólidos solúveis (SS), ácido ascórbico (AsA), compostos fenólicos (CF) clorofila, carotenoides, flavonoides, antocianinas, cor (L^* , a^* , b^* , C^* , h° e índice de escurecimento (IE)), densidade, Índice de Carr (IC) e o Fator de Hausner (FH) foram avaliados. Farinhas de *S. purpurea* foram obtidas aos 600 minutos de secagem. Os modelos de Midilli e Logarítmico foram os que mais se ajustaram aos dados experimentais. Os teores de rendimento, umidade, pH, AR, flavonoides e antocianinas foram maiores nas farinhas de frutos maduros, enquanto a AT, AsA, clorofilas, compostos fenólicos e a densidade foram menores. A cor variou do esverdeado ao avermelhado. O IC e FH não diferiram. A secagem de frutos de *S. purpurea* é uma forma viável de disponibilizar ao mercado um produto novo e de vida útil elevada.

Palavras-chave: Novos produtos, perecibilidade, pós-colheita, vida útil.

SILVA, A. G. F. **Cinética de secagem e características físico-químicas de farinhas de frutos de *Spondias purpurea* L. em cinco estádios de maturação.** 2021. 43 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2021.

ABSTRACT

Fruits of *Spondias purpurea* L. are highly perishable. Drying to obtain flour is a way of reducing post-harvest losses and diversifying the food market. The objective was to analyze the drying kinetics and the physico-chemical quality of *S. purpurea* fruit flours in five maturation stages. *S. purpurea* fruits at five ripening stages were harvested, cleaned, dried, crushed and sieved to obtain flour. Drying kinetics, mathematical modeling, yield, humidity, total titratable acidity (AT), pH, reducing sugars (AR), soluble solids (SS), ascorbic acid (AsA), phenolic compounds (CF), chlorophyll, carotenoids, flavonoids, anthocyanins, color (L^* , a^* , b^* , C^* , h° and darkening index (IE)), density, Carr Index (IC) and the Hausner Factor (HF) were evaluated. Flours of *S. purpurea* were obtained after 600 minutes of drying. The Midilli and Logarithmic models were the ones that best fit the experimental data. The yield, humidity, pH, AR, flavonoids and anthocyanins contents were higher in the flours of ripe fruits, while the AT, AsA, chlorophylls, phenolic compounds and the density were lower. The color varied from greenish to reddish. The IC and HF did not differ. Drying *S. purpurea* fruits is a viable way to make a new product with a long shelf life available on the market.

Keywords: New products, perishability, post-harvest, shelf life.

SUMÁRIO

RESUMO	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. MATERIAL E MÉTODOS	9
2.1 Obtenção da matéria prima e cinética de secagem	9
2.2 Análise do processo de secagem	10
2.3 Análises físico-químicas.....	11
2.4 Análise Estatística	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4. CONCLUSÃO	25
Conflitos de interesse.....	25
REFERÊNCIAS	25
ANEXO	36

**Cinética de secagem e características físico-químicas de farinhas de frutos de
Spondias purpurea em cinco estádios de maturação**

1

2 Álvaro Gustavo Ferreira da Silva ^{a*}, Franciscleudo Bezerra da Costa ^a, Ana Marinho do
3 Nascimento ^b, Giuliana Naiara Barros Sales ^c, Jéssica Leite da Silva ^b, Alzira Maria de
4 Sousa Silva Neta ^d, Wellington Souto Ribeiro ^e

5

6 ^a Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Tecnologia de
7 Alimentos, 58840-000, Pombal, Paraíba, Brasil.

8 ^b Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós Graduação em
9 Engenharia de Processos, 58401-490, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

10 ^c Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós Graduação em Agronomia, 58397-
11 000, Areia, Paraíba, Brasil.

12 ^d Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós Graduação em
13 Horticultura Tropical, 58840-000, Pombal, Paraíba, Brasil.

14 ^e Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós Graduação em Agronomia, 36570-
15 900, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

16

17 **Resumo:** Objetivou-se analisar a cinética de secagem e a qualidade físico-química de
18 farinhas dos frutos de *S. purpúrea* em cinco estádios de maturação. A cinética de
19 secagem, modelagem matemática, rendimento, umidade, acidez titulável (AT), pH,
20 açúcares redutores (AR), sólidos solúveis (SS), ácido ascórbico (AsA), compostos
21 fenólicos (CF), clorofila, carotenoides, flavonoides, antocianinas, cor, densidade, índice
22 de Carr (IC) e o Fator de Hausner (FH) foram avaliados. As farinhas foram obtidas aos
23 600 minutos de secagem. Os modelos de Midilli e Logarítmico foram os que mais se

24 ajustaram. Os teores de rendimento, umidade, pH, AR, flavonoides e antocianinas
25 foram maiores nas farinhas de frutos maduros, enquanto a AT, AsA, clorofilas,
26 compostos fenólicos e a densidade foram menores. A cor variou do esverdeado ao
27 avermelhado. O IC e FH não diferiram. A secagem de frutos de *S. purpurea* é uma
28 forma viável de disponibilizar ao mercado produtos novos e de vida útil elevada.

29 **Palavras-chave:** Novos produtos, perecibilidade, pós-colheita, vida útil.

30

31 **1. Introdução**

32 *Spondias purpurea* L. podem ser encontrados em diversos países, como México,
33 Guatemala, Caribe e Brasil (Augusto et al., 2012). Frutos de *S. purpurea* são drupas
34 redondas, oblongas ou ovóides, epicarpo fino de textura lisa e coloração que varia do
35 verde ao vermelho, amarelo, marrom avermelhado, laranja ou roxo. O endocarpo é
36 espesso e fibroso e o mesocarpo é o tecido palatável (Maldonado-Astudillo et al., 2014).

37 Frutos de *S. purpurea* apresentam elevado teor de carboidratos, fibra alimentar,
38 vitamina e minerais, principalmente potássio, fósforo e magnésio (Vargas-Simón,
39 2018). No entanto, o elevado teor de água é o principal fator de perecibilidade dos
40 frutos (Salehi & Aghajanzadeh, 2020) resultando na baixa durabilidade pós-colheita e
41 no rápido amolecimento, enrugamento, escurecimento, perda de textura, sabor e peso
42 comercializável da fruta (Lufu et al., 2020).

43 A secagem de produtos agrícolas é uma operação unitária capaz de reduzir a
44 água livre do fruto, prolongando a sua vida útil, reduzindo o peso para transporte,
45 diminuindo o espaço de armazenamento e controle de reações microbiológicas e
46 enzimáticas degradativas (Chen et al., 2020). Frutos desidratados possuem nutrientes
47 importantes e fornecem uma nutrição equilibrada para o organismo humano (Rehan et
48 al., 2020), incluindo uma maior ingestão de nutrientes subconsumidos (Sullivan et al.,

49 2020). A densidade nutricional da fruta seca é consideravelmente mais elevada do que a
50 fruta fresca, principalmente em vitaminas e minerais, pois os nutrientes são
51 concentrados após a remoção da água (Alasalvar et al., 2020). Frutas secas podem ser
52 utilizadas como ingredientes de diversos produtos, como iogurtes, alimentos para bebês,
53 produtos de panificação, cereais matinais (Aktağ & Gökmen, 2020) e farinhas (Andrade
54 et al., 2020).

55 Farinha é o produto obtido de partes comestíveis de uma ou mais espécies de
56 cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas por moagem e ou outros
57 processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos, devendo o
58 produto ser denominado de farinha seguido do nome do vegetal de origem (Brasil,
59 2005). A produção de farinha utilizando frutos perecíveis é uma forma viável de se
60 obter produtos com maior vida útil e fácil comercialização, além de diversificar o setor
61 alimentício, tendo em vista que a farinha é um ingrediente essencial em diversas
62 formulações de alimentos.

63 Dessa forma, objetivou-se analisar a cinética de secagem, modelagem
64 matemática e a qualidade físico-química de farinhas oriundas dos frutos de *Spondias*
65 *purpurea* L. em cinco estádios de maturação.

