

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS  
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ALESSANDRA MAYARA SPONCHIADO

**CINÉTICA DE REIDRATAÇÃO E COMPORTAMENTO REOLÓGICO  
DE *BLACKBERRIES* DESIDRATADAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA  
2018

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS  
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ALESSANDRA MAYARA SPONCHIADO

**CINÉTICA DE REIDRATAÇÃO E COMPORTAMENTO REOLÓGICO  
DE *BLACKBERRIES* DESIDRATADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia de Alimentos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Daiane Cristina Lenhard

Co-orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carolina Castilho Garcia

MEDIANEIRA  
2018

## TERMO DE APROVAÇÃO

### CINÉTICA DE REIDRATAÇÃO E COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE *BLACKBERRIES* DESIDRATADAS

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado às 9h10min do dia 21 de novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Alimentos, do Curso de Bacharelado em Engenharia de Alimentos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Daiane Cristina Lenhard  
Orientadora

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carolina Castilho Garcia  
Co-orientadora

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nádia Cristiane Steinmacher  
Membro da banca

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kátia Suzana Andrade  
Membro da banca

---

Alessandra Mayara Sponchiado  
Aluna

Medianeira, 21 de novembro de 2018.

A folha de aprovação com as assinaturas encontra-se na Coordenação do Curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força e sabedoria durante toda esta jornada. Sem ele nada seria possível.

Aos meus pais Lidovino e Marlice pelo amor, carinho e paciência que tiveram comigo. Agradeço por terem me dado apoio e incentivo para estudar, por me encorajarem nas horas mais difíceis.

Ao meu namorado Luan, por toda paciência, compreensão, carinho e amor. Agradeço por ter acreditado em mim, por ter me dado força e coragem nos momentos que mais precisei, te amo.

Aos meus queridos professores por todo o conhecimento transmitido ao longo da vida acadêmica. Em especial as minhas queridas orientadoras Daiane e Carolina por acreditarem em mim, neste trabalho. Obrigada pela constante ajuda e orientação, por terem contribuído com a minha formação, sou muito grata!



## RESUMO

SPONCHIADO, Alessandra Mayara Sponchiado. **Cinética de reidratação e comportamento reológico de *blackberries* desidratadas**. 2018. 66 f. Trabalho de conclusão de curso - Curso Engenharia de Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

A *blackberry in natura* é uma fruta que apresenta um tempo de vida útil relativamente curto, por isso, se utiliza o processo de secagem para conservar o produto por um período mais longo de tempo. Para reconstituir este produto efetua-se o processo de reidratação. O estudo desta operação e do comportamento reológico é de suma importância, pois fornecem informações sobre as mudanças físicas e químicas decorrentes do seu processamento. Este trabalho teve como objetivos estudar a cinética de reidratação de *blackberries* em água ( $10 \pm 2$ ,  $29 \pm 2$  °C e  $45 \pm 2$  °C/45 min) e em leite ( $10 \pm 2$  °C e  $29 \pm 2$  °C/ 45 min), assim como, avaliar o comportamento reológico das suspensões das *blackberries* após a reidratação em água (45 min), em diferentes concentrações de sólidos em diferentes temperaturas e determinar as características físico-químicas e o perfil de textura das *blackberries* desidratadas e após a reidratação em água e leite (29 °C/45 min). Os coeficientes de difusão da água e leite foram determinados pelo modelo da Lei de Fick, obtendo valores  $8,60 \cdot 10^{-5}$  entre  $2,53 \cdot 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>·min. Os coeficientes de difusão de água e leite quando correlacionados com as mesmas temperaturas de reidratação não apresentaram diferenças significativas entre as médias. Para descrever a cinética de reidratação foram utilizados 12 modelos matemáticos. Para as *blackberries* reidratadas em água a 10 °C e a 29 °C o modelo da aproximação da difusão foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, com  $R^2 = 0,98$  e  $1,00$  e a 45 °C foi o modelo de Logarítmico, com  $R^2 = 0,99$ . As *blackberries* reidratadas em leite a 10 °C o modelo de Verma foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, com  $R^2 = 0,99$  e a 29 °C foi o modelo de Logarítmico, com  $R^2 = 0,99$ . Para estudar o comportamento reológico das suspensões das *blackberries* foram utilizados seis modelos matemáticos e para verificar a influência da temperatura de análise e da concentração de sólidos no comportamento reológico das suspensões das *berries*, foi utilizado um planejamento fatorial 2<sup>2</sup> com três pontos centrais. Para a suspensão de sólidos a 10 % a 20 °C e a 60 °C, o modelo de Casson foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, com  $R^2 = 0,99$  e  $0,91$ . As suspensões de sólidos efetuadas nos três pontos centrais (20 % a 40 °C) e a 30 % a 20 °C não ajustaram satisfatoriamente os dados experimentais. A 30 % a 60 °C, o modelo da Ostwald de Waellese ajustou de forma razoável, com  $R^2 = 0,80$ . Neste trabalho, não foi possível efetuar análise do planejamento fatorial, em decorrência de nenhum modelo ter se ajustado bem para todos os ensaios. Com relação ao perfil de textura, verificou-se que adesividade das *blackberries* reidratadas foi significativamente menor, quando comparadas com as *berries* na forma desidratada, possivelmente em consequência da transferência de solvente (água ou leite) para as frutas e lixiviação de sólidos para o meio. A resiliência das *blackberries* desidratadas foi significativamente menor quando correlacionada com as *berries* reidratadas.

**Palavras chave:** Amora-preta. Difusão. Reologia.

## ABSTRACT

SPONCHIADO, Alessandra Mayara Sponchiado. **Rehydration kinetics and rheological behavior of dehydrated blackberries**. 2018. 66 f. Course Conclusion Work - Food Engineering Course, Federal Technological University of Paraná, Medianeira, 2018.

Blackberry in natura is a fruit that has a relatively short shelf life, so the drying process is used to preserve the product for a longer period of time. To reconstitute this product the process the rehydration process is effected. The study of this operation and of rheological behavior is of paramount importance as it provides information on the physical and chemical changes resulting from its processing. This work aimed to study the rehydration kinetics of blackberries in water ( $10 \pm 2$ ,  $29 \pm 2$  °C and  $45 \pm 2$  °C/45 min) and in milk leite ( $10 \pm 2$  °C e  $29 \pm 2$  °C/ 45 min), as well as to evaluate the rheological behavior of suspensions of blackberries after rehydration in water (45 min), in different concentrations of solids at different temperatures and determine the physico-chemical characteristics and the texture profile of dehydrated blackberries and after rehydration in water and milk (29 °C/45 min). The water and milk diffusion coefficients were determined by the Fick Law model, obtaining values  $8,60 \cdot 10^{-5}$  between  $2,53 \cdot 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>·min. The coefficients of water and milk diffusion when correlated with the same rehydration temperatures did not show significant differences between the average. To describe the kinetics of rehydration, 12 mathematical models were used. For blackberries rehydrated in water the diffusion approximation model was the best fit for the experimental data, with  $R^2 = 0,98$  e  $1,00$  and at  $45$  °C was the Logarithmic model, with  $R^2 = 0.99$ . The blackberries rehydrated in milk at  $10$  °C the Verma model was the one that best fit the experimental data, with  $R^2 = 0.99$  and at  $29$  °C was the Logarithmic model, with  $R^2 = 0.99$ . To study the rheological behavior of blackberry suspensions, six mathematical models were used and to verify the influence of analysis temperature and solids concentration on rheological behavior of berries suspensions, was used a  $2^2$  factorial design with three central points. For the 10% solids suspension at  $20$  °C and the  $60$  °C, the Casson model was the best fit for the experimental data, with  $R^2 = 0.99$  and  $0.9$ . The Solid suspensions at the three central points (20% at  $40$  °C) and 30% at  $20$  °C did not satisfactorily adjust the experimental data. At 30% at  $60$  °C, the Ostwald de Waellese model fitted reasonably, with  $R^2 = 0.80$ . In this study, it was not possible to analyze the factorial design, as no model fit well for all the tests. Regarding the texture profile, it was verified that the adhesiveness of rehydrated blackberries was significantly lower, when compared to the berries in the dehydrated form, possibly as a consequence of the transfer of solvent (water or milk) to the fruits and leaching of solids to the médium. The resilience of dehydrated blackberries was significantly lower when correlated with rehydrated berries.

Keywords: Blackberry. Diffusion. Reology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Blackberry</i> .....	15
Figura 2 – <i>Blackberry</i> em diferentes estádios de maturação.....	17
Figura 3 – <i>Blackberry</i> desidratada.....	21
Figura 4 – Viscosímetro rotacional de cilíndricos concêntricos utilizado para determinar as propriedades reológicas das suspensões das <i>blackberries</i> reidratadas em água a 29 °C por 45 minutos.....	33
Figura 5 – Texturômetro universal, utilizado para determinar a textura das <i>blackberries</i> na forma desidratada e reidratada (leite e água). .....	36
Figura 6 – (a) Viscosidade aparente versus taxa de deformação para a suspensão de sólidos das <i>blackberries</i> a 10 % e 20 °C (▲) e 60 °C (●); (b) Viscosidade aparente versus taxa de deformação para a suspensão de sólidos das <i>blackberries</i> a 30 % e 20 °C (●) e 60 °C (■). .....	50

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – (▲) Ganho de massa adquirido pelas <i>berries</i> reidratadas em água a 10°C; (●) Ganho de massa adquirido pelas <i>berries</i> reidratadas em água a 29°C; (■) Ganho de massa adquirido pelas <i>berries</i> reidratadas em água a 45 °C.....	39
Gráfico 2 – (●) Ganho de massa adquirido pelas <i>berries</i> reidratadas em leite a 10 °C; (■) Ganho de massa adquirido pelas <i>berries</i> reidratadas em leite a 29 °C. ....	40
Gráfico 3 – Valores experimentais do adimensional de umidade (●); e os valores calculados pelo modelo da Aproximação da difusão (—), para a reidratação em água das <i>blackberries</i> desidratadas na temperatura de 10°C.....	44
Gráfico 4 – Valores experimentais do adimensional de umidade (●); e os valores calculados pelo modelo da Aproximação da Difusão (—), para a reidratação em água das <i>blackberries</i> desidratadas na temperatura de 29 °C.....	44
Gráfico 5 – Valores experimentais do adimensional de umidade (●); e os valores calculados pelo modelo de Logarítmico (—), para a reidratação em água das <i>blackberries</i> desidratadas na temperatura de 45 °C.....	45
Gráfico 6 – Valores experimentais do adimensional de umidade (●); e os valores calculados pelo modelo de Verma (—), para a reidratação em leite das <i>blackberries</i> desidratadas na temperatura de 10 °C.....	47
Gráfico 7 – Valores experimentais do adimensional de umidade (●); e os valores calculados pelo modelo de Logarítmico (—), para a reidratação em leite das <i>blackberries</i> desidratadas na temperatura de 29 °C.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição nutricional da <i>blackberry</i> em 100 g fruta fresca .....	19
Tabela 2 – Modelos matemáticos utilizados para predizer a cinética de reidratação (água e leite) das <i>blackberries</i> desidratadas .....	30
Tabela 3 – Modelos matemáticos usados para predizer o comportamento reológico das suspensões das <i>blackberries</i> reidratadas em água a 29 °C por 45 minutos. ....	34
Tabela 4 – Características físico-químicas das <i>blackberries</i> desidratadas e das reidratadas em leite e em água a 29 °C por 45 minutos .....	38
Tabela 5 – Coeficientes de difusão determinados através do modelo da Lei de Fick, que descrevem o processo de reidratação em leite e água das <i>blackberries</i> desidratadas.....	40
Tabela 6 – Parâmetros estatísticos utilizados para avaliar o ajuste dos modelos aos dados experimentais da reidratação em água das <i>blackberries</i> desidratadas a 10 °C .....	41
Tabela 7 – Parâmetros estatísticos utilizados para avaliar o ajuste dos modelos aos dados experimentais da reidratação em água das <i>blackberries</i> desidratadas a 29 °C .....	41
Tabela 8 – Parâmetros estatísticos utilizados para avaliar o ajuste dos modelos aos dados experimentais da reidratação em água das <i>blackberries</i> desidratadas a 45 °C .....	42
Tabela 9 – Valores dos coeficientes do modelo da Aproximação da difusão que descrevem a reidratação em água das <i>blackberries</i> desidratadas a 10, 29 e 45 °C .....	43
Tabela 10 – Valores dos coeficientes do modelo de Logarítmico que descrevem a reidratação em água das <i>blackberries</i> desidratadas a 10, 29 e 45 °C .....	43
Tabela 11 – Parâmetros estatísticos utilizados para avaliar o ajuste dos modelos aos dados experimentais da reidratação em leite das <i>blackberries</i> desidratadas a 10 °C .....	45
Tabela 12 – Parâmetros estatísticos utilizados para avaliar o ajuste dos modelos aos dados experimentais da reidratação em leite das <i>blackberries</i> desidratadas a 29 °C .....	46
Tabela 13 – Valores dos coeficientes do modelo da Aproximação da difusão que descrevem a reidratação em leite das <i>blackberries</i> desidratadas a 10 e 29 °C .....	46
Tabela 14 – Valores dos coeficientes do modelo de Verma que descrevem a reidratação em leite das <i>blackberries</i> desidratadas a 10 e 29 °C .....	46
Tabela 15 – Valores dos coeficientes do modelo de Logarítmico que descrevem a reidratação em leite das <i>blackberries</i> desidratadas a 10 e 29 °C .....	47
Tabela 16 – Parâmetros de textura das <i>blackberries</i> desidratadas e reidratadas em água e leite a 29 °C por 45 minutos .....	52
Tabela 17 – Parâmetros estatísticos dos modelos reológicos ajustados aos dados experimentais na concentração de 10 % a 20 °C.....	63
Tabela 18 – Parâmetros estatísticos dos modelos reológicos ajustados aos dados experimentais na concentração de 10 % a 60 °C.....	63
Tabela 19 – Parâmetros estatísticos dos modelos reológicos ajustados aos dados experimentais na concentração de 20 % a 40 °C.....	64

Tabela 20 – Parâmetros estatísticos dos modelos reológicos ajustados aos dados experimentais na concentração de 20 % a 40 °C.....	64
Tabela 21 – Parâmetros estatísticos dos modelos reológicos ajustados aos dados experimentais na concentração de 20 % a 40 °C.....	64
Tabela 22 – Parâmetros estatísticos dos modelos reológicos ajustados aos dados experimentais na concentração de 30 % a 20 °C.....	65
Tabela 23 – Parâmetros estatísticos dos modelos reológicos ajustados aos dados experimentais na concentração de 30 % a 60 °C.....	65
Tabela 24 – Parâmetros reológicos do modelo de Ostwald de Waelle - Lei da potência.....	65
Tabela 25 – Parâmetros reológicos do modelo de Herschel-Bulkley .....	66
Tabela 26 – Parâmetros reológicos do modelo de Bingham.....	66
Tabela 27 – Parâmetros reológicos do modelo de Casson.....	66
Tabela 28 – Parâmetros reológicos do modelo de Sisko .....	67

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
3.1 <i>BLACKBERRY</i> .....	<b>15</b>
3.1.1 Características gerais das cultivares .....	16
3.1.2 Plantio, colheita e pós-colheita .....	17
3.1.3 Aspectos nutricionais e compostos antioxidantes .....	18
3.2 <i>BLACKBERRY</i> DESIDRATADA.....	20
3.3 REIDRATAÇÃO .....	21
3.4 COMPORTAMENTO REOLÓGICO .....	24
3.5 TEXTURA.....	26
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
4.1 MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS .....	28
4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	28
4.2.1 Análises físico-químicas .....	28
4.2.2 Cinética de reidratação e modelagem matemática .....	29
4.2.3 Reometria .....	33
4.2.4 Perfil de textura .....	35
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>38</b>
5.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS .....	38
5.2 CINÉTICA DE REIDRATAÇÃO E MODELAGEM MATEMÁTICA.....	39
5.3 REOMETRIA .....	48
5.4 PERFIL DE TEXTURA .....	51
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>54</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>56</b>
<b>APÊNDICE A</b> .....	<b>63</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A *blackberry*, ou amora-preta, é uma espécie arbustiva de porte ereto ou rasteiro, pertencente ao gênero *Rubus*, que produz frutos agregados com cerca de 4 a 7 gramas, de coloração negra e sabor ácido a doce-ácido (CHAGAS et al., 2007).