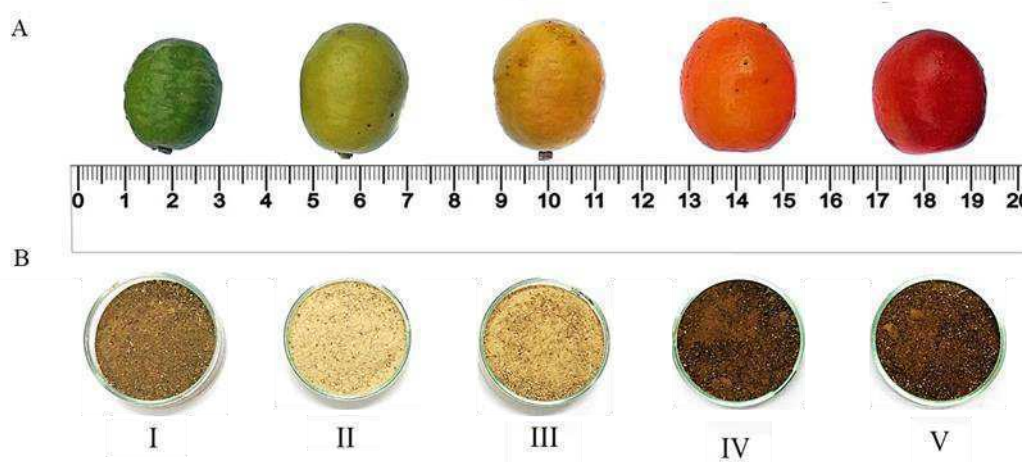
66

67 **2. Material e Métodos**

68 **2.1 Obtenção da matéria prima e cinética de secagem**

69 Frutos de *S. purpurea* foram adquiridos na zona rural (Latitude: 6° 46' 4" Sul,
70 Longitude: 38° 12' 36" Oeste) de Sousa, Paraíba, Brasil e selecionados em cinco
71 estádios de maturação (Figura 1A). Os frutos foram lavados, sanitizados em solução de
72 dicloroisocianurato de sódio dihidratado (100 ppm por 15 minutos), enxaguados e
73 tiveram o epicarpo e mesocarpo removidos com auxílio facas de aço inoxidável. O

74 epicarpo e mesocarpo dos frutos foram picotados uniformemente e acondicionados em
75 formas de alumínio, formando uma camada de frutos fatiados com espessura de 1 cm.
76 As formas foram distribuídas aleatoriamente em estufa de circulação forçada (Solab, Ar
77 SL 102) a 60 °C. As fatias foram pesadas aos 0, 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 240, 300,
78 360, 420, 480, 520 e 600 minutos de secagem, completando três pesagens consecutivas
79 com massa constante. Os frutos secos foram triturados em liquidificador (Mondial,
80 Maxis Filter L-76) e peneirados (peneira de nylon com malha de 1 mm) para obtenção
81 da farinha (Figura 1B). As farinhas foram acondicionadas em embalagens de
82 polipropileno de alta densidade, recobertas com papel alumínio e armazenadas a
83 temperatura ambiente.



84 **Figura 1.** Frutos (A) e farinhas (B) de *S. purpúrea* em diferentes estádios de maturação.
85

86 2.2 Análise do processo de secagem

A razão de umidade (RU) (1) foi calculada e os modelos matemáticos de Henderson e Pabis (1961) (2), Lewis (1921) (3), Logarítmico (Chandra & Singh, 1995) (4), Midilli (2002) (5) e Page (1949) (6) foram aplicados. O coeficiente de determinação (R^2) (7), o Desvio Quadrático Médio (DQM) (8) e o Qui-Quadrado (X^2) (9) foram adotados como critérios de avaliação do ajuste dos modelos aos dados experimentais.

$$RU = \frac{(U_t - U_e)}{(U_0 - U_e)} \quad (1)$$

$$RU = a * \exp(-kt) \quad (2)$$

$$RU = \exp(-kt) \quad (3)$$

$$RU = a * \exp(-k * t) + c \quad (4)$$

$$RU = a * \exp(-k * t^n) + b * t \quad (5)$$

$$RU = a * \exp(-k * t^n) \quad (6)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N [(RU_{exp} - \overline{RU_{pre}})(RU_{pre} - \overline{RU_{pre}})]^2}{\sum_{i=1}^N (RU_{exp} - \overline{RU_{pre}})^2 \sum_{i=1}^N (RU_{pre} - \overline{RU_{pre}})^2} \quad (7)$$

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RU_{pre} - RU_{exp})^2}{N}} \quad (8)$$

$$X^2 = \frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^N (RU_{pre} - RU_{exp})^2 \quad (9)$$

88 Onde, (1): U_t , U_e e U_0 são, respectivamente, o teor de água em função do tempo,
 89 o teor de água de equilíbrio e o teor de água inicial, expressos em base seca; (2, 3, 4, 5 e
 90 6): t é o tempo de secagem (minutos); k é a constante de secagem (min^{-1}); n , b , c e a são
 91 constantes dos modelos; (7, 8 e 9): RU_{pre} e $\overline{RU_{pre}}$ são, respectivamente, a razão do
 92 conteúdo de água previsto pela equação nos tempos e sua média; RU_{exp} e $\overline{RU_{pre}}$ são,
 93 respectivamente, a razão do conteúdo de água experimental nos tempos e sua média; N
 94 é o número de observações realizadas durante o experimento e n é o número de
 95 constantes no modelo.

96

97 2.3 Análises físico-químicas

98 As farinhas foram avaliadas, em cinco repetições, quanto aos parâmetros de:

99 **Rendimento (%)**- determinado pela razão entre a massa do epicarpo e mesocarpo após
100 e antes da secagem, em porcentagem.

101 **Cor**- os parâmetros L, a*, b*, C e h° foram determinados com auxílio de colorímetro
102 (Konica Minolta, CR-10) previamente calibrado em superfície branca (Bible e Singha,
103 1993). O índice de escurecimento foi calculado pelo método de Buera, Lozano e
104 Petriella (1986).

105 **Densidade aparente (ρ_a , g cm⁻³)**- determinada por meio da razão entre a massa de
106 farinha e o volume total ocupado, utilizando provetas de 10 mL (Achor et al., 2015).

107 **Densidade compactada (ρ_c , g cm⁻³)**- determinada a partir da razão entre a massa da
108 farinha e o volume ocupado por ela após compactação por 50 batimentos consecutivas a
109 uma altura de 10 cm (Achor et al., 2015).

110 **Índice de Carr (IC, %)**- determinado através da comparação da densidade aparente
111 (ρ_a) e da densidade compactada (ρ_c) (Wells, 1988) (8).

$$IC (\%) = \left[\frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \right] \times 100 \quad (8)$$

112 **Fator de Hauser (FH, adimensional)**- determinada por meio da razão entre densidade
113 aparente e compactada (Wells, 1988).

114 **Acidez titulável (AT, %)**- determinada pela titulação de 0,5 g de amostra diluída em
115 água destilada com Hidróxido de sódio 0,1 N e solução alcoólica de fenolftaleína 1%
116 como indicador (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

117 **Potencial hidrogeniônico (pH)**- determinado por leitura em potenciômetro (Tecnal®,
118 TEC-2) de um grama de amostra diluída em oito mililitros de água destilada.

119 **Açúcares redutores (AR, g 100 g⁻¹)**- determinados pelo método do ácido
120 dinitrosalicílico (Miller, 1959). Um extrato foi preparado diluindo 0,25 g de amostra em
121 100 mL de água destilada. Uma solução contendo 0,5 mL do extrato, 0,5 mL de água
122 destilada e 0,5 mL da solução de ácido dinitrosalicílico foi preparada em tubos de

123 ensaio. Os tubos foram agitados rapidamente em agitador (Novainstruments, NI 1107) e
124 colocados em banho termostático (Hemoquímica, HM 0128) a 100°C por 15 minutos. O
125 teor de açúcares redutores foi determinado por espectrofotometria (Spectrum, 560 UV)
126 a 540 nm, utilizando glicose como referência para obtenção da curva padrão.

127 **Umidade (%)**- determinado por desidratação de cinco gramas de amostra em estufa de
128 circulação forçada a 105 °C até massa constante (Instituto Adolfo Lutz, 2008);

129 **Sólidos solúveis (SS, %)**- determinados por leitura em refratômetro digital (Hanna,
130 Refractometer HI96801) de um grama da amostra diluída e macerada em sete mililitros
131 de água destilada.

132 **Ácido ascórbico (AsA, mg 100 g⁻¹)**- determinado pela titulação de 0,5 g de amostra
133 diluída em Ácido Oxálico 5% com solução 2,6 diclorofenolindofenol 0,2% (AOAC,
134 1997; Benassi e Antunes, 1998).

135 **Compostos fenólicos (CF, mg 100 g⁻¹)**- determinados a partir do método do Folin-
136 ciocateau (Waterhouse, 2006) modificado, a partir do extrato oriundo da maceração e
137 diluição de três gramas de amostra em 50 mL de água destilada seguido de repouso por
138 30 minutos. Uma solução contendo 10 µL do extrato, 2.115 µL de água destilada e 125
139 µL de Folin-ciocateau foi preparada em tubos de ensaio. Os tubos foram agitados
140 rapidamente e deixados em repouso por cinco minutos. Em seguida, foram adicionados
141 250 µL de Carbonato de sódio 20% aos tubos, que foram agitados novamente e
142 colocados em banho termostático a 40°C por 30 minutos. Os teores de compostos
143 fenólicos foram quantificados a partir de leitura da solução resultante em
144 espectrofotômetro a 765 nm, utilizando ácido gálico como referência para obtenção da
145 curva padrão.

146 **Clorofilas e Carotenoides totais (µg 100 g⁻¹)**- determinados pelo método de
147 Lichtenthale (1987). Um extrato foi produzido a partir da maceração e diluição de 0,25

148 g de amostra (estádio de maturação I) ou 0,5 g (estádios II, III, IV e V), 0,2 g de
149 Carbonato de cálcio e cinco mililitros de acetona 80% em ambiente escuro. O extrato
150 foi colocado em centrífuga refrigerada (CT-500R) a 10°C e $8,8 \times 10^3$ g por 10 minutos.
151 O sobrenadante foi lido em espectrofotômetro a 663 e 646 nm (clorofilas totais) e 470
152 nm (carotenoides totais).

153 **Flavonoides e Antocianinas ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)-** determinados pelo método de Francis
154 (1982). Um extrato foi produzido a partir da maceração e diluição de 0,2 g de amostra
155 em 10 mL de etanol-HCL 1,5 N (85:15) em ambiente escuro, seguido de repouso
156 refrigerado por 24 horas. O extrato foi centrifugado a 10°C e $8,8 \times 10^3$ g por 10
157 minutos. O sobrenadante foi lido em espectrofotômetro a 374 (flavonoides) e 553 nm
158 (antocianinas).

159

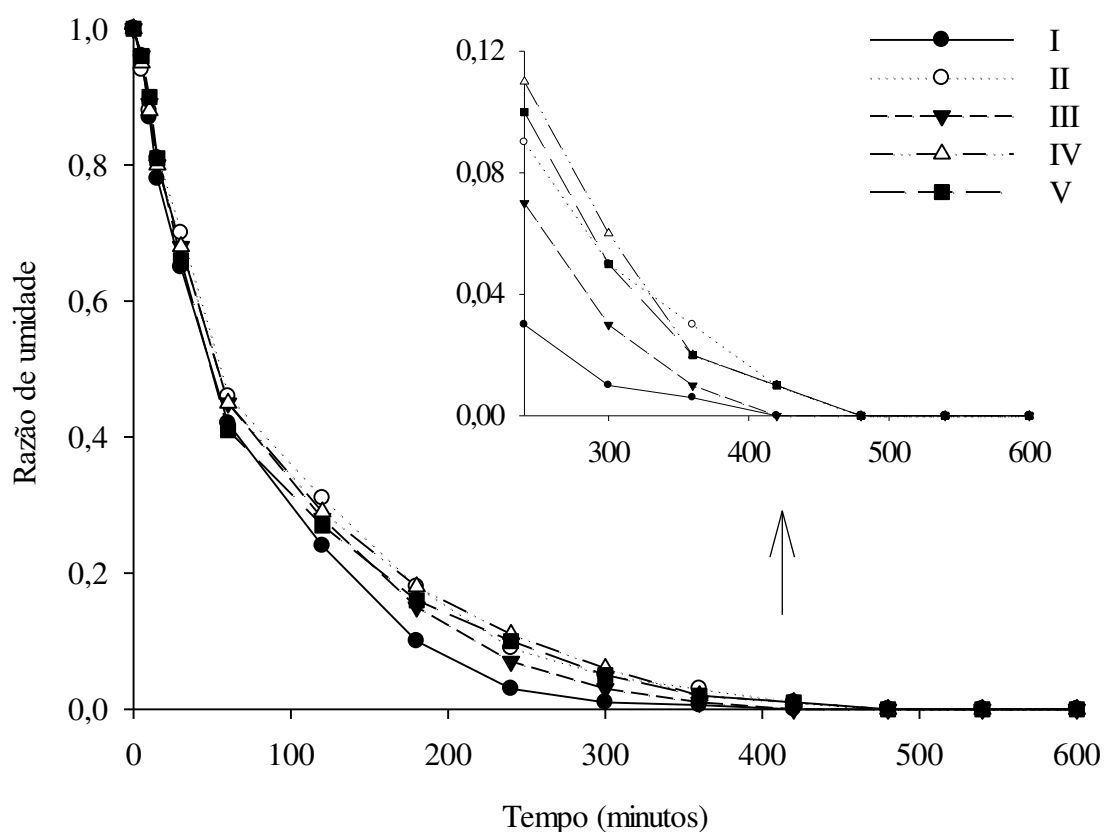
160 **2.4 Análise Estatística**

161 A modelagem matemática foi aplicada por meio do *software* Statistica 7.0
162 (Statsoft, 2007). Os resultados da avaliação físico-química foram submetidos à Análise
163 de Variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de
164 significância pelo *software* Agroestat (Barbosa & Maldonado Júnior, 2015).

165

166 **3. Resultados e Discussão**

167 A fase de estabilização da cinética de secagem dos frutos de *S. purpúrea* iniciou
168 aos 420 minutos para os frutos dos estádios de maturação I e III e aos 480 minutos para
169 os demais (Figura 1).



170 **Figura 1.** Cinética de secagem de frutos de *S. purpurea* em cinco estádios de
 171 maturação.

172

173 O RU é maior no início da secagem porque há mais água disponível. A elevada
 174 quantidade de água aumenta a absorção de radiação, que aumenta a intensidade da
 175 difusão da água para a superfície (Mewa et al., 2019). A água presente na superfície é
 176 então evaporada sem resistência em uma fase de secagem constante (15 a 60 minutos)
 177 (Chanpet et al., 2020). A fase constante é finalizada quando a umidade crítica é atingida
 178 (60 minutos) e a partir desse ponto, ocorre um aumento na resistência interna. A
 179 resistência interna à passagem de água em frutos depende de vários fatores extrínsecos
 180 (tamanho das fatias e temperatura de secagem) e intrínsecos (diâmetro dos poros
 181 superficiais e microfissuras, rugosidade superficial, taxa de respiração e permeabilidade

182 de umidade cuticular) (Lufu et al., 2020). O aumento na resistência interna faz com que
 183 a difusão da água para a superfície torna-se insuficiente para compensar o líquido que
 184 está sendo evaporado, iniciando a fase de secagem decrescente (60 a 300 minutos)
 185 (Celestino, 2010). A estabilização ocorre quando a umidade do produto está em
 186 equilíbrio com a umidade do ar (Mewa et al., 2019). O tempo de estabilização dos
 187 frutos em estádios avançados de maturação foi mais prolongado devido à maior
 188 quantidade de água presente (Wang et al., 2017) e, provavelmente, pela maior
 189 resistência interna na fase de secagem decrescente.

190 Os modelos matemáticos de Midilli e Logarítmico apresentaram os melhores
 191 ajustes aos dados experimentais (Tabela 1).

192

193 **Tabela 1.** Parâmetros das equações (a, b, k, n, c), coeficientes de determinação (R^2),
 194 desvios quadráticos médios (DQM) e Qui-quadrado (X^2) ajustados às curvas de
 195 secagem.

	Estádios	Parâmetros					R^2	DQM	X^2
		a	b	k	n	c			
Henderson e Pabis	I	0,9928	-	0,0134	-	-	0,9990	0,017	0,0003
	II	0,9764	-	0,0105	-	-	0,9981	0,023	0,0006
	III	0,9883	-	0,0116	-	-	0,9986	0,020	0,0005
	IV	0,9732	-	0,0107	-	-	0,9974	0,027	0,0009
	V	0,9870	-	0,0119	-	-	0,9967	0,019	0,0004
Lewis	I	-	-	0,0136	-	-	0,9990	0,017	0,0003
	II	-	-	0,0110	-	-	0,9977	0,025	0,0007
	III	-	-	0,0118	-	-	0,9985	0,021	0,0005
	IV	-	-	0,0112	-	-	0,9967	0,030	0,0010
	V	-	-	0,0122	-	-	0,9967	0,021	0,0005
Logarítmico	I	0,9915	-	0,0135	-	0,0018	0,9990	0,014	0,0003
	II	0,9696	-	0,0109	-	0,0099	0,9982	0,016	0,0006
	III	0,9845	-	0,0118	-	0,0049	0,9986	0,015	0,0005
	IV	0,9645	-	0,0111	-	0,0131	0,9975	0,017	0,0008
	V	0,9770	-	0,0126	-	0,0155	0,9973	0,009	0,0005