Embora haja cultivares nativas do Brasil, as que mais são produzidas atualmente no país são oriundas de cruzamentos envolvendo material genético nativo dos Estados Unidos. É considerada uma cultura de retorno rápido, tendo em vista que entra em produção já no segundo ano de cultivo (ANTUNES et al., 2014).

Em 2005, a produção mundial de *blackberry* era de aproximadamente 140.292 toneladas em 20.035 hectares (STRIK et al., 2007). Em 2003, a produção brasileira era de 1.300 toneladas em uma área de 110 hectares (PAGOT et al., 2003). Em 2014, os maiores produtores eram os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo. Dentre estes, o principal produtor foi o estado do Rio grande do Sul, o qual produziu cerca de 2.210 toneladas em 239,2 hectares (ANTUNES et al., 2014).

A *blackberry in natura* é altamente nutritiva, contém em sua composição torno de 85 % de água, 10 % de carboidratos, e um conteúdo considerável de minerais, vitamina B, vitamina A (ANTUNES; RASSEIRA, 2004). Além disso, a amora-preta é composta por elevados conteúdos de compostos fenólicos, antocianinas e conteúdos consideráveis de vitamina C, os quais possuem elevada capacidade antioxidante. Isto é de grande importância, tendo em vista que os compostos antioxidantes são substâncias que combatem os radicais livres, que são responsáveis em desencadear vários tipos de doenças crônicas e degenerativas (HASSIMOTTO et al., 2008).

O tempo de vida útil das *blackberries* após a colheita é relativamente curto, pois apresentam uma estrutura extremamente frágil, altos teores de água e elevada taxa respiratória. Para tanto, umas das formas de conservar este produto por período mais longo é através do processo de desidratação (GONÇALVES et al., 2012). Essa operação visa remover a água do produto por meio da



evaporação. Esse processo além de criar condições desfavoráveis para o crescimento de microrganismos permite a redução de custos com transporte e armazenamento, pois reduz o peso e não necessita de refrigeração (MELONI, 2003).

A *blackberry* desidratada para ser industrializada na forma de geleias, doces, sucos necessita ser reidratada. A reidratação é um processo complexo baseado na reconstituição das propriedades da matéria-prima quando um material seco está em contato com uma fase líquida. O método pode ser considerado como uma medida dos danos ao material causados pela secagem. O estudo de sua cinética pode ser muito útil para aperfeiçoar este processo, sendo interessante não só conhecer como tão rápida ocorre a absorção de água, mas como será afetada pelas variáveis de processamento e como o tempo de saturação pode ser previsto (DUARTE et al., 2009).

Além do estudo da reidratação, outro aspecto de grande relevância em processos industriais, é que se tenha conhecimento das propriedades reológicas das suspensões dos frutos reidratados. O conhecimento desse perfil reológico permite que durante as etapas de processamento seja alcançado um melhor controle da qualidade, contribuindo em termos de aplicações industriais para o dimensionamento de equipamentos como bombas, agitadores e tubulações (IBARZ; BARBOSA-CANÓVAS, 2003).

Com intuito de obter dados necessários à construção/aperfeiçoamento de equipamentos e dados de transporte de fluidos, o presente estudo tem como objetivo estudar a reidratação da *blackberry* desidratada e avaliar seu comportamento reológico após a reidratação.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a cinética de reidratação, em leite e água, da *blackberry* desidratada e o comportamento reológico de suspensões da fruta reidratada.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

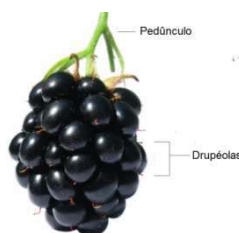
- Efetuar a análise físico-química, quanto aos teores de umidade, atividade de água, proteínas e cinzas, das *blackberries* desidratadas e após sua reidratação em leite e água.
- Modelar e avaliar a cinética de reidratação da *blackberry* desidratada.
- Modelar e avaliar o comportamento reológico de suspensões do produto após a reidratação em água, em diferentes concentrações de sólidos em diferentes temperaturas de processo.
- Determinar o perfil de textura das frutas desidratadas e após a reidratação em leite e água.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 BLACKBERRY

A *blackberry*, também conhecida como amora-preta, pertence à família Rosaceae e ao gênero *Rubus* (ANTUNES, 2002). É uma espécie arbustiva que produz frutos agregados de coloração negra (CHAGAS et al., 2007).

São constituídas por numerosas pequenas drupas agregadas, designadas por drupéolas (SOUSA et al., 2007), como pode ser observado na Figura 1. Segundo os autores, cada drupéola representa um fruto, logo o conjunto dessas drupas, que geralmente são chamadas de fruto, é na verdade um conjunto de frutos.



**Figura 1** – *Blackberry*  
**Fonte:** (Adaptado de MOTA, 2012)

Embora existam *blackberries* nativas de gênero *Rubus* no Brasil, as cultivares mais produzidas são advindas do resultado da introdução, seleção e do melhoramento genético de cultivares americanas.

No Brasil, o programa de melhoramento genético de *blackberry* foi iniciado na década de 70 no centro de pesquisa da Embrapa, localizada em Pelotas-RS, a partir da introdução de uma pequena coleção de cultivares, da qual faziam parte 'Brazos', 'Cherokee' e 'Comanche', provindas da Universidade de Arkansas dos Estados Unidos. Dois ou três anos após a introdução, foram trazidas sementes de cruzamentos onde originaram cerca de 12 mil mudas, as

quais deram origem às primeiras cultivares brasileiras geneticamente melhoradas, as quais, incluem: Ébano, em 1981; Negrita, em 1983; Tupi e Guarani, em 1988, e Caingangue, em 1992. De um modo geral, as principais cultivares americanas de Gênero *Rubus* cultivadas no Brasil são: Brazos, 'Cherokee', Comanche, Arapaho e a Choctaw (ANTUNES; RASSEIRA, 2004).

### 3.1.1 Características gerais das cultivares

Dentre as cultivares de *blackberry* geneticamente melhoradas cultivadas no Brasil, destacam-se: Ébano, Tupy, Guarani, Caingangue, Xavante. Cujas características principais estão dispostas a seguir, conforme as descrições relatadas por Antunes e Rasseira (2004).

**Ébano:** Possuem hastes sem espinhos. As frutas apresentam em torno de 4 a 6 gramas. Os frutos dessa cultivar são recomendados para serem utilizados na forma processada, uma vez que possuem sabor predominantemente ácido e adstringente. E a colheita se inicia no período de dezembro.

**Guarani:** Apresentam hastes eretas e com espinhos. As frutas possuem sabor doce-ácido, sendo um pouco mais ácido que doce. Os frutos desta cultivar são recomendados para consumo in natura. E a colheita se inicia em novembro.

**Tupy:** Apresentam porte ereto, com espinhos. As frutas possuem em torno de 8 a 10 gramas e o seu sabor doce-ácido é equilibrado. A colheita é efetuada no período de novembro a janeiro. É uma cultivar que necessita de pouca quantidade de frio.

**Caingangue:** Possuem hastes eretas, com espinhos. As frutas apresentam peso entre 5 a 6 gramas e o seu sabor é doce-ácido. A colheita é feita nos períodos de novembro a dezembro. Os frutos desta cultivar são recomendados para consumo in natura por possuírem sabor mais equilibrado. Assim como a *blackberry* Tupy, têm pouca necessidade em frio.

**Xavante:** Possuem hastes vigorosas, eretas e sem espinhos. As frutas apresentam em torno de 6 gramas, o seu sabor predominado é a acidez. A colheita se inicia em meados de novembro.

### 3.1.2 Plantio, colheita e pós-colheita

No que diz respeito ao clima, as *blackberries* são cultivadas desde regiões com invernos amenos (há partir de 200 horas frio) até regiões com frios extremos (mais de 1.000 horas frio com temperaturas inferiores a 7,2 °C). Essas frutas se desenvolvem bem em solos bem drenados, com boa capacidade de retenção de água e em locais que apresentam boas quantidades de matéria orgânica. Em geral, os solos ligeiramente ácidos, com pH em torno de 5,5 a 6,0, são os melhores para o seu cultivo (PAGOT et al., 2007).

A colheita das *blackberries* é procedida de forma escalonada durante um período de dois a três meses, conforme a cultivar. O procedimento é efetuado dessa forma para se ter um padrão na qualidade, visto que esses frutos não amadurecem ao mesmo tempo, conforme pode ser observado na Figura 2, (SOUZA, 2013).



**Figura 2** – *Blackberry* em diferentes estádios de maturação  
**Fonte:** (SOUZA, 2013)

As *blackberries* durante o período de amadurecimento sofrem modificações na coloração. No estágio inicial da maturação, as frutas alteram-se

de verde para vermelho, e na fase final de maturação, tornam-se pretas brilhantes (PERKINS-VEASIE; COLLINS, 2002).

Após a colheita o tempo de vida útil dessas frutas é relativamente curto, visto que apresentam uma estrutura frágil e alta taxa respiratória (MOTA, 2006).

O limite de acondicionamento das cultivares Guarani e Caingangue, sob condições ambientais (25 °C/ 80 % UR), é de um dia, devido ao excesso de perda de massa e a elevada incidência de podridões (CIA et al. 2007).

Uma das maneiras de aumentar o tempo de conservação dessas frutas é através da utilização da refrigeração. Uma vez que o abaixamento da temperatura ajuda a retardar os processos metabólicos das frutas, que são responsáveis em acelerar a degradabilidade do produto. Os frutos das cultivares 'Brazos' e 'Comanche' podem ser armazenados a 2 °C por um período de até nove dias depois de colhido, quando acondicionados em bandejas de polietileno teraftalato transparente, envoltos por filme PVC (ANTUNES; FILHO; SOUZA, 2003).

### 3.1.3 Aspectos nutricionais e compostos antioxidantes

A *blackberry in natura* é altamente nutritiva. De acordo com a Embrapa (2008), contém em sua composição elevada quantidade de água, em torno de 85 %, baixos teores de lipídeos e conteúdos consideráveis de sais minerais, como cálcio, fósforo, potássio, magnésio, ferro e selênio.

A *blackberry*, em 100 gramas de fruta fresca, apresenta a seguinte composição nutricional, conforme disposto na Tabela 1.

Além desses constituintes, a *blackberry* possui compostos fenólicos e outros fitoquímicos como a vitamina A, vitamina C e carotenoides, os quais possuem elevada capacidade antioxidante (JACQUES; ZAMBIAZI, 2011).

**Tabela 1** – Composição nutricional da *blackberry* em 100 g fruta fresca

<b>Nutrientes</b>	<b>Concentração (g)</b>
Umidade	87,92 ± 0,59
Proteína	1,27 ± 0,06
Lipídeos	0,42 ± 0,05
Carboidratos	10,18 ± 0,61
Fibras	4,47 ± 0,67
Cinzas	0,21 ± 0,02
Valor energético (Kcal)	49,57 ± 2,18

Fonte: SOUZA et al., (2014)

Em estudo realizado por Ferreira, Rosso e Mercadante (2010), as frutas da cultivar Tupy apresentaram teor representativo de antocianinas monoméricas ( $104,1 \pm 1,8 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de fruto fresco), altos teores de compostos fenólicos ( $241,7 \pm 0,8 \text{ mg}$  equivalente de ácido gálico  $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de fruto fresco) e de flavonoides totais ( $173,7 \pm 0,7 \text{ mg}$  equivalente de catequina  $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$  fruto fresco).

De acordo com a pesquisa efetuada por Guedes et al. (2014) as cultivares de *blackberry* Arapaho, Brazos, Caingangue, Cherokee, Choctaw, Comanche, Èbano, Guarani, Xavante, cultivadas em Lavras no sul de Minas Gerais, apresentaram valores de 671,45 a 147,87  $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  fruto fresco (PF) de fenóis totais, 128,53 a 71,36  $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  PF de flavonoides, 656,05 a 292,90  $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  PF de antocianinas e em menores quantidades teores 229,89 a 10,45  $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  PF de  $\beta$ -caroteno e 19,31 a 0,87  $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  PF de vitamina A.

Entre o grupo das pequenas frutas, incluindo o morango, framboesa vermelha, cereja, mirtilo, *blueberry* e a *blackberry*, a *blackberry* é a que apresenta maior atividade antioxidante e os mais altos níveis de compostos fenólicos, antocianinas, flavonoides e de carotenoides (SOUZA et al., 2014).

A *blackberry*, por apresentar um alto potencial antioxidante, produz vários efeitos benéficos para a saúde, visto que, os compostos antioxidantes são substâncias químicas que tem a capacidade de reagir com os radicais livres, restringindo efeitos maléficos ao organismo (BARREIROS; DAVID, 2006).

De acordo com estudo realizado por Hassimotto et al. (2008) dentre os compostos fenólicos presentes na *blackberry*, acredita-se que as antocianinas são as principais responsáveis por apresentarem uma elevada capacidade

antioxidante, uma vez que foi observada uma correlação linear entre os teores de antocianinas (ciadinina) e a capacidade antioxidante entre as cultivares Caingangue, Brazos, Tupy, Guarani e Seleção 97.