Midilli	I	1,0131	-0,00001	0,0196	0,9168	-	0,9993	0,017	0,0002
	II	1,0128	-0,00003	0,0209	0,8577	-	0,9990	0,023	0,0003
	III	1,0173	-0,00001	0,0200	0,8840	-	0,9992	0,020	0,0003
	IV	1,0199	-0,00002	0,0249	0,8226	-	0,9989	0,026	0,0003
	V	1,0295	-0,00001	0,0253	0,8389	-	0,9984	0,020	0,0001
Page	I	-	-	0,0172	0,9440	-	0,9992	0,015	0,0003
	II	-	-	0,0181	0,8889	-	0,9989	0,017	0,0003
	III	-	-	0,0167	0,9211	-	0,9990	0,016	0,0003
	IV	-	-	0,0202	0,8667	-	0,9988	0,019	0,0004
	V	-	-	0,0198	0,8874	-	0,9981	0,011	0,0001

196 Parâmetros da equação Henderson e Pabis (a e k), Lewis (k), Logarítmico (a, k e c),

197 Midilli (a, k, n e b) e Page (k e n) e coeficientes de determinação (R²).

198

199 Todos os modelos matemáticos aplicados descrevem adequadamente a secagem
 200 realizada, com valores de R² acima de 0,99, DQM abaixo de 0,03 e X² abaixo de 0,0009. No
 201 entanto, os modelos de Midilli e logaritmo apresentaram os melhores ajustes, sendo assim os
 202 mais indicados para a predição da cinética de secagem de frutos *S. purpurea* nos cinco
 203 estádios de maturação trabalhados e nas condições de secagem utilizadas. Não houve um
 204 comportamento claro entre as constantes dos modelos aplicados e os estádios de maturação,
 205 exceto para o parâmetro ‘k’ do modelo de Midilli, que aumentou com a maturação. O
 206 parâmetro ‘k’ é a constante de velocidade de secagem e está relacionada com a difusividade
 207 efetiva no processo de secagem no período decrescente e à difusão líquida que controla o
 208 processo (Goneli et al., 2014).

209 Todas as características físico-químicas avaliadas nas farinhas de frutos de *S.*
 210 *purpurea* diferiram significativamente entre os estádios de maturação. O rendimento,
 211 umidade, pH, SS e AR foram maiores nas farinhas obtidas de frutos maduros. A AT foi
 212 maior na farinha de frutos no estágio de desenvolvimento I (Tabela 2).

213

214 **Tabela 2.** Rendimento e características físico-químicas de farinha de *S. purpurea* em
 215 cinco estádios de maturação.

Características	Estádios de maturação				
	I	II	III	IV	V
Rendimento (%) ¹	22,2	28,7	28,2	27,1	30,7
Umidade (%) ²	8,7 ± 0,4 d	9,2 ± 0,6 d	11,1 ± 0,6 c	12,6 ± 0,5 b	15,6 ± 0,9 a
AT (%)**	10,6 ± 0,1 a	2,4 ± 0,1 c	2,2 ± 0,1 c	2,7 ± 0,1 b	2,3 ± 0,1 c
pH ³	2,8 ± 0,2 c	3,3 ± 0,1 b	3,6 ± 0,1 a	3,7 ± 0,1 a	3,7 ± 0,1 a
SS (%)**	33,0 ± 0,9 c	21,3 ± 0,8 e	26,7 ± 1,0 d	48,4 ± 0,6 b	57,3 ± 0,8 a
AR (g 100 g ⁻¹)**	126,8 ± 8,9 d	231,4 ± 4,6 c	370,4 ± 6,9 b	813,0 ± 8,7 a	865,9 ± 8,9 a

216 Resultados expressos como média ± desvio padrão. Médias seguidas de letras iguais na
 217 linha não diferem pelo teste de Tukey (p < 0,05). AT (% em ácido cítrico). *Resultados
 218 oriundos de amostra única. ¹Rendimento = 1,54x + 22,76 (R² = 0,59); ²Umidade = 1,8x
 219 + 6,2 (R² = 0,92); ³pH = 0,22x + 2,76 (R² = 0,82); **Não houve ajuste significativo aos
 220 modelos de regressão linear e polinomial aplicados.

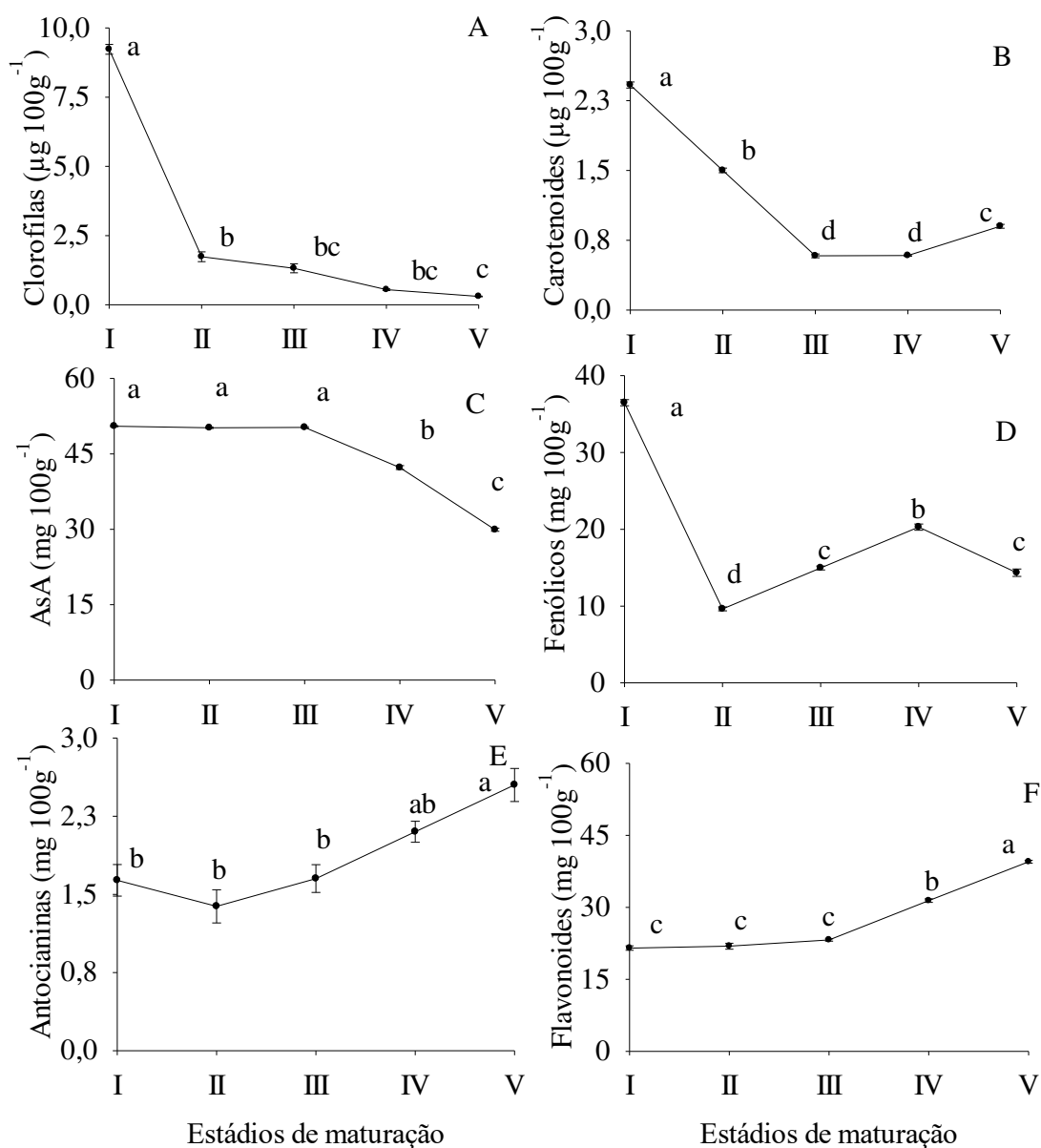
221

222 O rendimento e a umidade (Tabela 2) foram superiores nas farinhas de frutos
 223 maduros porque os frutos naturalmente absorvem e acumulam água nos vacúolos
 224 durante o desenvolvimento, principalmente para garantir a osmorregulação e
 225 homeostase de nutrientes (Rohloff & Docampo, 2008). A água presente nos frutos está
 226 distribuída de diferentes formas, podendo ser classificada em água livre (espaços
 227 intracelulares) e ligada (capilares ou espaços intercelulares, ligada fortemente aos
 228 constituintes sólidos) (Joardder et al., 2017). A disposição de água também depende da
 229 rigidez das membranas celulares. As membranas celulares suportam até uma
 230 determinada temperatura até entrarem em colapso, liberando a água ligada em seu
 231 interior durante processos de secagem. Estudos demonstraram que em temperaturas
 232 próximas a 50 °C as células permanecem intactas e, portanto, a conversão da água

233 ligada (intracelular) em água livre permanece inalterada durante a secagem (Khan et al.,
234 2016). A temperatura utilizada para a determinação do TA das farinhas (105 °C), por
235 outro lado, pode ser capaz de danificar as membranas celulares, liberando a água ligada
236 aos constituintes sólidos dos frutos maduros para o meio extracelular. Por esse motivo,
237 as farinhas oriundas de frutos maduros obtiveram maiores teores de umidade.