As antocianinas por apresentarem elevada capacidade antioxidante, exercem diversos efeitos benéficos para a saúde, ajudam a prevenir o aparecimento de doenças cardiovasculares e aterosclerose. Além disso, essas substâncias possuem relação protetora contra o estresse oxidativo, fato esse importante, pois ajudam a reduzir os danos causados ao DNA e a outras estruturas celulares, que poderiam desencadear processos inflamatórios e outras doenças como o câncer (SANTOS et al., 2014).

Em estudo efetuado por Tate et al. (2006) verificou-se que os extratos de *blackberry* possuem efeito anti-mutagênico. Além disso, de acordo com Seeram et al. (2006), esses extratos também possuem capacidade anticarcinogênica em linhagens humanas de câncer de mama, de cólon e de próstata.

### 3.2 BLACKBERRY DESIDRATADA

A comercialização das *blackberries* na forma *in natura* apresenta condições bastante limitadas, em razão de sua produção estar apenas concentrada nos períodos de novembro a fevereiro, e por apresentar rápida perda de qualidade após a colheita (MOTA, 2006). Para tanto, uma das alternativas para o aproveitamento econômico desses frutos é através do processo de desidratação.

A desidratação é uma operação unitária que tem como objetivo remover a água do produto utilizando evaporação, por meio da transferência de calor e massa. Em frutas esse processo é efetuado até um ponto, onde a concentração de açúcares, ácidos, sais e outros componentes seja suficientemente elevada para reduzir a atividade de água e inibir, portanto, o desenvolvimento de microrganismos. A grande vantagem desse processo é que, além de criar condições desfavoráveis para o crescimento de microrganismos, facilitam o



transporte e o armazenamento, pois há diminuição de peso e as frutas não precisam ser mantidas sob refrigeração (MELONI, 2003). Na Figura 3, está apresentado o aspecto visual da *blackberry* desidratada.



**Figura 3** – *Blackberry* desidratada

**Fonte:** <http://loja.emporiomanjericao.com.br/blackberry-amora.html>

A *blackberry* na sua forma desidratada pode ser consumida em seu estado puro, ou juntamente com iogurtes, como cereais matinais e ser processada na forma de polpa, geleias, sucos e doce em calda, mas para isso necessita passar pelo um processo de reidratação.

### 3.3 REIDRATAÇÃO

A reidratação é um processo complexo, tendo em vista a restauração das propriedades do produto *in natura*. A reidratação de produtos desidratados normalmente é composta de três processos simultâneos: a embebição do material seco em água, o inchaço dos produtos reidratados e o vazamento de compostos solúveis (LEE; FARID; NGUANG, 2006).

Em processos de desidratação, a água removida de um alimento não é substituída da mesma maneira durante a reidratação, ou seja, a reidratação não é o processo inverso de secagem (FELLOWS, 2009).

No processo de reidratação a absorção de água é mais rápida durante a fase inicial, enquanto nos estágios seguintes a taxa diminui gradualmente, uma

vez que o teor de umidade do produto se aproxima do equilíbrio, quando a água preenche quase todos os poros, e as frutas recuperam uma porcentagem considerável do seu teor de umidade original (LEE; FARID; NGUANG, 2006).

Na reidratação dos produtos desidratados, existem diversos fatores que influenciam na quantidade de água absorvida, bem como nas propriedades sensoriais do produto. Dentre as quais podem-se citar o de tempo de imersão, a temperatura da água, e a razão entre a quantidade de água utilizada e a de produto. Pequenas quantidades de água diminuem a razão de absorção, em consequência da menor área superficial de contato, e o excesso aumenta as perdas de nutrientes solúveis. Elevadas temperaturas da água aumentam a razão de absorção, reduzindo o tempo total necessário para ocorrer a reidratação, o que pode, entretanto, afetar negativamente a palatabilidade do produto (MELONI, 2003).

O estudo da cinética de reidratação é de grande importância para otimização desse processo, pois através dessa operação tem-se como observar o quão rápida ocorre o processo de absorção de água e como será afetada pelas variáveis do processamento.

Quando a reidratação é realizada em água líquida há um fluxo transiente de água na direção radial. Nesse processo, o fator que controla a transferência de massa é a resistência interna decorrente da difusão da água para dentro da fruta. A relação entre o fluxo de massa e o gradiente de concentração é dada pela segunda Lei de Fick, apresentada na Equação 1 (ROCA et al., 2008).

$$\frac{dx}{dt} = D_{ef} \frac{\partial^2 x}{\partial z^2} \quad (1)$$

Em que,  $x$  representa a umidade, no tempo  $t$ ;  $z$  é à distância da superfície até o centro da geometria adotada, em cm;  $D_{ef}$  representa o coeficiente de difusão efetivo da água durante a reidratação do sólido, em  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

De acordo com Crank (1975), uma das formas de se solucionar a Lei de Fick é utilizando condições iniciais e de contorno em sólidos com geometria definida, infinita ou semi-infinita (placas, cilindros, esferas). A solução analítica de Crank (1975) para uma esfera está apresentada na equação 2.

$$RX = \frac{6}{\pi^2} \left[ e^{(-\pi^2 \cdot F_0)} + \frac{1}{4} e^{(-4 \cdot \pi^2 \cdot F_0)} + \frac{1}{9} e^{(-9 \cdot \pi^2 \cdot F_0)} + \dots \right] = f(F_0)_{\text{esfera}} \quad (2)$$

Onde,  $F_0$  é o número de Fourier, determinado a partir da Equação 3.

$$F_0 = \frac{D_{ef} \cdot t}{r^2} \quad (3)$$

Em que,  $D_{ef}$  representa o coeficiente de difusão do líquido aplicável ao movimento através do sólido;  $t$  é o tempo de secagem e  $r$  é o raio da esfera.

E  $RX$  é a unidade adimensional determinada pela Equação 4, a partir de dados experimentais.

$$RX = \frac{\bar{X}_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (4)$$

Em que,  $\bar{X}_t$  representa a umidade em cada intervalo de tempo;  $X_{eq}$  é a umidade de equilíbrio após certo tempo de reidratação;  $X_0$  representa a umidade inicial do sólido;

Para o caso em que os sólidos não apresentam uma forma geometria definida, pode-se utilizar a Equação 2 de maneira modificada. Hebbar e Rastogi (2001) e Falade e Abbo (2007), ao estudarem a cinética de secagem de castanhas de caju e a de secagem/reidratação de tâmaras, ao verificarem que o formato dos sólidos não era perfeitamente esférico, utilizaram a Equação (2) de forma modificada conforme representado na Equação (5), nesse estudo, a Lei de Fick representou de forma satisfatória os dados experimentais de secagem e reidratação.

$$RX = \frac{\bar{X}_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-n^2 \pi^2 \frac{D_{ef} \cdot t}{\psi^2 R_{eq}^2}\right) \quad (5)$$

Em que,  $\bar{X}_t$  é a umidade em cada intervalo de tempo;  $X_{eq}$  é a umidade de equilíbrio após certo tempo de secagem/reidratação,  $X_0$  é a umidade inicial do

sólido;  $R_X$  é o adimensional de umidade;  $R_{eq}$  é o raio equivalente, em cm;  $\psi$  é a esfericidade;  $D_{ef}$  é o coeficiente de difusão efetivo da água durante a reidratação, em  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Além da Lei de Fick, existem outros modelos empíricos e/ou semi-empíricos que são utilizados para descrever o processo de difusão da água durante a secagem e que apesar de não ser usual podem ser usados para estudar a cinética de reidratação das *berreis*.

O método empírico é um método de abordagem com base em dados experimentais e na análise adimensional. Os modelos empíricos de secagem apresentam uma relação direta entre o conteúdo médio de umidade e o tempo de secagem (KEEY, 1972). Dentre os modelos empíricos, destacam-se os modelos de Thompson e Wang e Singh (MARTINAZZO et al., 2007).

Os modelos semi-empíricos baseiam-se, geralmente, na lei de resfriamento de Newton aplicada à transferência de massa, presumindo-se que, durante a secagem, as condições sejam isotérmicas e que a transferência de umidade se restrinja à superfície do produto (SYARIEF et al., 1984). Entre os modelos semi-empíricos, o modelo de Dois Termos, o de Henderson e Pabis e o de Page, têm sido amplamente utilizados (PANCHARIYA; POPOVIC; SHARMA, 2002).

### 3.4 COMPORTAMENTO REOLÓGICO

A reologia segundo Tabilo-Munizaga e Barbosa-Cánovas (2005) é a ciência que estuda a forma como os materiais respondem a aplicação de uma tensão ou deformação.

Conforme Streeter et al. (1909), um fluido é definido como sendo uma substância que se deforma continuamente quando submetido a uma tensão de cisalhamento constante.

De acordo com o comportamento reológico, os fluidos podem ser divididos em duas categorias: newtonianos e não newtonianos. Os newtonianos apresentam relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de

deformação. Além disso, são fluidos em que a viscosidade dinâmica ( $\mu$ ) é independente da taxa de deformação (gradiente de velocidade), isto é, a viscosidade permanece constante para cada fluido newtoniano, a uma dada pressão e temperatura. A Equação (6) dada a seguir, representa matematicamente o comportamento reológico dos fluidos newtonianos (STEFFE, 1996).

$$\tau = \mu (\dot{\gamma}) \quad (6)$$

Onde,  $\tau$  representa a tensão de cisalhamento (Pa·s);  $\mu$  a viscosidade absoluta (Pa·s); e  $\dot{\gamma}$  a taxa de deformação ( $s^{-1}$ ).

Os fluidos não newtonianos dividem-se em dependentes de tempo (reopéticos e tixotrópicos) e independentes de tempo (pseudoplásticos, dilatantes, plásticos Bingham e Herschel-Bulkley), nos quais a viscosidade varia com o aumento da taxa de deformação (STEFFE, 1996).

Segundo Toneli, Muur e Park (2005) os fluidos plásticos de Bingham, após uma tensão inicial apresentam uma relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação, e com isso a viscosidade permanece constante.

Em fluidos dilatantes, a viscosidade aparente aumenta com o aumento da taxa de deformação. Já os fluidos pseudoplásticos apresentam diminuição da viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento (STEFFE, 1996).

De acordo com Toneli, Muur e Park (2005) os fluidos tixotrópicos apresentam decréscimo na viscosidade aparente com o tempo de aplicação da tensão, enquanto os reopéticos possuem acréscimo na viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação. No entanto, após o repouso, esses fluidos tendem a retornar ao seu comportamento reológico inicial.

O conhecimento das propriedades reológicas de produtos alimentares é fundamental para os processos de concepção e avaliação de equipamentos, refletindo-se no projeto de tubulações, bombas, trocadores de calor, evaporadores, esterilizadores e misturadores. O estudo reológico é importante

para identificar o comportamento do alimento sob diferentes condições de processamento (AHMED; RAMASWAMY; HIREMATH, 2005).

As propriedades reológicas, segundo Leite et al. (2004), além de ser essencial para o projeto de equipamentos serve como um parâmetro de grande importância para o controle de qualidade de alimentos. São utilizadas para avaliar a textura e mudanças físico-químicas que ocorrem durante o processamento e armazenamento de alimentos.

### 3.5 TEXTURA

A determinação da textura dos alimentos é um parâmetro de fundamental importância para se ter o controle dos processos e garantir a qualidade dos produtos (OLIVEIRA, 2016).

O processo de desidratação e reidratação acarreta mudança na estrutura física dos produtos (LEE; FARID; NGUANG, 2006). Por isso, o estudo do perfil de textura nesse tipo de produto se torna indispensável para verificar a influência destas operações sobre a qualidade das *berries*.

A textura é definida como sendo o conjunto de todas as propriedades reológicas e estruturais (geométricas e de superfície) de um alimento, perceptíveis pelos receptores mecânicos, táteis e eventualmente pelos receptores visuais e auditivos (ABNT, 1993).

Um dos métodos instrumentais que é muito utilizado para determinar os parâmetros de textura nos alimentos é o TPA (*Texture Profile Analysis*). Esse método determina o perfil de textura através da simulação da mastigação por meio de um procedimento que realiza um ciclo duplo de compressão vertical em uma amostra. Dentre os parâmetros avaliados no TPA encontram-se: dureza, elasticidade, coesividade, adesividade, fraturabilidade, gomosidade, e mastigabilidade (CHEN; OPARA, 2013).

Segundo Gunasekaran e Ak (2003), a dureza é a força necessária para atingir uma dada deformação. A elasticidade é grau em que a amostra retorna à

sua forma original após a compressão. A coesividade define a resistência das ligações internas que compõem o corpo do produto. A adesividade corresponde a uma força negativa devido ao trabalho necessário para superar a força de atração entre o alimento e a sonda. A fraturabilidade é registrada quando dois picos de força são identificados no primeiro ciclo de análise, sendo que a fratura corresponde ao primeiro. A gomosidade relaciona-se com a força necessária para desintegrar uma amostra semissólida, enquanto que a mastigabilidade é o trabalho necessário para mastigar uma amostra sólida (CHEN; OPARA, 2013).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS

As *blackberries* desidratadas foram obtidas em um comércio especialista em produtos naturais, localizado no estado de São Paulo.

O leite integral UHT, utilizado no processo de reidratação foi adquirido em um supermercado da cidade de Medianeira-PR.

### 4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 4.2.1 Análises físico-químicas

Para a caracterização físico-química das *berries* desidratadas, e das reidratadas em leite e em água destilada, a 29 °C por um período de 45 minutos foram realizadas as seguintes análises: umidade, atividade de água, proteínas e cinzas, todas em triplicata.

O tempo (45 minutos) e a temperatura (29 °C) de reidratação foram determinados com base na análise da cinética do processo de reidratação, conforme item 4.2.3 do capítulo de resultados.

A umidade foi determinada gravimetricamente em estufa (marca Cienlab) a 105 °C até obter peso constante, segundo a metodologia proposta pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008).

A atividade de água foi determinada através do equipamento medidor de atividade de água (modelo 4ET, marca AquaLab, USA).

O teor de proteínas foi determinado pelo método de Kjeldhal utilizando sulfato de cobre e sulfato de potássio como catalisadores na digestão e ácido



bórico como solução receptora da amônia na destilação, de acordo com o método descrito pela AOAC (1995).

O teor de cinzas foi determinado em mufla (Modelo 0612, marca Jung, Blumenau, SC - Brasil), a 550 °C até obtenção de um resíduo branco ou ligeiramente acinzentado, de acordo com método descrito pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008).

Para a análise dos resultados foi efetuado análise de variância (ANOVA) e, para os estatisticamente significativos, aplicou-se o teste de Tukey a um nível de 5 % de significância, para verificar entre quais parâmetros físico-químicos houve diferença significativa entre as médias. Para isso, foi utilizado o *Excel* (Office 2010).

#### 4.2.2 Cinética de reidratação e modelagem matemática

O processo de reidratação das *blackberries* desidratadas foram realizadas segundo a metodologia adaptada de Falade e Abbo (2007) e Vega-Gálvez et al. (2008), em água destilada e em leite. Em água destilada a reidratação foi realizada em três diferentes temperaturas: ( $10 \pm 2$  °C), ( $29 \pm 2$  °C) e a ( $45 \pm 2$  °C). Em leite a reidratação foi efetuada em duas temperaturas: ( $10 \pm 2$  °C) e a ( $29 \pm 2$  °C). O estudo de reidratação em leite na temperatura de 45 °C não foi realizado, pois nessas condições poderia haver modificação nas propriedades do leite. Todas as análises foram efetuadas em triplicata, em béqueres na proporção de 1:40 (massa de fruta: massa de fluido).

Para tanto, inicialmente foram pesados 10 gramas das *blackberries* desidratadas em béqueres, em seguida foram adicionados 400 mL de água/leite. A reidratação nas temperaturas ( $10 \pm 2$  °C), ( $29 \pm 2$  °C) e a ( $45 \pm 2$  °C), foram realizadas com o auxílio de uma geladeira (modelo DF50, marca Brastemp), BOD (Cienlab, Campinas - SP, Brasil) e uma estufa (Marca Nova ética), respectivamente.

Durante a reidratação foram efetuadas sucessivas pesagens, de 15 em 15 minutos até atingir uma hora de reidratação, de 30 em 30 minutos nas

primeiras 3 horas de processo e de hora em hora até completar oito horas de reidratação. As umidades de equilíbrio foram determinadas após 30 horas de reidratação das *blackberries*. Antes da pesagem das amostras foi realizada a remoção da umidade superficial das frutas com papel absorvente.

A partir desse ganho de massa obtido ao longo do tempo de reidratação, foram calculados os adimensionais de umidade (RX) utilizando a Equação 4. Por meio disso, foram determinados as constantes e os coeficientes dos modelos presentes na Tabela 2, com o auxílio do *software* STATÍSTICA 7.0, que utiliza o método dos quadrados mínimos (Gauss-Newton), para ajustar os dados experimentais, com um critério de convergência de  $1 \cdot 10^{-6}$ .

**Tabela 2** – Modelos matemáticos utilizados para prever a cinética de reidratação (água e leite) das *blackberries* desidratadas

Modelo		
Lei de Fick modificada	$RX = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-n^2 \pi^2 \frac{D_{ef} t}{\psi^2 R_{eq}^2}\right)$	(7)
Aproximação da Difusão	$RX = ae^{-kt} + (1 - a)e^{-kbt}$	(8)
Exponencial de Dois Termos	$RX = ae^{-kt} + (1 - a)e^{-kat}$	(9)
Henderson e Pabis Modificado	$RX = ae^{-kt} + be^{-k_0 t} + c^{-k_1 t}$	(10)
Henderson e Pabis	$RX = ae^{-kt}$	(11)
Logarítmico	$RX = ae^{-kt} + c$	(12)
Midilli	$RX = ae^{-kt^n} + bt$	(13)
Newton	$RX = e^{-kt}$	(14)
Page	$RX = e^{-kt^n}$	(15)
Thompson	$RX = e^{\frac{-a-(a^2+4bt)^{0,5}}{2b}}$	(16)
Verma	$RX = ae^{-kt} + (1 - a)e^{-k_1 t}$	(17)
Wang e Sing	$RX = 1 + at + bt^2$	(18)

Em que: RX representa o adimensional de umidade; t, o tempo de reidratação, em mim; k,  $k_0$  e  $k_1$  são as constantes de reidratação, em  $t^{-1}$ ; a, b, c e n são os coeficientes dos modelos;  $R_{eq}$  é o raio equivalente, em cm;  $\psi$  é a esfericidade;  $D_{ef}$  é o coeficiente de difusão efetivo da água ou do leite durante a reidratação das *berries*, em  $cm^2 \cdot mim^{-1}$ . **Fonte:** Autoria Própria (2018).

Para encontrar as constantes e os coeficientes do modelo da Lei de Fick, Equação 7, foi utilizado os 10 primeiros termos da solução integrada de Crank (1975) para uma esfera, Equação 5. Para tanto, para o presente estudo, as *blackberries* foram consideradas como esferas, para isso, foi inserido a esfericidade no seu equacionamento, como proposto por Falade e Abbo (2007) e Hebbar e Rastogi (2001).

A esfericidade das *blackberries* foi determinada segundo Falade e Abbo (2007) e Hebbar e Rastogi (2001), para isso foram medidos o comprimento (a) e a largura (b) de algumas frutas durante a reidratação, a partir da média desses dados, foi calculado o raio equivalente ( $R_{eq}$ ) e a esfericidade das frutas ( $\Psi$ ), através das Equações 19 a 25, conforme representadas, abaixo.

$$R_e = \frac{3V_p}{S_p} = \Psi R_{eq} \quad (19)$$

$$V_p = \frac{4}{3}\pi a^2 b \quad (20)$$

$$S_p = 2\pi a^2 + \left(\frac{\pi b^2}{e}\right) \ln\left(\frac{1+e}{1-e}\right) \quad (21)$$

$$e = \left[1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2\right]^{1/2} \quad (22)$$

$$S_e = 4\pi R_e^2 \quad (23)$$

$$\Psi = \frac{S_e}{S_p} \quad (24)$$

$$R_{eq} = \frac{R_e}{\Psi} \quad (25)$$

Sabendo que,  $R_e$  é raio equivalente,  $V_p$  e  $S_p$  são o volume e a área superficial da fruta;  $\Psi$  é a esfericidade das blackberries;  $R_{eq}$  é o raio equivalente das frutas; e é a excentricidade e  $S_e$  é a área superficial da esfera.

Para cada um dos coeficientes de difusão efetivos da água/leite obtidos pelo *software* STATÍSTICA 7.0, aplicou-se análise de variância (ANOVA) e, para os estatisticamente significativos, aplicou-se o teste de Tukey para verificar entre quais parâmetros houve diferença significativa entre as médias, com auxílio do *Excel* (Office 2010).

Através dos valores das constantes e dos coeficientes encontrados pelo *software* STATÍSTICA 7.0 foram calculados os valores de RX preditos pelos modelos presentes da Tabela 2.

Desta forma, para verificar se houve um bom ajuste dos modelos teóricos aos dados experimentais, foram calculados os seguintes parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), raiz do erro médio quadrático (RMSE) e os valores do erro médio relativo (P), por meio do *Excel* (Office 2010), conforme as equações 26 e 27, representadas a seguir.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(RX_{cal} - RX_{exp})^2}{n}} \quad (26)$$

Onde,  $RX_{cal}$  é o valor do adimensional calculado pelo modelo;  $RX_{exp}$  é o valor do adimensional calculado experimentalmente e  $n$  é o número de observações experimentais.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^N \frac{|RX_{exp} - RX_{cal}|}{RX_{exp}} \quad (27)$$

Em que,  $RX_{exp}$  é o valor do adimensional calculado experimentalmente;  $RX_{cal}$  é o valor do adimensional calculado pelo modelo e  $n$  é o número de observações experimentais.

Segundo Rudy et al. (2015) quando os valores de  $R^2$  estiverem próximos de 1, e os índices de RMSE de acordo com Ferreira (2011) próximos de zero, isso indica que houve um bom ajuste dos modelos aos dados experimentais. Além disso, segundo Krokida e Marinos-Kouris (2003), quando o erro médio relativo apresentar valores inferiores a 10 % há indicativo de que houve um ajuste admissível para fins práticos.

#### 4.2.3 Reometria

A análise reológica das suspensões das *blackberries* reidratadas, foi determinada segundo a metodologia adaptada de Nindo et al. (2007) e Kechinski et al. (2011) utilizando um viscosímetro rotacional de cilíndricos concêntricos (modelo DV – III ULTRA, marca Brookfield, Middleboro – MA, USA) apresentado na Figura 4. Para isso, as *blackberries* foram reidratadas em água destilada na temperatura de 29 °C, em uma BOD (Cienlab, Campinas - SP, Brasil), por um período de 45 minutos. Após a reidratação, foi realizado o preparo das suspensões das frutas, para tanto, foram pesados 10, 20 e 30 gramas das *berries* em béqueres, em seguida foram adicionados 100 mL de água destilada. Depois disso, as *blackberries* foram trituradas, com auxílio de um *mixer* para alimentos (da marca Black & Decker, Towson – MD USA), a fim de obter as suspensões. Esse procedimento foi realizado imediatamente antes de cada análise.



**Figura 4** – Viscosímetro rotacional de cilíndricos concêntricos utilizado para determinar as propriedades reológicas das suspensões das *blackberries* reidratadas em água a 29 °C por 45 minutos.

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Para avaliar a influência da concentração de sólidos e da temperatura no comportamento reológico das suspensões das *blackberries* foi utilizado um planejamento fatorial completo  $2^2$  com três pontos centrais.

Para isso, os dados de tensão de cisalhamento e da taxa de deformação, das suspensões nas concentrações de 10 e 30 gramas de sólidos, foram determinados na temperatura de 20 °C e 60 °C e para 20 gramas de sólidos foi determinado na temperatura de 40 °C, para essa temperatura foi efetuado a análise reológica em triplicata, por ter sido designado como ponto central.

Antes da obtenção dos dados, o viscosímetro foi calibrado a fim de permitir o equilíbrio da amostra com a temperatura escolhida. Os parâmetros experimentais foram determinados aplicando-se um torque de 100 a 200 RPM e entre uma leitura e utilizou-se um passo de 12,5 segundos. Para as análises reológicas realizadas nas concentrações de 10 a 20 % de sólidos foi utilizado o spindle SC4-31, e para as concentrações de 30 % foi utilizado o spindle SC4-25.

Para obter a representação do comportamento reológico das suspensões das *blackberries*, foram utilizados 6 modelos matemáticos, conforme representado na Tabela 3, a seguir:

**Tabela 3** – Modelos matemáticos usados para prever o comportamento reológico das suspensões das *blackberries* reidratadas em água a 29 °C por 45 minutos.

Modelo		
Newton	$\tau = \mu \dot{\gamma}$	(28)
Ostwald de Waelle ou Lei da Potência	$\tau = K \dot{\gamma}^n$	(29)
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + K_H \dot{\gamma}^{n_H}$	(30)
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + K_c \dot{\gamma}^{0,5}$	(31)
Bingham	$\tau = \tau_0 + \mu_c \dot{\gamma}$	(32)
Sisko	$\eta_a = \eta_\infty + K_s \dot{\gamma}^{n_s - 1}$	(33)

Em que:  $\tau$  é a tensão de cisalhamento, em Pa;  $\tau_0$  é a tensão de cisalhamento inicial, em Pa;  $\dot{\gamma}$  é a taxa de deformação, em  $s^{-1}$ ;  $\mu$  é a viscosidade, em Pa·s;  $\eta_a$  é a viscosidade aparente, em Pa·s;  $\eta_\infty$  é a viscosidade a uma taxa de deformação infinita, em Pa·s; K,  $K_H$ ,  $K_c$ ,  $K_s$ , n,  $n_H$ ,  $n_s$  são as constantes reológicas (índices de comportamento e consistência dos fluidos). **Fonte:** Autoria Própria (2018).

Depois de obtido as tensões de cisalhamento, as taxas de deformação e os valores da viscosidade experimentais, foram determinados as constantes dos modelos, isso foi feito com auxílio do *software* STATÍSTICA 7.0, por meio da regressão não-linear, através do método dos quadrados mínimos (Gauss-Newton), utilizando um critério de convergência de  $1 \cdot 10^{-6}$ .

Para verificar se houve um bom ajuste dos dados experimentais com o modelo, foram calculados os seguintes parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), raiz do erro médio quadrático (RMSE, Equação 26) e os valores do erro médio relativo (P, Equação 27), e o *bias factor* ( $B_f$ ) conforme representado na Equação 34. Para isso, foi utilizado o *software* Excel (Office 2010).

$$B_f = \left[ 10^{\frac{\sum \log \frac{y_c}{y_m}}{n}} \right] \quad (34)$$

Visto que:  $y_c$  é o valor predito pelo modelo;  $n$  é o número de observações experimentais e  $y_m$  é o valor experimental.

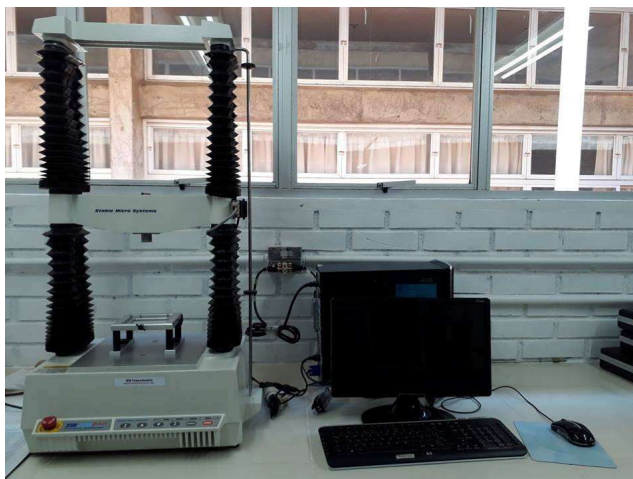
O *bias factor* ( $B_f$ ) avalia o acordo global entre os valores observados e preditos, verificando se tais predições encontram-se acima ou abaixo da linha de equivalência. Uma perfeita concordância entre os valores observados e preditos fornecem um  $B_f$  de 1.0 (BETTS; WALKER, 2004).

#### 4.2.4 Perfil de textura

O perfil de textura das *blackberries* desidratadas e das reidratadas em leite e água destilada por 45 minutos a 29 °C foi determinado segundo a metodologia adaptada de Giongo et al. (2013) e Jridi et al. (2015), com auxílio de um texturômetro universal (modelo TA-HD PLUS, marca Stable Microsystems, Godalming – Surrey, Inglaterra), apresentado na Figura 5. Nestes ensaios foi utilizada uma carga de célula de 5 kg, um probe cilíndrico de 12,7 mm de

diâmetro e com as seguintes configurações instrumentais: pré-velocidade de compressão de 1 mm/min; velocidade de compressão de 1 mm/min e pós-velocidade de compressão de 5 mm/min. As amostras foram comprimidas duas vezes até 40 % de deformação. Foram avaliadas 6 replicatas de cada amostra. Dentre os parâmetros avaliados foram: dureza, adesividade, elasticidade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência.

Para a análise dos resultados foi efetuado a análise de variância (ANOVA) e, para os estatisticamente significativos aplicou-se o teste de Tukey a um nível de 5 % de significância, para verificar entre quais parâmetros houve diferença significativa entre as médias. Isso foi realizado com auxílio do Excel (*Office* 2010).