238 A AT diminuiu e o pH aumentou nas farinhas de frutos maduros (Tabela 2)
239 porque alguns ácidos orgânicos são utilizados como substrato durante a respiração
240 celular (Monteiro et al., 2018). Embora a AT tenha reduzido, a secagem concentra os
241 ácidos restantes a teores ainda suficientes para promover a hidrólise de carboidratos de
242 cadeia longa em açúcares simples, aumentando os SS e AR nas farinhas de frutos
243 maduros.

244 Todos os compostos bioativos avaliados diferiram significativamente entre os
245 estádios de maturação. Os teores de clorofilas (Figura 3A), AsA (Figura 3C) e
246 compostos fenólicos (Figura 3D) foram menores nas farinhas obtidas de frutos de *S.*
247 *purpurea* em estádios avançados de desenvolvimento. O teor de carotenoides (Figura
248 3B) inicialmente reduziu e depois aumentou no estágio de maturação V. Os teores de
249 flavonoides (Figura 3F) e antocianinas (Figura 3E) aumentaram nas farinhas conforme
250 avançaram os estádios de maturação dos frutos utilizados.



251 **Figura 3.** Compostos bioativos em farinha *S. purpurea* em cinco estádios de maturação.

252

253 Os teores de clorofilas (Figura 3A) foram menores nas farinhas de frutos em
 254 estádios avançados de maturação devido à maior liberação de etileno durante a
 255 maturação dos frutos. O etileno liberado nos frutos *in natura* induz a expressão e
 256 atividade de determinadas enzimas relacionadas à biodegradação das clorofilas (Peng et
 257 al., 2013). A via de degradação da clorofila é iniciada pela remoção do fitol da clorofila
 258 A pela clorofilase, formando a clorofilida. A decelatase de Mg remove o átomo de Mg

259 do núcleo central da clorofilida formando feoforbeto A. O feoforbeto A é convertido em
260 um catabólito de clorofila vermelho pela feoforbeto a oxigenase (PAO), resultando na
261 abertura da estrutura tetrapirrólica da clorofila e perda da cor verde (Charoenchongsuk
262 et al., 2015) nos frutos maduros. O teor de carotenoides (Figura 3B) reduziu nas
263 farinhas de frutos dos estádios iniciais e aumentou a partir do estágio III. Esse
264 comportamento é resultante do desmascaramento dos carotenoides devido a degradação
265 das clorofilas.

266 Os teores de AsA (Figura 3C) reduziram principalmente devido ao crescimento
267 dos frutos (Del Bubba et al., 2009). No entanto, o TA pode ter facilitado a degradação
268 nos últimos estádios de maturação, pois o AsA é hidrossolúvel e pode ser carregado pela
269 água no processo de difusão durante a secagem, intensificando as reações oxidativas
270 geradas pela temperatura e oxigênio na superfície.

271 Os teores de compostos fenólicos (Figura 3D) são maiores nas farinhas de frutos
272 verdes e diminuem com a maturação dos frutos devido, provavelmente, a sua oxidação
273 pela polifenol oxidase (Amira et al., 2012) e/ou como resposta à redução dos teores de
274 AT, tendo em vista que parte dos ácidos consumidos na respiração podem ser utilizados
275 como fonte de esqueletos de carbono para a síntese de compostos fenólicos (Soethe et
276 al., 2016). O comportamento irregular apresentado nos estádios III e IV, em que os
277 teores de compostos fenólicos aumentaram, pode ser resultado de colheita e
278 armazenamento inadequados, já que a síntese desses compostos aumenta em condições
279 de estresse (Jacques & Zambiasi, 2011).

280 Os teores de antocianinas (Figura 3E) permaneceram estáveis nas farinhas de
281 frutos dos três primeiros estádios de desenvolvimento e aumentaram nos demais devido
282 ao início da maturação e amadurecimento. Estudos demonstram que o ácido abscísico
283 exógeno (ABA), hormônio regulador da maturação e amadurecimento, regula

284 positivamente os níveis de expressão dos genes FcPAL, FcCHS2, FcCHI, FcF3H,
 285 FcDFR, FcANS, FcUFGT e Fc3RT, responsáveis pela biossíntese de antocianinas
 286 (Lama et al., 2020). A interação dos genes com outras proteínas, como FabHLH,
 287 intensifica a biossíntese e a intensificação da cor das antocianinas (Medina-Puche et al.,
 288 2015). Os teores de flavonoides (Figura 3F) totais também aumentaram com a
 289 maturação porque possuem praticamente a mesma via biossintética das antocianinas
 290 (Awad & Jager, 2002).

291 A luminosidade das farinhas aumentou nas farinhas de frutos que estavam no
 292 estágio de desenvolvimento I e diminuiu após o III. Os parâmetros a^* , b^* e
 293 cromaticidade das farinhas aumentaram conforme avançavam os estádios de
 294 desenvolvimento dos frutos utilizados. O ângulo hue das farinhas diminuiu nos estádios
 295 iniciais e aumentou após o estágio IV. O índice de escurecimento reduziu e aumentou
 296 após o estágio II. As densidades aparente e compactada foram maiores nas farinhas dos
 297 estádios de maturação iniciais. Não houve diferença significativa no índice de Carr e
 298 fator de Hausner (Tabela 3).

299 **Tabela 3.** Características físicas de farinhas de *S. purpurea* em cinco estádios de
 300 maturação

Características	Estádios de maturação				
	I	II	III	IV	V
L^{*1}	51,4 ± 0,7 d	68,5 ± 1,2 a	67,7 ± 1,4 a	61,8 ± 0,6 b	56,5 ± 1,3 c
a^{*2}	4,5 ± 0,3 c	5,0 ± 0,8 c	8,1 ± 0,7 b	12,6 ± 0,8 a	13,5 ± 0,5 a
b^{**}	31,2 ± 0,5 e	32,5 ± 0,9 d	36,6 ± 0,4 c	38,0 ± 0,1 b	39,4 ± 0,8 a
C^{**}	31,6 ± 0,6 e	33,2 ± 0,3 d	37,4 ± 0,4 c	39,5 ± 0,3 b	51,7 ± 0,8 a
$h^{\circ**}$	81,8 ± 0,4 a	81,7 ± 1,2 a	77,5 ± 1,1 b	66,9 ± 1,0 d	70,9 ± 0,8 c

IE ³	41,8 ± ±1,7 c	24,3 ± 1,7 e	37,6 ± 1,5 d	56,5 ± 1,2 b	74,7 ± 2,5 a
ρA (g cm ⁻³) ^{**}	0,75 ± 0,0 b	0,77 ± 0,0 a	0,77 ± 0,0 a	0,73 ± 0,0 c	0,70 ± 0,0 d
ρC (g cm ⁻³) ^{**}	0,93 ± 0,0 ab	0,93 ± 0,0 ab	0,96 ± 0,0 a	0,89 ± 0,0 b	0,83 ± 0,0 c
IC (%) ^{**}	17,0 ± 1,4 a	18,5 ± 0,7 a	19,5 ± 0,7 a	18,0 ± 0,0 a	16,0 ± 1,4 a
FH (adimensional) ^{**}	0,83 ± 0,0 a	0,82 ± 0,0 a	0,81 ± 0,0 a	0,82 ± 0,0 a	0,84 ± 0,0 a

301 Resultados expressos como média ± desvio padrão. Médias seguidas de letras iguais na
 302 linha não diferem pelo teste de Tukey (p< 0,05). ¹ L* = -3,5643x² + 21,73578x + 35,18
 303 (R² = 0,84); ² a* = 2,56x + 1,06 (R² = 0,94); ³ IE = 17,58x + 9,8 (R² = 0,64); ^{**} Não
 304 houve ajuste significativo aos modelos de regressão linear e polinomial aplicados.

305

306 A luminosidade (L) foi maior e o índice de escurecimento foi menor no estágio
 307 II devido a menor concentração de pigmentos desse estágio de maturação, que é
 308 marcado pela degradação da clorofila e início do aparecimento dos carotenoides e
 309 flavonoides. O TA também pode ter influenciado a luminosidade e o índice de
 310 escurecimento, pois proporciona um maior inchamento dos grânulos que, por sua vez,
 311 reduz a superfície de contato. A redução da superfície de contato reduz a reflexão de
 312 luz, deixando as farinhas oriundas de frutos maduros com aspecto mais escuro (Ahmed
 313 et al., 2016). Os parâmetros a*, que varia do verde (-a) ao vermelho (+a), e b*, que varia
 314 do azul (-b) ao amarelo (+b) (Kurek & Sokolova, 2020), aumentaram nas farinhas
 315 conforme avançavam os estádios de desenvolvimento dos frutos. Esse fenômeno
 316 também é resultado da degradação das clorofilas e biossíntese de carotenoides e
 317 flavonoides, que reduziram a coloração verde e aumentaram a coloração amarela e
 318 vermelha. A cromaticidade (C) é referente à saturação das cores perceptíveis a olho nu e
 319 aumenta com o incremento de pigmentos. O aumento nos valores de C sugere que a
 320 saturação da cor das farinhas deixou a neutralidade e se tornou mais brilhante com o

321 desenvolvimento dos frutos utilizados (Pathare et al., 2012). O ângulo hue (h°) é um
322 atributo qualitativo referente a tonalidade das cores dentro dos parâmetros a^* e b^* , em
323 que eixo vermelho-verde corresponde aos ângulos de 0 a 180° e o eixo azul-amarelo
324 corresponde aos ângulos de 90 a 270° (Emery et al., 2021). O aumento no h° das
325 farinhas está em conformidade com as coordenadas a^* e b^* , que variaram do
326 esverdeado ao amarelado/avermelhado.

327 A densidade é importante no estudo da escoabilidade e fluidez de pós nas
328 operações unitárias de industriais de processamento, como descarga de silos, transporte,
329 mistura, compactação e armazenamento. A densidade aparente é a razão entre a massa
330 do sólido e o volume do sólido, englobando os espaços vazios, e costuma ser utilizada
331 no dimensionamento da embalagem e precificação (Sebio, 1996). A densidade
332 compactada é sempre superior à aparente devido a menor quantidade de espaços vazios,
333 resultante da compactação (Silva et al., 2017). A densidade aparente e compactada das
334 farinhas oriundas de estádios de maturação avançados foi menor do que as demais,
335 possivelmente, devido ao maior TA que promove o inchamento dos grânulos, como já
336 mencionado, fazendo com que essas farinhas ocupem um maior volume. Nesse sentido,
337 os custos com tanques de armazenamento e embalagens podem ser reduzidos nas
338 farinhas de estádios iniciais de maturação devido a maior densidade aparente e
339 compactada dessas farinhas (mais produto em menos espaço/volume). O IC e o FH são
340 métodos de avaliação indireta das propriedades de fluxo de produtos em pó, como
341 capacidade de escoamento e coesividade, por meio da relação das densidades aparente e
342 compactada. IC entre 0,12 e 0,16 indica fluidez excelente e entre 0,23 até 0,35 indica
343 fluidez pobre (Villanova et al., 2012). FH menor que 1,25 sugere fácil escoamento
344 (Silva et al., 2017). A farinha oriunda de frutos em estágio de maturação V possui

345 fluidez considerada excelente e as demais apresentaram fluidez pobre. Todas as farinhas
346 produzidas apresentaram bons índices de escoamento.

347

348 **4. Conclusão**

349 Os modelos de Midilli e Logarítmico foram os que melhor representaram o
350 processo de secagem dos frutos de *S. purpúrea*. Frutos de estádios iniciais de maturação
351 produzem farinhas com menor tempo de secagem e maiores teores de acidez, clorofilas,
352 carotenoides, compostos fenólicos e maior densidade. Frutos de estádios finais de
353 maturação produzem farinhas com maior rendimento e maiores teores de açúcares,
354 flavonoides e antocianinas.

355

356 **Conflitos de interesse:** Os autores declaram não haver concorrência de interesses
357 financeiros e não financeiros.

358

359 **Referências**

360 Achor, M., Oyeniya, J., Musa, M., & Gwarzo, M. (2015). Physicochemical properties of
361 cassava starch retrograded in alcohol. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 5,
362 126-131.

363

364 Ahmed, J., Taher, A., Mulla, MZ, Al-Hazza, A., & Luciano, G. (2016). Effect of sieve
365 particle size on functional, thermal, rheological and pasting properties of Indian and
366 Turkish lentil flour. *Journal of Food Engineering*, 186, 34–
367 41. doi:10.1016/j.jfoodeng.2016.04.008

368

- 369 Augusto, PED, Cristianini, M., & Ibarz, A. (2012). Effect of temperature on dynamic
370 and steady-state shear rheological properties of siriguela (*Spondias purpurea L.*) pulp.
371 *Journal of Food Engineering*, 108(2), 283–289. doi:10.1016/j.jfoodeng.2011.08.015
372
- 373 Awad, MA, & de Jager, A. (2002). Formation of flavonoids, especially anthocyanin and
374 chlorogenic acid in “Jonagold” apple skin: influences of growth regulators and fruit
375 maturity. *Scientia Horticulturae*, 93, 257–266. doi:10.1016/s0304-4238(01)00333-8
376
- 377 Aktağ, IG, & Gökmen, V. (2020). A survey of the occurrence of α -dicarbonyl
378 compounds and 5-hydroxymethylfurfural in dried fruits, fruit juices, puree and
379 concentrates. *Journal of Food Composition and Analysis*, 91, 103523. Doi:
380 10.1016/j.jfca.2020.103523
381
- 382 Alasalvar, C., Salvadó, JS., & Ros, E. (2020). Bioactives and health benefits of nuts and
383 dried fruits. *Food Chemistry*, 126192. doi:10.1016/j.foodchem.2020.126192
384
- 385 Amira, EA, Behija, SE., Beligh, M., Lamia, L., Manel, I., Mohamed, H., & Lotfi, A.
386 (2012). Effects of the ripening stage on phenolic profile, phytochemical composition
387 and antioxidant activity of date palm fruit. *Journal of agricultural and food*
388 *chemistry*, 60, 10896-10902.
389
- 390 Andrade, MSR, Silva, SNC, Costa, CMSF, Veiga, M., Costa, E., Ferreira, MSL,
391 Estevez Pintado, M. (2020). Potential prebiotic effect of fruit and vegetable byproducts
392 flour using *in vitro* gastrointestinal digestion. *Food Research International*,
393 109354. doi:10.1016/j.foodres.2020.109354

394

395 AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (1984) Official Methods of
396 Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 14th edn (Williams, S. ed.).
397 Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA. 1141 pp.

398

399 Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis, Williams, S.
400 (Ed) 16. ed. 1141 p. Arlington, 1997.

401 Awad, MA, & de Jager, A. (2002). Formation of flavonoids, especially anthocyanin and
402 chlorogenic acid in “Jonagold” apple skin: influences of growth regulators and fruit
403 maturity. *Scientia Horticulturae*, 93, 257–266. doi:10.1016/s0304-4238(01)00333-8

404 Barbosa, JC, & Maldonado Junior, W. (2015). AgroEstat: sistema para análises
405 estatísticas de ensaios agronômicos. *Jaboticabal, FCAV/UNESP*. 396p.

406

407 Benassi, MT, Antunes, AJA. Comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as
408 extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. *Arquivos*
409 *de Biologia e Tecnologia* 31, 507-513, 1998.

410

411 Bible, BB, & Singha, S. (1993). Canopy position influences CIELAB coordinates of
412 peach color. *HortScience*, 28, 992-993. doi: 10.21273/HORTSCI.28.10.992

413

414 Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Resolução nº 263, de 22
415 de setembro de 2005 – Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas
416 e farelos.

417

- 418 Buera, MDP, Lozano, RD, & Petriella, C. (1986). Definition of colour in the non
419 enzymatic browning process. *Die Farbe*, 32, 318-322.
420
- 421 Celestino, SMC. (2010). Princípios de secagem de alimentos. *Embrapa cerrados-*
422 *documentos (infoteca-e)*.
423
- 424 Chandra, PK, Singh, RP. (1995). Applied numerical methods for food and agricultural
425 engineers. *Boca Raton: CRC Press*, 512.
426
- 427 Chanpet, M., Rakmak, N., Matan, N., & Siripatana, C. (2020). *Effect of air velocity,*
428 *temperature, and relative humidity on drying kinetics of rubberwood*. *Heliyon*, 6,
429 *e05151*. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e05151
430
- 431 Charoenchongsuk, N., Ikeda, K., Itai, A., Oikawa, A., & Murayama, H.
432 (2015). *Comparison of the expression of chlorophyll-degradation-related genes during*
433 *ripening between stay-green and yellow-pear cultivars*. *Scientia Horticulturae*, 181, 89–
434 94. doi:10.1016/j.scienta.2014.10.005
435
- 436 Chen, J., Zhang, M., Xu, B., Sun, J., & Mujumdar, AS. (2020). *Artificial intelligence*
437 *assisted technologies for controlling the drying of fruits and vegetables using physical*
438 *fields: A review*. *Trends in Food Science & Technology*. doi:10.1016/j.tifs.2020.08.015
439
- 440 Del Bubba, M., Giordani, E., Pippucci, L., Cincinelli, A., Checchini, L., & Galvan, P.
441 (2009). Changes in tannins, ascorbic acid and sugar content in astringent persimmons
442 during on-tree growth and ripening and in response to different postharvest treatments.