**Figura 5** – Texturômetro universal, utilizado para determinar a textura das *blackberries* na forma desidratada e reidratada (leite e água).  
**Fonte:** Autoria Própria (2018).





## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Na Tabela 4, estão apresentadas as características físico-químicas das *blackberries* desidratadas e das reidratadas em leite e em água a 29 °C por um período de 45 minutos.

**Tabela 4** – Características físico-químicas das *blackberries* desidratadas e das reidratadas em leite e em água a 29 °C por 45 minutos

Amostra	Umidade (%)	Cinzas (%)	Proteínas (%)	Atividade de água
Desidratada	18,28 ± 0,414 <sup>b</sup>	1,39 ± 0,097 <sup>a</sup>	2,57 ± 0,194 <sup>a</sup>	0,56 ± 0,005 <sup>c</sup>
Reidratada em água	47,48 ± 4,084 <sup>a</sup>	0,81 ± 0,060 <sup>c</sup>	1,97 ± 0,562 <sup>a</sup>	0,97 ± 0,003 <sup>a</sup>
Reidratada em leite	42,61 ± 0,884 <sup>a</sup>	1,10 ± 0,034 <sup>b</sup>	2,40 ± 0,277 <sup>a</sup>	0,95 ± 0,006 <sup>b</sup>

Médias marcadas com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente entre si ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey. **Fonte:** Autoria Própria (2018).

Observa-se na Tabela 4, que o teor de umidade e da atividade de água das *blackberries* na forma desidratada apresentou valores significativamente menores quando comparadas com as *blackberries* reidratadas, como o esperado. Comportamento semelhante foi verificado no estudo realizado por Lenhard, Garcia e Ciolin (2016), que ao avaliarem o teor de umidade e de atividade de água em *cranberries* desidratadas encontraram teores de  $19,98 \pm 0,40$  e  $0,5962 \pm 0,0174$ , respectivamente.

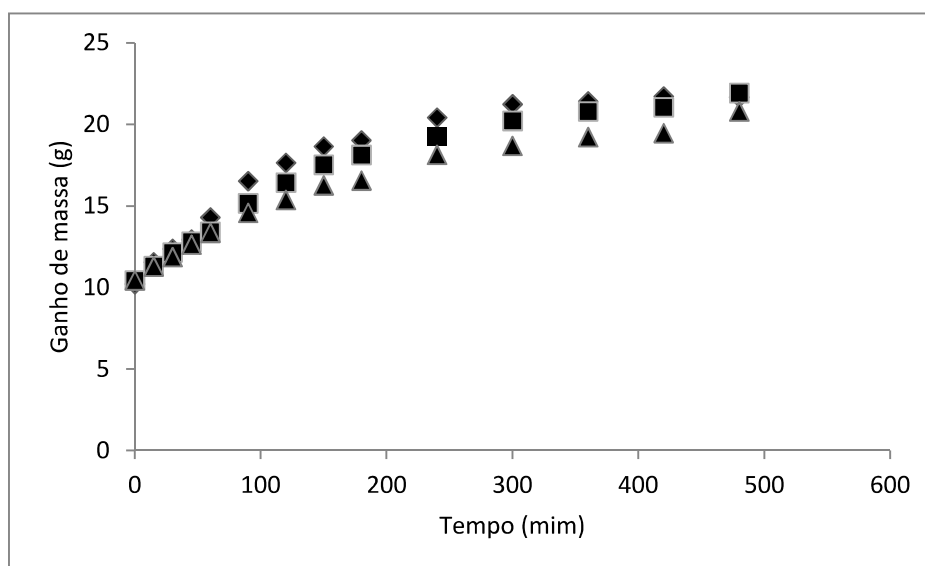
Além disso, verifica-se na Tabela 4, que o teor de cinzas das *blackberries* reidratadas em leite e em água foi significativamente menor quando comparadas com as *blackberries* desidratadas. Isso sugere que durante o processo de reidratação houve transferência de minerais para o meio. O teor de cinzas foi maior nas *blackberries* reidratadas em leite do que às reidratadas em água, uma vez que durante o processo de reidratação pode ter ocorrido à difusão de minerais do leite para as *berries*.

Em relação ao teor de proteínas nota-se que após a reidratação tanto em leite quanto em água não apresentaram diferenças significativas quando comparadas com a fruta desidratada, indicando que não houve perda de proteínas devido ao processo de reidratação.

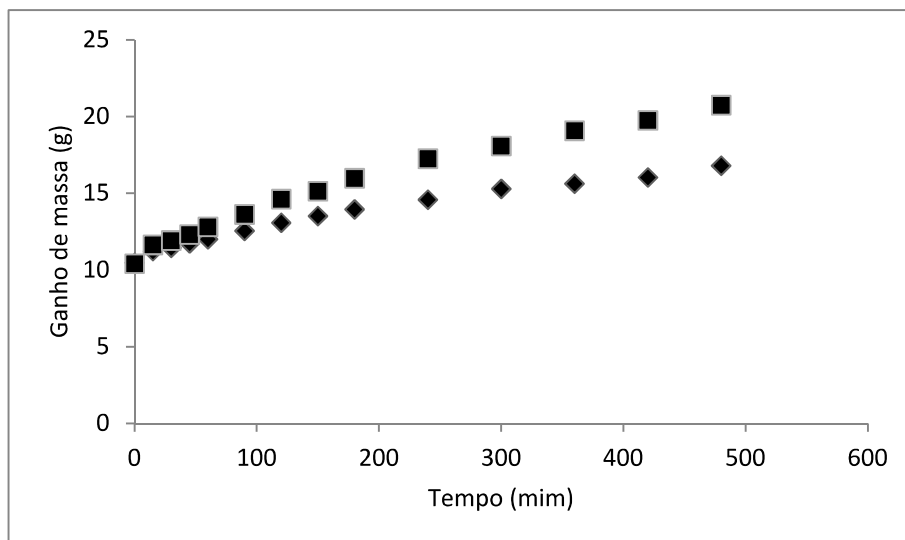
## 5.2 CINÉTICA DE REIDRATAÇÃO E MODELAGEM MATEMÁTICA

Ao avaliar o ganho de massa adquirido pelas *blackberries* reidratadas em água, pode-se notar no Gráfico 1, que o ganho de massa se apresenta mais acentuado ao longo dos 100 primeiros minutos e que após 360 minutos o processo se torna ineficiente, uma vez que as *berries* passam a perder massa. Durante o processo de reidratação a estrutura das *berries* sofrem danificações, isso pode ter sido o fator que ocasionou à perda de massa das frutas.

Com relação à reidratação em leite, observa-se no Gráfico 2, que o ganho de massa apresentou-se mais linear, não observando-se perda de massa em nenhum dos tempos.



**Gráfico 1** – (▲) Ganho de massa adquirido pelas *berries* reidratadas em água a 10°C; (●) Ganho de massa adquirido pelas *berries* reidratadas em água a 29°C; (■) Ganho de massa adquirido pelas *berries* reidratadas em água a 45°C. **Fonte:** Aatoria Própria (2018).



**Gráfico 2** – (◆) Ganho de massa adquirido pelas *berries* reidratadas em leite a 10 °C; (■) Ganho de massa adquirido pelas *berries* reidratadas em leite a 29 °C. **Fonte:** Autoria Própria (2018).

Para tanto, tendo em vista que longos tempos de reidratação não seriam usuais na prática, se definiu um tempo de reidratação de 45 minutos e a temperatura de 29 °C foi definida como a mais apropriada, por apresentar menor gasto energético.

Na Tabela 5, estão representados os valores dos coeficientes de difusão determinados através do modelo da Lei de Fick, que descrevem o processo de reidratação em leite e água da *blackberries* desidratadas.

**Tabela 5** – Coeficientes de difusão determinados através do modelo da Lei de Fick, que descrevem o processo de reidratação em leite e água das *blackberries* desidratadas

	Temperatura (°C)	Def (cm <sup>2</sup> ·mim <sup>-1</sup> )
Água	10	$1,35 \cdot 10^{-4ab} \pm 3,22 \cdot 10^{-5}$
	29	$1,56 \cdot 10^{-4ab} \pm 3,65 \cdot 10^{-5}$
	45	$2,53 \cdot 10^{-4a} \pm 1,13 \cdot 10^{-4}$
Leite	10	$8,60 \cdot 10^{-5b} \pm 1,08 \cdot 10^{-5}$
	29	$1,55 \cdot 10^{-4ab} \pm 3,44 \cdot 10^{-5}$

Médias marcadas com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente entre si ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey. **Fonte:** Autoria Própria (2018).

Observa-se, na Tabela 5, que a difusão da água não aumentou conforme o aumento da temperatura de reidratação, uma vez que não houve diferença significativa entre as médias. Assim como para a água, a difusividade em leite, para as duas temperaturas de reidratação não apresentaram diferenças significativas entre as médias. Apenas, o coeficiente de difusão da água na temperatura de 45 °C apresentou aumento significativo, quando relacionado com o do leite na temperatura de 10 °C.

Já no estudo realizado por Lenhard, Garcia e Ciolin (2016) verificaram durante o processo de reidratação (água e leite) de *cranberries* desidratadas que o coeficiente de difusão aumenta com o aumento da temperatura de reidratação:  $8,33 \cdot 10^{-5}$  (10 °C),  $9,35 \cdot 10^{-5}$  (29 °C) e  $1,25 \cdot 10^{-4}$  (45 °C)  $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$  em água e  $1,21 \cdot 10^{-4}$  (10 °C) e  $1,50 \cdot 10^{-4}$  (29 °C)  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  em leite. Do mesmo modo, Maldonado, Arnau e Bertuzzi (2010), ao estudarem a reidratação de mangas desidratadas (osmoticamente em sacarose e glicose), verificaram que o coeficiente de difusão da água aumenta conforme o aumento da temperatura de reidratação:  $1,24 \cdot 10^{-10} \pm 0,03$  (25 °C),  $1,6 \cdot 10^{-10} \pm 0,2$  (40 °C)  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Os valores dos parâmetros estatísticos determinados para verificar o ajuste dos modelos cinéticos de reidratação, aos dados experimentais da reidratação em água das *blackberries* desidratadas estão apresentados nas Tabelas 6 a 8.

**Tabela 6** – Parâmetros estatísticos utilizados para avaliar o ajuste dos modelos aos dados experimentais da reidratação em água das *blackberries* desidratadas a 10 °C

Modelo	Temperatura		
	10 °C		
	R <sup>2</sup>	P	RMSE
Lei de Fick	0,76	6,47	0,045
Aproximação da difusão	0,98	1,10	0,010
Exponencial de dois termos	0,54	7,89	0,061
Henderson e Pabis modificado	0,99	8,61	0,066
Logarítmico	0,98	1,38	0,011
Newton	0,40	10,72	0,080
Verma	0,98	18,50	0,142
Henderson e Pabis	0,57	9,16	0,074
Page	0,89	5,88	0,046

Os Modelos de Midilli, Thompson e Wang e Sing tiveram solução degenerada. **Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 7** – Parâmetros estatísticos utilizados para avaliar o ajuste dos modelos aos dados experimentais da reidratação em água das *blackberries* desidratadas a 29 °C

Modelo	Temperatura		
	29 °C		
	R <sup>2</sup>	P	RMSE
Lei de Fick	0,74	7,02	0,049
Aproximação da difusão	1,00	0,92	0,007
Exponencial de dois termos	0,55	8,43	0,061
Logarítmico	0,99	1,00	0,007
Newton	0,42	11,55	0,082
Verma	1,00	15,53	0,117
Henderson e Pabis	0,56	9,11	0,074
Page	0,87	7,44	0,054

Os Modelos de Henderson e Pabis modificado, Midili, Thompson e Wang e Sing tiveram solução degenerada. **Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 8** – Parâmetros estatísticos utilizados para avaliar o ajuste dos modelos aos dados experimentais da reidratação em água das *blackberries* desidratadas a 45 °C

Modelo	Temperatura		
	45 °C		
	R <sup>2</sup>	P	RMSE
Lei de Fick	0,64	8,35	0,0533
Aproximação da difusão	0,99	3,06	0,0233
Exponencial de dois termos	0,37	14,16	0,0900
Henderson e Pabis modificado	0,99	139,89	0,7614
Logarítmico	0,99	2,68	0,0200
Verma	0,99	28,48	0,1673
Henderson e Pabis	0,55	12,1370	0,0910
Page	0,89	5,74	0,0510

Os Modelos de Newton, Midili, Thompson, Wang e Sing tiveram solução degenerada. **Fonte:** Autoria Própria (2018).

Ao analisar as Tabelas 6 a 8, nota-se que em todas as temperaturas de reidratação, os modelos que melhor se ajustaram aos dados experimentais foram o da Aproximação da difusão e o de Logarítmico por terem apresentado coeficiente de determinação próximo a 1, e os melhores valores de P e RMSE.

Foram encontrados poucos estudos na literatura que utilizem modelos empíricos e semi-empíricos para descrever o processo de reidratação. Lenhard,

Garcia e Ciolin (2016) ao estudarem a cinética de reidratação de *cranberries* desidratadas, em água, nas temperaturas de 10, 29 e 45 °C, verificaram que dentre os três modelos utilizados (Lei de Fick modificada, Page e Henderson Pabis) o de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, por ter apresentando os melhores valores de R<sup>2</sup>. Para a temperatura de 10 e 45 °C o valor de R<sup>2</sup> foi igual a 0,98 e para a temperatura de 29 °C foi de 0,99, o que demonstra que apesar das frutas terem forma e características semelhantes, o processo de reidratação não se ajusta de forma semelhante.

Rudy et al. (2015) ao estudarem a cinética de secagem de *cranberries*, nas temperaturas de 30, 50 e 70 °C, verificaram que dentre os modelos utilizados (Newton, Page, Henderson e Pabis, Logarítmico, Wang e Singh, Logístico e Dois Termos) o de Logarítmico foi uns dos modelos que melhor se ajustou aos dados experimentais, pois apresentaram valores de R<sup>2</sup> acima de 0,95 (R=0,98) e valores adequados de RMSE e P nas três faixas de temperatura avaliadas, corroborando com o observado no presente estudo.

Os coeficientes dos modelos que melhor se ajustaram aos dados experimentais para a reidratação em água das *blackberries* desidratadas estão apresentados nas Tabelas 9 e 10.