- 443 Journal of Food Composition and Analysis, 22, 668–677.
444 doi:10.1016/j.jfca.2009.02.015
445
- 446 Emery, KJ, Parthasarathy, MK, Joyce, DS, & Webster, MA. (2021). Color perception
447 and compensation in color deficiencies assessed with hue scaling. *Vision Research*, 183,
448 1-15. doi: 10.1016/j.visres.2021.01.006
449
- 450 Francis, FJ. (1982). Analysis of anthocyanins. *Anthocyanins as food colors*, 1, 280.
451
- 452 Goneli, ALD, Vieira, MDC., Vilhasanti, HDCB, & Gonçalves, AA. (2014). Modelagem
453 matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. *Pesquisa*
454 *agropecuária tropical*, 44, 56-64.
455
- 456 Gouthu, S., & Deluc, LG. (2015). Timing of ripening initiation in grape berries and its
457 relationship to seed content and pericarp auxin levels. *BMC Plant Biology*, 15,
458 46. doi:10.1186/s12870-015-0440-6
459
- 460 Henderson, SM, Pabis, S. (1961). Grain drying theory. I. Temperature effect on drying.
461 *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 169-174.
462
- 463 Instituto Adolfo Lutz. (2008). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. *São*
464 *Paulo: Instituto Adolfo Lutz*.
465
- 466 Jacques, AC, Zambiasi, RC. (2011). Fitoquímicos em amora-preta (*Rubus* spp.).
467 *Semina: Ciências Agrárias*, 32, 245-259. doi: 10.5433/1679-0359.2011v32n1p245.

468

469 Joardder, MU, Kumar, C., & Karim, MA. (2017). Food structure: Its formation and
470 relationships with other properties. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57,
471 1190-1205.

472

473 Khan, MIH., Wellard, RM, Nagy, SA, Joardder, MUH, & Karim, MA. (2016).
474 Investigation of bound and free water in plant-based food material using NMR T2
475 relaxometry. *Innovative food Science & emerging technologies*, 38, 252-261.

476

477 Kurek, MA., & Sokolova, N. (2020). Optimization of bread quality with quinoa flour of
478 different particle size and degree of wheat flour replacement. *Food Science and
479 Technology*, 40, 307-314.

480

481 Lama, K., Harlev, G., Shafran, H., Peer, R., & Flaishman, MA. (2020). Anthocyanin
482 accumulation is initiated by abscisic acid to enhance fruit color during fig (*Ficus carica*
483 L.) ripening. *Journal of Plant Physiology*, 153192. doi:10.1016/j.jplph.2020.153192

484

485 Lewis, WK. (1921). The rate of drying of solid materials. *Journal of Industrial &
486 Engineering Chemistry*, 13, 427–432. doi:10.1021/ie50137a021

487

488 Lichtenthaler, HK. (1987). [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of
489 photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology*, 148, 350-382. Academic
490 Press.

491

- 492 Lufu, R., Ambaw, A., & Opara, UL. (2020). Water loss of fresh fruit: Influencing pre-
493 harvest, harvest and postharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 272, 109519.
494 doi:10.1016/j.scienta.2020.109519
495
- 496 Maldonado-Astudillo, YI, Alia-Tejacal, I., Núñez-Colín, CA, Jiménez-Hernández, J.,
497 Pelayo-Zaldívar, C., López-Martínez, V., & Valle-Guadarrama, S. (2014). *Postharvest*
498 *physiology and technology of Spondias purpurea L. and S. mombin L. Scientia*
499 *Horticulturae*, 174, 193–206. doi:10.1016/j.scienta.2014.05.016
500
- 501 Medina-Puche, L., Molina-Hidalgo, FJ, Boersma, M., Schuurink, RC, López-Vidriero,
502 I., Solano, R., & Muñoz-Blanco, J. (2015). *An R2R3-MYB Transcription Factor*
503 *Regulates Eugenol Production in Ripe Strawberry Fruit Receptacles. Plant Physiology*,
504 168, 598–614. doi:10.1104/pp.114.252908
505
- 506 Mewa, EA, Okoth, MW, Kunyanga, CN., & Rugiri, MN. (2019). Experimental
507 evaluation of beef drying kinetics in a solar tunnel dryer. *Renewable energy*, 139, 235-
508 241.
509
- 510 Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying.
511 *Drying Technology*, 20, 1503–1513. doi:10.1081/drt-120005864
512
- 513 Miller, GL. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing
514 sugar. *Analytical Chemistry*, 31, 426–428. doi:10.1021/ac60147a030
515

- 516 Monteiro, SS, Ribeiro, SR, Soquetta, MB, Pires, FJ, Wagner, R., & da Rosa, CS.
517 (2018). Evaluation of the chemical, sensory and volatile composition of sapota-do-
518 Solimões pulp at different ripening stages. *Food Research International*, 109, 159-167.
519
- 520 Motilva, MJ., & Romero, MP. (2010). The Effect of the Ripening Process of the Olive
521 Fruit on the Chlorophyll and Carotenoid Fractions of Drupes and Virgin Oils. *Olives
522 and Olive Oil in Health and Disease Prevention*, 59–68. doi:10.1016/b978-0-12-
523 374420-3.00007-3
524
- 525 Page, GE. (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in
526 thin layers. *Indiana: Purdue University*, 1949. M. Sc. Thesis.
527
- 528 Pathare, PB, Opara, UL, & Al-Said, FAJ. (2012). Colour Measurement and Analysis in
529 Fresh and Processed Foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 36–60.
530 doi:10.1007/s11947-012-0867-9
- 531 Peng, G., Xie, XL, Jiang, Q., Song, S., & Xu, CJ. (2013). Chlorophyll a/b binding
532 protein plays a key role in natural and ethylene-induced degreening of Ponkan (*Citrus
533 reticulata* Blanco). *Scientia Horticulturae*, 160, 37–43.
534 doi:10.1016/j.scienta.2013.05.022
535
- 536 Rohloff, P., & Docampo, R. (2008). *A contractile vacuole complex is involved in
537 osmoregulation in Trypanosoma cruzi*. *Experimental Parasitology*, 118, 17–
538 24. doi:10.1016/j.exppara.2007.04.013
539

- 540 Rehan, I., Gondal, MA, Almessiere, MA, Dakheel, RA, Rehan, K., Sultana, S., &
541 Dastageer, M. A. (2020). Nutritional and Toxic Elemental Analysis of Dry Fruits using
542 Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) and Inductively Coupled Plasma
543 Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES). *Saudi Journal of Biological*
544 *Sciences*. doi:10.1016/j.sjbs.2020.10.024
545
- 546 Salehi, F., & Aghajanzadeh, S. (2020). *Effect of dried fruits and vegetables powder on*
547 *cakes quality: A review. Trends in Food Science &*
548 *Technology*. doi:10.1016/j.tifs.2019.11.011
549
- 550 Sebio, L. (1996). Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades
551 físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscorea rotundata*).
552
- 553 Silva, RM, Araújo, KTA, Santos, FS, Melo Queiroz, AJ, & de Figueirêdo, RMF.
554 (2017). Toxicidade da farinha do resíduo de sementes de carolina. *Revista Brasileira de*
555 *Agrotecnologia*, 7, 139-144.
- 556 Smolikova, G., Dolgikh, E., Vikhnina, M., Frolov, A., & Medvedev, S. (2017). Genetic
557 and Hormonal Regulation of Chlorophyll Degradation during Maturation of Seeds with
558 Green Embryos. *International Journal of Molecular Sciences*, 18,
559 1993. doi:10.3390/ijms18091993
560
- 561 Soethe, C., Steffens, CA, Amarante, CVT, Martin, MSD., & Bortolini, AJ.
562 (2016). Qualidade, compostos fenólicos e atividade antioxidante de amoras-pretas
563 “Tupy” e “Guarani” armazenadas a diferentes temperaturas. *Pesquisa Agropecuária*
564 *Brasileira*, 5, 950–957. doi:10.1590/s0100-204x2016000800007

565

566 Sullivan, VK., Na, M., Proctor, DN, Kris-Etherton, PM, & Petersen, KS. (2020).
567 Consumption of dried fruits is associated with greater intakes of underconsumed
568 nutrients, higher total energy intakes, and better diet quality in US adults: a cross-
569 sectional analysis of the national health and nutrition examination survey, 2007-
570 2016. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. doi:
571 10.1016/j.jand.2020.08.085

572

573 Vargas-Simón, G. (2018). Ciruela/Mexican Plum— *Spondias purpurea* L. *Exotic Fruits*,
574 141–152. doi:10.1016/b978-0-12-803138-4.00052-6

575 Vasconcelos, NM, Pinto, GAS, & de Aragão, FAS. (2013). Determinação de açúcares
576 redutores pelo ácido 3, 5-dinitrosalicílico: histórico do desenvolvimento do método e
577 estabelecimento de um protocolo para o laboratório de bioprocessos. *Embrapa*
578 *Agroindústria Tropical-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)*.