**Tabela 9** – Valores dos coeficientes do modelo da Aproximação da difusão que descrevem a reidratação em água das *blackberries* desidratadas a 10, 29 e 45 °C

Temperatura °C	Modelo	Parâmetro		
		k (mim <sup>-1</sup> )	A	B
10	Aproximação da Difusão	0,0098±0,0009	0,5311±0,0217	0,0045±0,0048
29		0,0100±0,0005	0,5637±0,0117	0,0004±0,0028
45		0,0178±0,0014	0,5829±0,0143	0,0023±0,0026

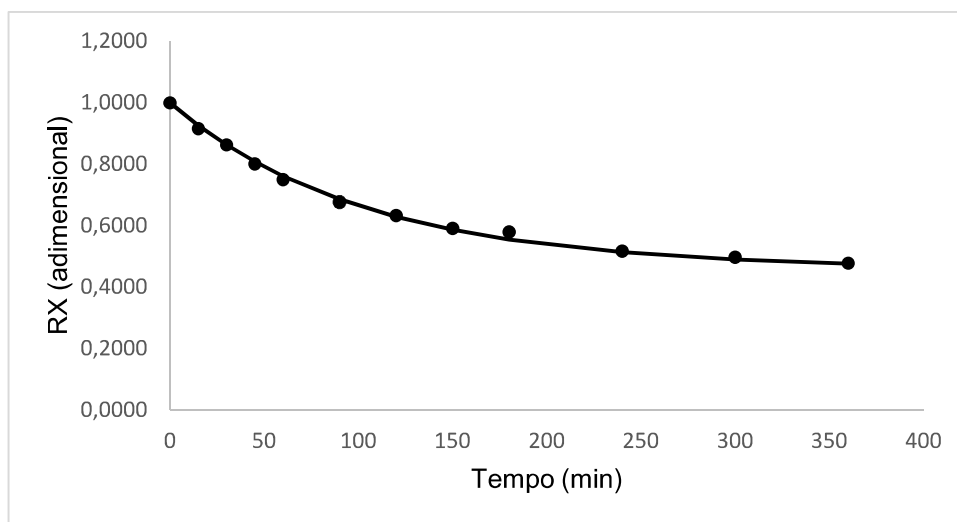
Fonte: Autoria Própria (2018).

**Tabela 10** – Valores dos coeficientes do modelo de Logarítmico que descrevem a reidratação em água das *blackberries* desidratadas a 10, 29 e 45 °C

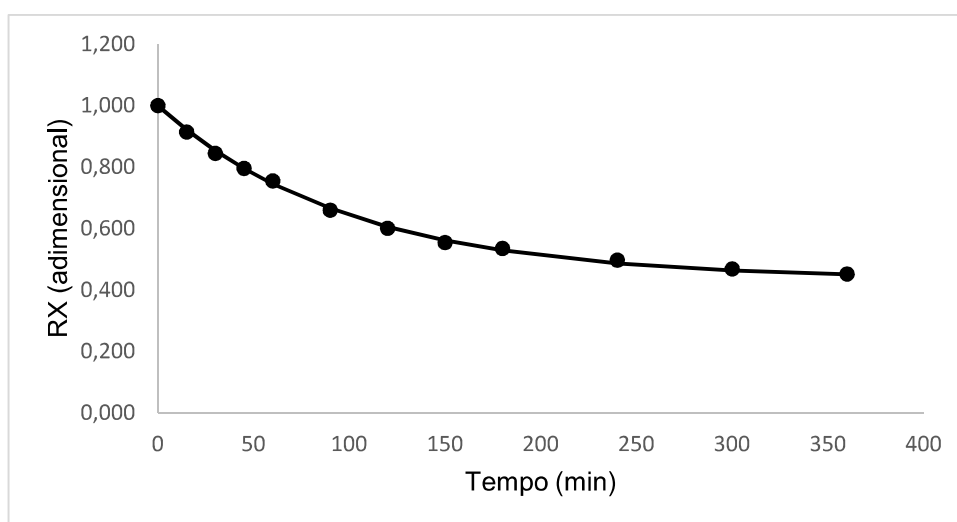
Temperatura °C	Modelo	Parâmetro		
		k (mim <sup>-1</sup> )	a	C
10	Logarítmico	0,0087±0,0008	0,5384±0,0198	0,4466±0,0142
29		0,0098±0,0005	0,5625±0,0116	0,4331±0,0076
45		0,0158±0,0014	0,5760±0,0205	0,4047±0,0099

Fonte: Autoria Própria (2018).

As curvas da cinética da reidratação em água das *blackberries* desidratadas entre valores experimentais e estimados pelos modelos da Aproximação da difusão na temperatura de 10 °C e 29 °C, e o de Logarítmico para a temperatura de 45 °C estão apresentadas nos Gráficos 3 a 5.

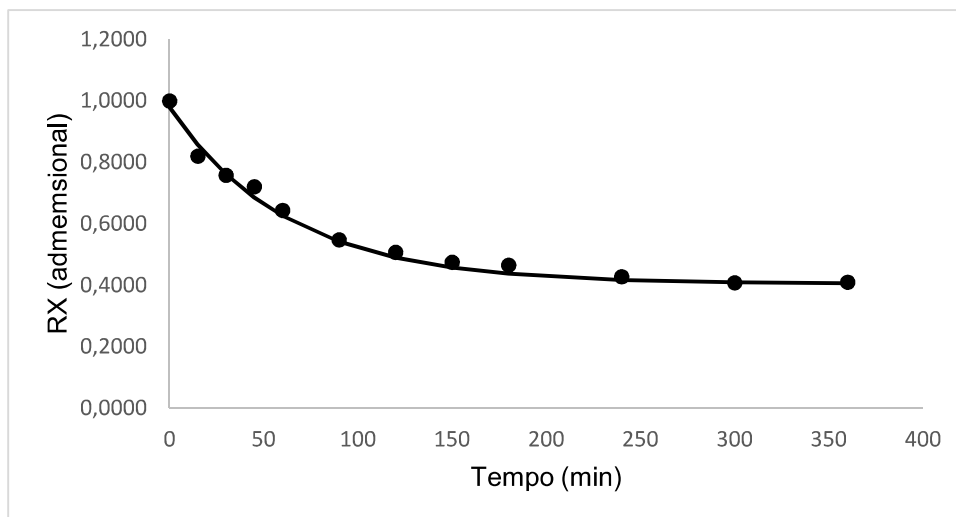


**Gráfico 3** – Valores experimentais do adimensional de umidade (●); e os valores calculados pelo modelo da Aproximação da difusão (—), para a reidratação em água das *blackberries* desidratadas na temperatura de 10°C.  
**Fonte:** Autoria Própria (2018).



**Gráfico 4** – Valores experimentais do adimensional de umidade (●); e os valores calculados pelo modelo da Aproximação da Difusão (—), para a reidratação em água das *blackberries* desidratadas na temperatura de 29 °C.  
**Fonte:** Autoria Própria (2018).





**Gráfico 5** – Valores experimentais do adimensional de umidade (●); e os valores calculados pelo modelo de Logarítmico (—), para a reidratação em água das *blackberries* desidratadas na temperatura de 45 °C.

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

A partir dos Gráficos 3, 4 e 5, pode-se observar que os adimensionais de umidade calculados experimentalmente estão em concordância com os estimados pelos modelos para as três diferentes temperaturas de reidratação, o que indica que houve um bom ajuste dos modelos aos dados experimentais.

Os parâmetros estatísticos utilizados para verificar o ajuste dos modelos da Tabela 2, aos dados experimentais da reidratação em leite das *blackberries* desidratadas estão apresentados nas Tabelas 11 e 12.

**Tabela 11** – Parâmetros estatísticos utilizados para avaliar o ajuste dos modelos aos dados experimentais da reidratação em leite das *blackberries* desidratadas a 10 °C

Modelo	Temperatura		
	10 °C		
	R <sup>2</sup>	P	RMSE
Lei de Fick	0,92	14,27	0,094
Aproximação da difusão	0,99	1,45	0,016
Exponencial de dois termos	0,75	5,62	0,048
Logarítmico	0,99	1,73	0,017
Newton	0,62	7,29	0,061
Verma	0,99	1,43	0,016
Henderson e Pabis	0,77	6,28	0,055
Page	0,97	2,59	0,022

Henderson e Pabis modificado, Midilli, Thompson e Wang e Sing solução degenerada. **Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 12** – Parâmetros estatísticos utilizados para avaliar o ajuste dos modelos aos dados experimentais da reidratação em leite das *blackberries* desidratadas a 29 °C

Modelo	Temperatura		
	29 °C		
	R <sup>2</sup>	P	RMSE
Lei de Fick	0,90	8,76	0,064
Aproximação da difusão	0,99	2,51	0,024
Exponencial de dois termos	0,78	5,56	0,044
Logarítmico	0,99	1,90	0,019
Newton	0,70	6,11	0,066
Verma	0,99	2,56	0,024
Henderson e Pabis	0,79	4,88	0,046
Page	0,95	3,79	0,029

Modelos Henderson e Pabis modificado, Midilli, Thonpson, Wang e Sing solução degenerada.

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Observa-se, na Tabela 11 e 12, que na temperatura de reidratação de 10 e 29 °C os modelos que melhor se ajustaram aos dados experimentais foram o de Verma, da Aproximação da difusão e o de Logarítmico, por apresentarem R<sup>2</sup> = 0,99 e baixos valores de P e RMSE. Os valores dos coeficientes dos modelos que melhor se ajustaram aos dados experimentais, para a reidratação em leite das *blackberries* desidratadas na temperatura de 10 e 29 °C estão apresentados nas Tabelas 13 a 15.

**Tabela 13** – Valores dos coeficientes do modelo da Aproximação da difusão que descrevem a reidratação em leite das *blackberries* desidratadas a 10 e 29 °C

Temperatura °C	Modelo	Parâmetro		
		k (min <sup>-1</sup> )	a	B
10	Aproximação	0,0076±0,0008	0,4283±0,0247	0,0310±0,0047
29	da Difusão	0,0081±0,0008	0,5643±0,0299	0,0199±0,0077

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 14** – Valores dos coeficientes do modelo de Verma que descrevem a reidratação em leite das *blackberries* desidratadas a 10 e 29 °C

Temperatura °C	Modelo	Parâmetro		
		k (min <sup>-1</sup> )	k <sub>1</sub>	A
10	Verma	0,0002±0,00004	0,0076±0,0008	0,5716±0,0247
29		0,0002±0,0001	0,0081±0,0008	0,4357±0,0299

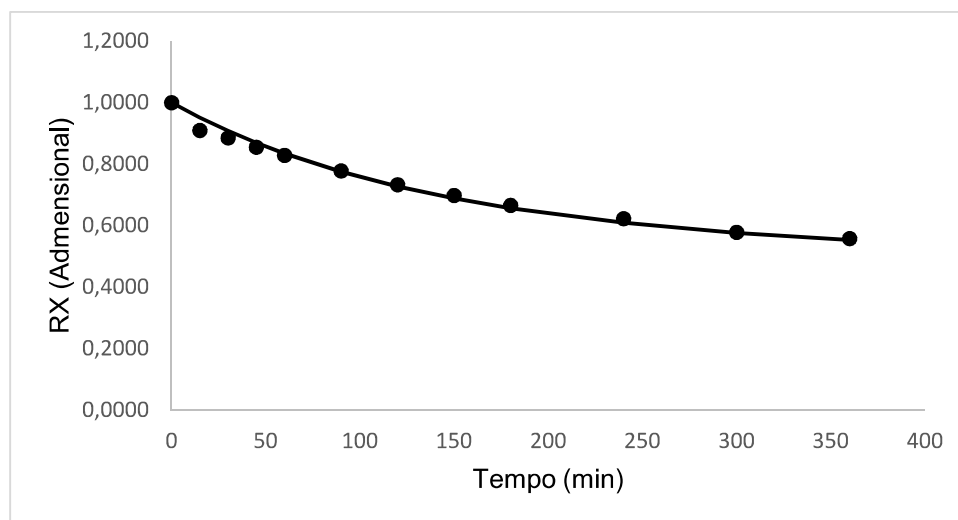
**Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 15** – Valores dos coeficientes do modelo de Logarítmico que descrevem a reidratação em leite das *blackberries* desidratadas a 10 e 29 °C

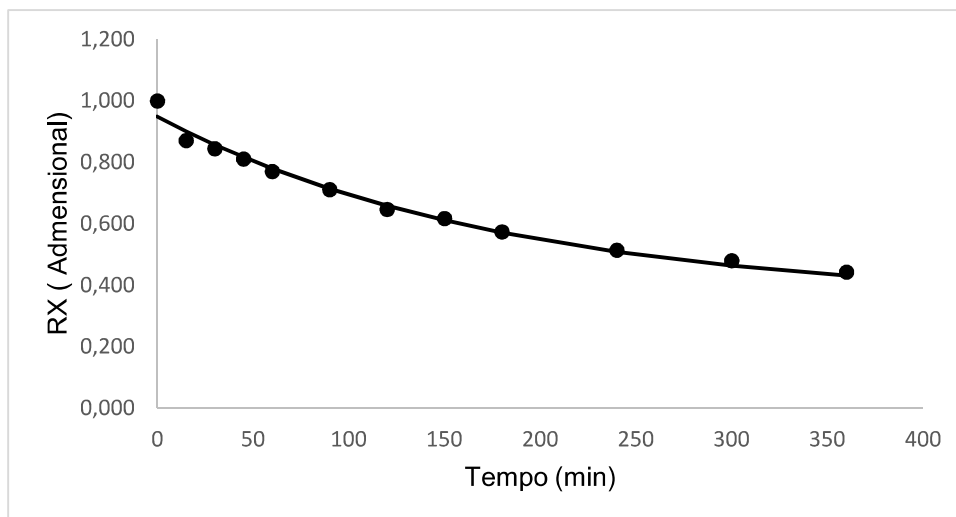
Temperatura °C	Modelo	Parâmetro		
		k (min <sup>-1</sup> )	a	C
10	Logarítmico	0,0039±0,0003	0,5534±0,0200	0,3995±0,0192
29		0,0055±0,0005	0,6008±0,0185	0,3482±0,0169

Fonte: Autoria Própria (2018).

Em relação às curvas da cinética de reidratação em leite das *blackberries* desidratadas entre os valores experimentais e estimados pelo modelo de Verma para a temperatura de 10 °C e o de Logarítmico para a temperatura de 29 °C estão apresentadas nos Gráficos 6 e 7, abaixo.



**Gráfico 6** – Valores experimentais do adimensional de umidade (●); e os valores calculados pelo modelo de Verma (—), para a reidratação em leite das *blackberries* desidratadas na temperatura de 10 °C. Fonte: Autoria Própria (2018).



**Gráfico 7** – Valores experimentais do adimensional de umidade (●); e os valores calculados pelo modelo de Logarítmico (—), para a reidratação em leite das *blackberries* desidratadas na temperatura de 29 °C. **Fonte:** Autoria Própria (2018).

Nos Gráficos 6 e 7, verifica-se que os valores dos adimensionais de umidade calculado experimentalmente estiveram em concordância com os estimados pelo modelo para as temperaturas de 10 e 29 °C, o que indica que houve um bom ajuste dos modelos aos dados experimentais.