579

580 Villanova, JCO, Lima, TH, Patrício, PS, Pereira, FV, & Ayres, E. (2012). Síntese e
581 caracterização de beads acrílicos preparados por polimerização em suspensão visando
582 aplicação como excipiente farmacêutico para compressão direta. *Química Nova*, 3, 124–
583 131. doi:10.1590/s0100-40422012000100023

584

585 Wang, J., Mu, WS, Fang, XM, Mujumdar, AS, Yang, XH, Xue, LY, & Zhang, Q.
586 (2017). Pulsed vacuum drying of thompson seedless grape: effects of berry ripeness on
587 physicochemical properties and drying characteristic. *Food and Bioprocess*
588 *Processing*, 106, 117–126. doi:10.1016/j.fbp.2017.09.003

589

590 Waterhouse, A. (2006). Folin-ciocalteau micro method for total phenol in
591 wine. *American Journal of Enology and viticulture*, 48, 357-363.

592

593 Wells, JI. (1988). Pharmaceutical preformulationthe physicochemical properties of drug
594 substances.

ANEXO

O presente trabalho está nas normas da revista *Food Chemistry*;

Qualis: A1 - Ciência de Alimentos;

A1 - Ciências Agrárias;

B1 - Engenharias II.

Fator de Impacto: 6,306.

Checklist for manuscript submission to *Food Chemistry*

Study contents:

X	Novel and not published previously
---	---

Manuscript preparation:

X	Number of words and of figures/tables is within limits. <ul style="list-style-type: none"> - Research article: 7500 words, 6 tables and figures combined - Review article: 10 000 words, 6 tables and figures combined - Short communication: 3000 words, 6 tables and figures combined Additional tables and figures? Submit as Supplementary material
X	Title page with title, authors names, affiliations and corresponding author Tel/fax and email
	Highlights (3-5 bullet points, max 85 characters each including spaces) are provided
	Hypothesis is provided
X	Conflict of interest statement (before references) is provided
X	Language follows the requirements of the Guide for Authors
X	Formatting of the manuscript follows the requirements
X	Continuous line numbering provided throughout the manuscript (including captions and references); page numbering provided
X	All relevant references are provided in alphabetical order and with the required formatting
X	Figures and tables (6 combined) include clear labels and are prepared as individual files
X	Appropriate ethical approval and informed consent (if applicable, include statement) provided

Before submission:

X	Manuscript file provided in Microsoft Word
	Figures and tables provided as individual files
X	Cover letter provided, explaining the novelty of the work
	5 or more suggested reviewers (<u>including affiliation and professional email address</u>) are provided, at least 2 of which are from a different country than the Authors
X	Keywords are provided

Estrutura do artigo: Siga esta ordem ao digitar os manuscritos: Título, Autores, Afiliações, Resumo, Palavras-chave, Texto principal (Introdução, Material e Métodos, Resultados e Discussão, Conclusão), Agradecimentos, Apêndice, Referências. O autor para correspondência deve ser identificado com asterisco e nota de rodapé. Todas as outras notas de rodapé (exceto notas de rodapé de tabelas) devem ser identificadas com números arábicos sobrescritos. O título do artigo deve refletir de forma inequívoca o seu conteúdo.

Título: Conciso e informativo. Evite abreviações e fórmulas sempre que possível.

Resumo: É necessário um resumo conciso e factual. O resumo deve indicar resumidamente o objetivo da pesquisa, os principais resultados e as principais conclusões. Um resumo geralmente é apresentado separadamente do artigo, portanto, deve ser capaz de ser independente. Por esta razão, referências bibliográficas devem ser evitadas, mas se for imprescindível citar o (s) autor (es) e ano (s). Além disso, abreviações não padronizadas ou incomuns devem ser evitadas, mas, se essenciais, devem ser definidas na primeira menção no próprio resumo. O resumo não deve exceder 150 palavras.

Palavras-chave: Imediatamente após o resumo, forneça no máximo 6 palavras-chave, usando a grafia americana e evitando termos gerais e plurais e conceitos múltiplos (evite, por exemplo, 'e', 'de'). Seja cauteloso com abreviaturas: apenas abreviaturas firmemente estabelecidas no campo podem ser elegíveis.

Subdivisão - seções numeradas: Divida seu artigo em seções claramente definidas e numeradas. As subseções devem ser numeradas 1.1 (então 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (o resumo não está incluído na numeração da seção). Use esta numeração também para referências cruzadas internas: não se refira apenas ao 'texto'. Qualquer subseção pode receber um breve título. Cada título deve aparecer em sua própria linha separada

Introdução: Indique os objetivos do trabalho e forneça uma fundamentação adequada, evitando um levantamento detalhado da literatura ou um resumo dos resultados.

Hipóteses: Quase todos os artigos científicos se beneficiam da inclusão de uma declaração de hipótese. Essas declarações devem ser claras, concisas e declarativas. A declaração deve descrever uma ou mais hipóteses-chave que o trabalho descrito no manuscrito pretendia confirmar ou refutar. A inclusão de uma declaração de hipótese torna simples contrastar a hipótese com a literatura anterior mais relevante e apontar o que os autores sentem é distinto sobre a hipótese atual (novidade). Também permite aos autores descrever por que eles acham que seria importante provar a hipótese correta (significância). A hipótese deve ser declarada na seção introdutória, e a seção de conclusão deve incluir sua conclusão sobre se a hipótese foi confirmada ou refutada, bem como descrever quaisquer novas hipóteses geradas pelo trabalho descrito. Aqui está um exemplo de uma declaração de hipótese famosa e excelente; declarativo, conciso, claro e testável: "Volumes iguais de gases, na mesma temperatura e pressão, contêm números iguais de moléculas." Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro di Quarega e di Carreto (Avogadro), 1811.

Material e métodos: Forneça detalhes suficientes para permitir que o trabalho seja reproduzido por um pesquisador independente. Os métodos já publicados devem ser resumidos e indicados por uma referência. Se estiver citando diretamente de um método publicado anteriormente, use aspas e também cite a fonte. Quaisquer modificações nos métodos existentes também devem ser descritas.

Resultados: resultados devem ser claros e concisos.

Discussão: Deve explorar o significado dos resultados do trabalho, não repeti-los. Uma seção combinada de Resultados e Discussão costuma ser apropriada. Evite citações extensas e discussão da literatura publicada.

Conclusões: As principais conclusões do estudo podem ser apresentadas em uma curta seção de Conclusões, que pode ser isolada ou formar uma subseção de uma seção de Discussão ou Resultados e Discussão.

Citações: As citações no texto devem seguir o estilo de referência usado pela American Psychological Association.

Referências: As referências devem ser organizadas primeiro em ordem alfabética e, em seguida, em ordem cronológica, se necessário. Mais de uma referência do (s) mesmo (s) autor (es) no mesmo ano devem ser identificadas pelas letras 'a', 'b', 'c', etc., colocadas após o ano de publicação. O uso de doi é encorajado. Exemplos:

Referência a uma publicação de jornal:

Van der Geer, J., Hanraads, JAJ, & Lupton, RA (2010). A arte de escrever um artigo científico. *Journal of Scientific Communications*, 163 , 51–59.

<https://doi.org/10.1016/j.sc.2010.00372>.

Referência a uma publicação de jornal com um número de artigo:

Van der Geer, J., Hanraads, JAJ, & Lupton, RA (2018). A arte de escrever um artigo científico. *Heliyon*, 19, Artigo e00205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00205>.

Referência a um livro:

Strunk, W., Jr., & White, EB (2000). *Os elementos de estilo* (4ª ed.). Longman (Capítulo 4).

Referência a um capítulo em um livro editado:

Mettam, GR, & Adams, LB (2009). Como preparar uma versão eletrônica de seu artigo. Em BS Jones e RZ Smith (Eds.), *Introdução à era eletrônica* (pp. 281-304). E-Publishing Inc.