### 5.3 REOMETRIA

Os valores dos parâmetros estatísticos determinados para verificar o ajuste dos modelos reológicos de Newton, Lei da Potência ou Ostwald de Waelle, Herschel-Bulkley, Casson, Bingham e Sisko aos dados experimentais de reometria das suspensões das *blackberries* desidratadas nas faixas de concentração e temperatura avaliadas estão apresentados no Apêndice A (Tabela 17 a 23).

O modelo de Newton não teve um bom ajuste aos dados experimentais em nenhuma faixa de concentração e temperatura avaliada. Portanto, o comportamento dos fluidos estudados foi considerado não newtoniano. Haminiuket al. (2005) ao avaliarem o comportamento reológico da polpa de

*blackberries*, também verificaram que o fluido representa um comportamento não newtoniano, por ter apresentado uma desproporcionalidade entre os valores de tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento.

Para a suspensão efetuada com 10 % de sólidos na temperatura de 20 °C, o modelo teórico que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de Casson, por ter apresentado alto coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,99$ ), os menores valores de P e RMSE e o valor ideal de *Bias factor* ( $B_f = 1,00$ ). A suspensão realizada a 10 % a 60 °C, o modelo de Casson também foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, mas para este caso, o ajuste foi razoável, visto que, o coeficiente de determinação encontrado ficou abaixo de 0,95 ( $R^2 = 0,91$ ).

Em relação às suspensões realizadas a 20 % a 40 °C os dados experimentais, referente ao primeiro experimento no ponto central se ajustaram de forma satisfatória ao modelo de Sisko, por ter apresentado  $R^2 = 0,96$ , e os valores ideais de P e RMSE e *Bias factor*. Mas, ao avaliar o segundo e o terceiro experimentos no ponto central verifica-se que nenhum modelo teórico se ajustou aos dados experimentais, por terem apresentados valores inadequados nos parâmetros estatísticos. Logo, o modelo de Sisko não pode ser utilizado para representar o comportamento reológico das *blackberries* nessa faixa de concentração, por não ter se ajustado aos três pontos centrais. Apesar de esse procedimento ter sido repetido várias vezes, nenhum modelo se ajustou aos dados experimentais.

Para a suspensão de sólidos realizada a 30 % a 20 °C, nenhum modelo teórico se ajustou aos dados experimentais. Já a suspensão efetuada a 30 % a 60 °C, o modelo Ostwald de Waelle foi o que apresentou um ajuste razoável, uma vez que o valor de  $R^2$  obtido foi de 0,80. Para este caso, a suspensão apresentou comportamento pseudoplástico, devido o índice de comportamento do fluido ( $n_h$ ) ter apresentado valores menores que 1.

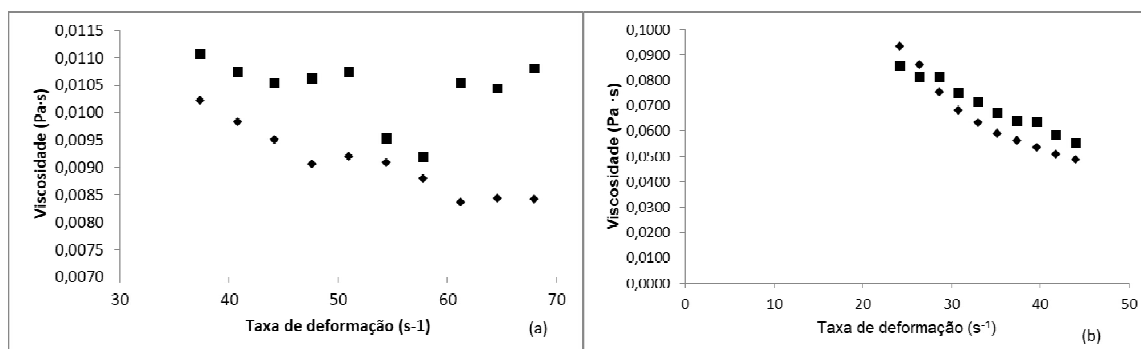
Haminiuk et al. (2005), ao caracterizar o comportamento reológico de polpa de *blackberries* nas temperaturas (10 °C, 20 °C, 30 °C, 40 °C, 50 °C e 60 °C) na concentração de sólido solúveis de 5,37 °Brix, utilizaram cinco modelos matemáticos (Casson, Ostwald-De-Waele, Mizrahi-Berk e Herschel-Bulkley). Ao observarem os parâmetros estatísticos também verificaram que o modelo de

Herschel-Bulkley foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, por ter apresentado valores  $R^2$  mais próximo de 1 (0,98 e 0,99) e os valores de  $X^2$  e RMSE mais próximos de zero. Além disso, constataram que as polpas apresentaram comportamento pseudoplástico, devido o índice de comportamento do fluido ( $n_H$ ) ter apresentado valores menores que 1, para todas as temperaturas avaliadas, corroborando com os resultados obtidos nesse trabalho.

Como não houve ajuste de modelo nos experimentos no ponto central, não foi possível avaliar o resultado do planejamento experimental, pois não houve um modelo que se ajustasse bem para todos os experimentos realizados.

Ao avaliar o comportamento da viscosidade aparente em função da taxa de deformação das suspensões de sólidos realizadas a 10 % e 30 % na temperatura de 20 e 60 °C, apresentado na Figura 6, verifica-se que a viscosidade diminuiu com o aumento da taxa de deformação. Por tanto, sugere-se, novamente, que as suspensões apresentaram comportamento pseudoplástico.

Segundo Alpaslan e Hayta (2002), o decréscimo da viscosidade aparente com aumento da taxa de deformação ocorre devido à mudança estrutural da amostra ocasionada pelas forças hidrodinâmicas e pelo maior alinhamento das moléculas na direção da tensão aplicada.



**Figura 6** – (a) Viscosidade aparente versus taxa de deformação para a suspensão de sólidos das blackberries a 10 % e 20 °C (▲) e 60 °C (●); (b) Viscosidade aparente versus taxa de deformação para a suspensão de sólidos das blackberries a 30 % e 20 °C (●) e 60 °C (■).

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

Para as suspensões de sólidos efetuadas a 10 %, observa-se, que para a temperatura de 20 °C a viscosidade aparente apresentou os menores valores (0,0102 a 0,0084 Pa·s), e a 60 °C os maiores valores (0,0111 a 0,0108 Pa·s). De um modo geral, verifica-se que o aumento da temperatura acarreta o aumento da viscosidade nas suspensões das *berries*. A 30 % de sólidos, os valores da viscosidade aparente variaram de 0,0933 a 0,0486 Pa·s (20 °C) e 0,0854 a 0,0552 Pa·s (60 °C), para este caso, não houve aumento significativo da viscosidade. Resultado semelhante foi encontrado por Sousa et al. (2014) ao estudarem o comportamento reológico de polpas de pequi, os autores verificaram que na concentração de 10 e 12 °Brix de sólidos solúveis, a viscosidade aparente aumentou com aumento da temperatura entre 45 e 50 °C.

É possível ainda, observar que as suspensões de sólidos efetuadas a 20 °C, a 30 % a viscosidade aparente foi significativamente maior que as efetuadas a 10 %. Da mesma forma, as suspensões de sólidos realizadas a 60 °C, a 30 % apresentou viscosidade aparente significativamente maior que as realizadas a 10 %. Isso indica que a viscosidade aumenta com o aumento da concentração das suspensões das *berries*. Nindo et al. (2007), ao avaliarem o comportamento reológico de purês de *blueberries*, também verificaram que com o aumento da concentração dos purês de 15 para 25 °Brix (25 °C), resultaram em um aumento de 0,62 Pa·s na viscosidade aparente.

#### 5.4 PERFIL DE TEXTURA

Os parâmetros médios ( $\pm$  desvio padrão) de textura das *blackberries* desidratadas e das reidratadas em água e em leite a 29 °C por 45 minutos, obtidos através do teste TPA, estão representados na Tabela 5, a seguir.

**Tabela 16** – Parâmetros de textura das *blackberries* desidratadas e reidratadas em água e leite a 29 °C por 45 minutos

Parâmetros	Desidratada	Reidratada em água	Reidratada em leite
Dureza (N)	687,4518±99,4159 <sup>a</sup>	341,8925±85,9053 <sup>b</sup>	521,3355±183,8162 <sup>ab</sup>
Adesividade (N)	- 45,1857±32,5316 <sup>a</sup>	-5,5403±4,1692 <sup>b</sup>	-6,3367±4,2844 <sup>b</sup>
Elasticidade	0,5895±0,991 <sup>a</sup>	0,6460±0,1329 <sup>a</sup>	0,7037±0,0970 <sup>a</sup>
Coesividade	0,4757±0,0367 <sup>a</sup>	0,4825±0,0493 <sup>a</sup>	0,5033±0,0360 <sup>a</sup>
Gomosidade (N)	325,4573±41,5720 <sup>a</sup>	161,4962±23,2837 <sup>b</sup>	258,8682±76,0976 <sup>a</sup>
Mastigabilidade (N)	189,7292±28,7245 <sup>a</sup>	102,6020±14,6895 <sup>b</sup>	183,1887±63,5134 <sup>a</sup>
Resiliência	0,1362±0,0179 <sup>b</sup>	0,1728±0,0276 <sup>a</sup>	0,1717±0,0048 <sup>a</sup>

Médias marcadas com letras diferentes na mesma linha diferem significativamente entre si ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey. **Fonte:** Autoria Própria (2018).

É possível observar que a dureza, das *blackberries* desidratadas apresentou valores significativamente maiores quando comparadas com as *blackberries* reidratadas em água, como o esperado. Por outro lado, quando relacionada com as *blackberries* reidratadas em leite verificou-se que não houve diferença estatística entre as médias do parâmetro.

Ao avaliar o parâmetro de adesividade, nota-se que as *blackberries* reidratadas apresentaram valores significativamente menores quando comparadas com as *berries* desidratadas. Segundo Souza et al. (2011), no decorrer da reidratação ocorre a transferência de solvente (água ou leite) para as frutas e lixiviação de sólidos das *blackberries* para o meio, e isso pode ter resultado na diminuição da adesividade das *berries* reidratadas.

Não foram encontrados estudos na literatura que relacionem os efeitos da reidratação aos parâmetros de textura com as frutas desidratadas, no entanto, Oliveira et al. (2014) ao avaliarem a estabilidade de geleias convencionais de umbu-cajá durante o armazenamento, verificaram que a adesividade foi menor no início do armazenamento onde atividade de água e a umidade apresentaram os maiores valores. Já no final do armazenamento onde os valores de atividade de água e umidade foram menores, a adesividade foi maior. Relação semelhante foi observado no presente estudo, em que as *blackberries* desidratadas com menores teores de umidade e atividade de água apresentaram os maiores valores de adesividade.



Ao avaliar os parâmetros de elasticidade e coesividade verifica-se, que não apresentaram diferenças significativas entre as médias, isso mostra que o processo de reidratação não ocasionou alterações perceptíveis nesses atributos de textura.

Quanto aos parâmetros de gomosidade e mascabilidade, observa-se que as *blackberries* reidratadas em água apresentaram valores significativamente menores quando comparadas com as *blackberries* desidratadas. Já as *blackberries* reidratadas em leite não apresentaram uma diminuição significativa nesses parâmetros.

Em relação resiliência, nota-se que as *blackberries* reidratadas, tanto em leite quanto em água, apresentaram uma maior capacidade de retornar a sua forma original, quando comparadas com a *blackberries* na sua forma desidratada, o aumento desse parâmetro pode estar associado ao fato da *blackberries* reidratadas possuírem um teor de atividade de água significativamente maior, conforme constatado na Tabela 4.

## 6. CONCLUSÃO

Em relação aos aspectos físico-químicos, constatou-se que o teor de cinzas das *blackberries* reidratadas foi significativamente menor do que nas *blackberries* desidratadas, indicando que houve transferência de minerais para o meio.

Os modelos utilizados para descrever a cinética de reidratação, das *blackberries* desidratadas apresentaram um ajuste satisfatório aos dados experimentais. Os modelos que melhor representaram o processo de reidratação em água foram o da Aproximação da Difusão e o de Logarítmico. A reidratação efetuada em leite os modelos de Verma, Aproximação da Difusão e o de Logarítmico foram os que melhor se adequaram aos dados experimentais. Esse resultado é de grande importância, visto que, o cálculo do tempo de operação pode ser realizado com base nos referidos modelos.

Por meio da análise reológica, pode-se concluir que as suspensões das *blackberries* apresentaram comportamento não newtoniano. As suspensões das *blackberries* efetuadas nas concentrações de sólidos a 10 % a 20 e 60 °C, o modelo de Casson foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. Para a suspensão de sólidos realizada a 30 % a 60 °C o modelo da Ostwald de Waelle foi o que melhor ajustou aos dados experimentais, apresentando comportamento pseudoplástico. As demais suspensões de sólidos realizadas, não se ajustaram aos modelos teóricos, impossibilitando a determinação de modelos para descrever a influência das variáveis temperaturas de medição e concentração de sólidos sobre o comportamento reológico.

A resiliência das *berries* reidratadas apresentou valores significativamente maiores que as *blackberries* desidratadas, fato relacionado possivelmente por ter apresentado um maior teor de umidade.

Em trabalho futuros, recomenda-se a utilização de um novo planejamento fatorial, de maneira a ser possível a construção de superfícies de resposta e avaliação do efeito da temperatura de análise e concentração de sólidos sobre o comportamento reológico de suspensões de *berries* reidratadas.

Além disso, sugere-se determinar o potencial antioxidante das *berries* desidratadas e reidratadas, uma vez que seu consumo pode estar associado, entre outros motivos, aos efeitos benéficos de compostos antioxidantes.

## 7. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Análise sensorial de alimentos e bebidas – NBR 12806**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 8 p.

AHMED, Jasim; RAMASWAMY, Hosahalli S; HIREMATH, Nikhil. The effect of high pressure treatment on rheological characteristics and colour of mango pulp. **International Journal of Food Science & Technology**, v.40, n.8, p. 885-895, 2005.

ALPASLAN, M.; HAYTA, M. Rheological and sensory properties of pekmez (grape molasses)/tahin (sesame paste) blends. **Journal of Food Engineering**, v. 54, n. 1, p. 8993, 2002.

ANTUNES, L. E. C. Amora-Preta: Nova Opção De Cultivo No Brasil. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p. 151–158, 2002.

ANTUNES, L. E. C.; FILHO, J. D; SOUZA, C. M.DE. Conservação pós-colheita de frutos de amoreira-preta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 3, p. 413–419, 2003.

ANTUNES, L. E. C.; PEREIRA, S.; PICOLOTTO, L.; VIGNOLO, G. K.; GONÇALVES, M. A. Produção De Amoreira-Preta No Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 100–111, 2014.

ANTUNES, L. E. C.; RASSEIRA, M. DO C. B. **Aspectos Técnicos da Cultura da Amora-preta**. Embrapa Clima Temperado-Documento 122, p. 1–51, 2004.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (A.O.A.C.). **Official Methods of Analysis**. 16. ed. v. I e II. Washington, 1995.

BARREIROS, A. L. B. S.; DAVID, J. M. Estresse oxidativo: Relação entre geração de espécies reativas e defesa do organismo. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 113–123, 2006.

BETTS, G. D.; WALKER, S. J.; STEELE, R. Verification and validation of food spoilage models. **Under standing and measuring the shelf-life of food**, p. 184-217, 2004.

CHAGAS, E.A.; PIO, R.; BARBOSA, W.; DALL'ORTO, F.A.C.; MENDONÇA, V. **Amora-preta: a pequena fruta com elevado potencial de cultivo**. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_2/amora/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_2/amora/index.htm)>. Acesso em: 2 nov.2016.

CIA, P.; BRON, I. U.; VALENTINI, S. R. DE T.; PIO, R.; CHAGAS, E. A. Atmosfera modificada e refrigeração para conservação pós-colheita da amora-preta. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 11–16, 2007.

CRANK, J. (1975). **The mathematics of diffusion (2nd ed.)**. Oxford:Clarendon Press, 1975.

CHEN, L.; OPARA, U. L. Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods – A review. **Journal of Food Engineering**, v. 119, p. 497-507, 2013.

DUARTE, J.H; ÁVILA, A. L; OLIVEIRA, E. G. DE; PINTO, L. A. A. Avaliação da cinética de secagem e reidratação da microalga *Spirulina platensis*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2009, Rio Grande. **Anais...** Uberlândia, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Características funcionais**. 2008. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/morango/arvore/CONT000fm\\_xotm4e02wyiv8065610d0sl4206.html#>](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/morango/arvore/CONT000fm_xotm4e02wyiv8065610d0sl4206.html#>). Acesso: 28 out.2016.

FALADE, O. K.; ABBO, S. E. Air-drying and rehydration characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera L.*) fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 2, p. 724-730, 2007.

FELLOWS, Peter J. **Food processing technology: principles and practice**. Elsevier, 2009.

FERREIRA, D. S.; ROSSO, V. V. DE; MERCADANTE, A. Z. Compostos bioativos presentes em amora-preta (*Rubus spp.*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 3, p. 664–674, 2010.

FERREIRA, Simone Pereira. **Estudo comparativo entre o modelo dinâmico brams e os modelos estatístico de MOS E MOC**. 2011. 138 f. Dissertação de

Mestrado. Dissertação (Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

GONÇALVES, E. D.; PIMENTEL, R. M. DE A.; LIMA, L. C. DE O.; et al. **Manutenção da qualidade pós-colheita das pequenas frutas**. Informe Agropecuário, 2012.

GIONGO, L.; PONCETTA, P.; LORETTI, P.; COSTA, F. Texture profiling of blueberries (*Vaccinium spp.*) during fruit development, ripening and storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 76, p. 34-39, 2013.

GUNASEKARAN, S.; AK, M.M. **Cheese Rheology and Texture**. 1. ed. Florida: CRC PRESS, 2003, 637 p.

GUEDES, M. N. S.; MARO, L. A. C.; ABREU, C. M. P. DE; PIO, R.; PATTO, L. S. Composição química, compostos bioativos e dissimilaridade genética entre cultivares de amoreira (*Rubus spp.*) cultivadas no Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 206–213, 2014.

HAMINIUK, Charles Windson Isidoro. **Comportamento reológico e fracionamento éctico das polpas integrais de araçá (*Psidium cattleianum sabine*) e amora-preta (*Rubus spp.*)**. 2005. 99 f. Dissertação ( Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

HASSIMOTTO, N. M. A.; DA MOTA, R. V.; CORDENUNSI, B. R.; LAJOLO, F. M. Physico-chemical characterization and bioactive compounds of *blackberry* fruits (*Rubus sp.*) grown in Brazil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 702–708, 2008.

HEBBAR, H. U.; RASTOGI, N. K. Mass transfer during infrared drying of cashew kernel. **Journal of Food Engineering**, v. 47, n. 1, p. 1-5, 2001.

IBARZ, Albert; BARBOSA-CANÓVAS, Gustavo V. **Unit Operations in Food Engineering**. United States: Florida, 2003.  
INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo, p. 9, 105, 2008.

JACQUES, A. C.; ZAMBIAZI, R. C. Fitoquímicos em amora-preta ( *Rubus spp* )  
Phytochemicals in *blackberry*. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n.

1, p. 245–260, 2011.

JRIDI, MOURAD; SOUISSE, NABIL; SALEM, BEN SALEM MARWA; AYADI, M. A.; NASRI, MONCEF; AZABOU, SAMIA. Tunisian date (*Phoenix dactylifera* L.) by-products: characterization and potential effects on sensory, textural and antioxidant properties of dairy desserts. **Food Chemistry**, v. 188, p. 8-15, 2015

KECHINSKI, P. C.; SCHUMACHER, B. A.; MARCZAK, D. F. L.; TESSARO, C. I.; CARDOZO, S. M. NILO. Rheological behavior of blueberry (*Vaccinium ashei*) purees containing xanthan gum and fructose as ingredients. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 3, p. 299306, 2011.

KEEY, R. B. Drying: **Principles and practice**. 1. ed. New York: Pergamon Press, 1972. 358p.

KROKIDA, M. K.; MARINOS-KOURIS, D. Rehydration kinetics of dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, v. 57, n. 1, p. 1-7, 2003.

LAGO, Camila Carvalho. **Estudo do suco concentrado e da polpa de yacon (*Smallantus sonchifolius*)**. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimento) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

LEE, K. T.; FARID, M.; NGUANG, S. K. The mathematical modelling of the rehydration characteristics of fruits. **Journal of Food Engeneering**, v. 72, p. 16–23, 2006.

LEITE, J. T. .; PARK, K. J.; RAMALHO, J. R. .; FURLAN, D. M. Caracterização reológica das diferentes fases de extrato de insulina de raízes de chicória, obtidas por abaixamento de temperatura. **Engenharia Agrícola**, v.24,n.1, p. 202-210 2004.

LENHARD, D. C.; GARCIA, C. C.; CIOLIN, I. H. Cinética de reidratação de Canberries em leite e água. In: XII Congresso brasileiro de engenharia química, 2016, Fortaleza. **Anais eletrônicos...**Fortaleza, 2016. Disponível em: <<https://proceedings.galoa.com.br/cobeq/cobeq-2016/trabalhos/cinetica-de-reidratacao-de-cranberries-em-leite-e-agua?lang=pt-br>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

MALDONADO, S.; ARNAU, E.; BERTUZZI, M. A. Effect of temperature and pretreatment on water diffusion during rehydration of dehydrated mangoes. **Journal of Food Engineering**, v. 96, n. 3, p. 333-341, 2010.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO E. D. C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 301-306, 2007.

MELONI, P. L. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Fortaleza: Instituto Frutal, p. 87, 2003.

MOTA, JOSÉ A. **Manual de produção integrada de amora.**, p. 1–34, 2012.

MOTA, R. V. DA. Caracterização física e química de geléia de amora-preta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p. 539–543, 2006.

NINDO, C. I.; TANG, J.; POWERS, J. R.; TAKHAR, P. S. Rheological properties of blueberry puree for processing applications. **LWT-Food Science and Technology**, v. 40, n. 2, p. 292-299, 2007.

OLIVEIRA, E. N. A. DE.; SANTOS, D. DA. C.; ROCHA. A. P. T.; GOMES, J. P.; SILVA, P. DA. Estabilidade de geleias convencionais de umbu-cajá durante o armazenamento em condições ambientais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.3, p.329-337, 2014.

OLIVEIRA, Francine Pinotti de. **Determinação de propriedades físicas de chocolates enriquecidos com farinha de yancon**. 2016. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso superior de Engenharia de Alimentos – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão, 2016.

PAGOT, E; HOFFMANN. A; PLAZA, L. E, et al; Documento 37. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE PEQUENAS FRUTAS, 1., 2003, Vacaria. **Anais...Vacaria**, 2003.

PAGOT, E.; SCHNEIDER, E. P.; NACHTIGAL, J. C.; CAMARGO, D. A. **Cultivo de Amora-preta**. Circular Técnica 75. Embrapa, p. 1–12, 2007.



PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer modelling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 4, p. 349-357, 2002.

PERKINS-VEAZIE, P.; COLLINS, J. K. Quality of erect-type *blackberry* fruit after short intervals of controlled atmosphere storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 25, p. 235-239, 2002.

ROCA, E.; GUILLARD, V; BROYART, B; GUILBERT, S; GONTARD, N. Effective moisture diffusivity modelling versus food structure and hygroscopicity. **Food Chemistry**. v.106, p. 1428-1437, 2008.

RUDY, S.; DZIKI, D.; KRZYKOWSKI, A.; GAWLIK-DZIKI, U.; POLAK, R.; RÓZYLO, R.; KULIG, R. Influence of pre-treatments and freeze-drying temperature on the process kinetics and selected physico-chemical properties of cranberries (*Vaccinium macrocarpon Ait.*). **LWT-Food Science and Technology**, v. 63, n. 1, p. 497-503, 2015.

SANTOS, A.C.A.DOS; MARQUES, M.M.P; SOARES, A. K.; SOARES, A. K.DE.O; FARIAS, L. M. DE; FERREIRA, A. K. A; CARVALHO, M. L. C. Potencial antioxidante de antocianinas em fontes alimentares: revisão sistemática. **Revista Interdisciplinar**, v. 7, n. 3, p. 149–156, 2014.

SEERAM, N. P.; ADAMS, L. S.; ZHANG, Y.; et al. *Blackberry* , *Black Raspberry* , *Blueberry* , *Cranberry* , *Red Raspberry* , and *Strawberry* Extracts Inhibit Growth and Stimulate Apoptosis of Human Cancer Cells In Vitro. **Journal of Agricultural Food and Chemistry**, v. 54, p. 9329–9339, 2006.

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

SOUSA, M. B.; CURADO, T.; VASCONCELLOS, F. N. E; TRIGO, M. J. **Amora:Qualidade pós-colheita**. Divulgação Agroo 556. N<sup>o</sup>., p. 1–31, 2007.

SOUZA, A. V. DE. **Pós-colheita e processamento de amora-preta “Tupy”**. 2013. 86f.Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

SOUZA, D. S.; PIMENTEL, J. D. R.; MARQUES, L. G.; NARAIN, N. Estudo da cinética de reidratação do pó da polpa do abacate liofilizado, **Scientia Plena**, V. 7, n. 6, p. 1-6, 2011.

SOUZA, V. R. DE; PEREIRA, P. A. P.; DA SILVA, T. L. T.; LIMAD, L. C. O, PIO, R; QUEIROZ, F. Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian *blackberry*, *red raspberry*, *strawberry*, *blueberry* and *sweet cherry* fruits. **Food Chemistry**, v. 156, p. 362–368, 2014. Elsevier Ltd.

STEFFE, J. F. Rheological Methods in Food Process Engineering, 2<sup>a</sup> Ed. Freeman Press, East Lansing, Michigan State, USA. 418p. 1996.

STREETER, Victor Lyle. **Mecânica dos fluidos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1909.

STRIK, B. C.; CLARK, J. R.; FINN, C. E.; BAÑADOS, M. P. Comprehensive Crop Reports Worldwide *Blackberry* Production. **Hortechology**, v. 17, n. 2, p. 205–213, 2007.

SYARIEF, A. M.; MOREY, R. V.; GUSTAFSON, R.J. **Thin-layer drying rate of sunflower seed**. Transaction of the ASAE, St. Joseph, v.27, n.1, p.195-200, 1984.

TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Rheology for the food industry. **Journal of Food Engineering**, v. 67, p. 147–156, 2005.

TATE, P.; STANNER, A.; SHIELDS, K.; SMITH, S.; LARCOM, L. *Blackberry* extracts inhibit UV-induced mutagenesis in *Salmonella typhimurium* TA100. **Nutrition Research**, v. 26, n. 2, p. 100–104, 2006.

TONELI, J. T. DE C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. P. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 181–204, 2005.

VEGA-GÁLVEZ, A. L. M. S.; LEMUS-MONDACA, R.; BILBÃO-SAINZ, C.; FITO, P.; ANDRÉS, A. Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo). **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 1, p. 42-50, 2008.

## APÊNDICE A

Tabelas (17 a 23) referentes à modelagem matemática da reometria das suspensões de sólidos das *blackberries* desidratadas nas faixas de concentração e temperatura avaliadas.

**Tabela 17** – Parâmetros estatísticos dos modelos reológicos ajustados aos dados experimentais na concentração de 10 % a 20 °C

Modelo	Concentração, %		Temperatura, °C	
	10	20	20	20
	R <sup>2</sup>	P	RMSE	B <sub>f</sub>
Newton	0,78	5,46	0,0283	0,82
Ostwald de Waelle	0,99	1,22	0,0074	1,00
Herschel-Bulkley	0,99	1,12	0,0071	1,00
Bingham	0,99	1,14	0,0071	1,00
Casson	0,99	0,59	0,0051	1,00
Sisko	0,95	1,11	0,0001	1,00

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 18** – Parâmetros estatísticos dos modelos reológicos ajustados aos dados experimentais na concentração de 10 % a 60 °C

Modelo	Concentração, %		Temperatura, °C	
	10	60	60	60
	R <sup>2</sup>	P	RMSE	B <sub>f</sub>
Newton	0,91	4,53	0,0304	0,97
Ostwald de Waelle	0,91	4,20	0,0301	1,00
Herschel-Bulkley	0,94	3,46	0,0235	1,01
Bingham	0,91	4,06	0,0298	1,01
Casson	0,91	1,99	0,0198	1,00
Sisko	0,13	4,00	0,0005	1,01

Herschel-Bulkley modelo com solução degenerada. **Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 19** – Parâmetros estatísticos dos modelos reológicos ajustados aos dados experimentais na concentração de 20 % a 40 °C

Modelo	Concentração, %		Temperatura, °C	
	20	40	20	40
	R <sup>2</sup>	P	RMSE	B <sub>f</sub>
Newton	0,00	-	-	-
Ostwald de Waelle	0,80	5,29	0,2069	1,03
Herschel-Bulkley	0,82	5,13	0,0079	1,02
Bingham	0,83	5,22	0,1929	1,02
Casson	0,84	2,53	0,0554	1,01
Sisko	0,96	5,65	0,0038	1,01

**Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 20** – Parâmetros estatísticos dos modelos reológicos ajustados aos dados experimentais na concentração de 20 % a 40 °C

Modelo	Concentração, %		Temperatura, °C	
	20	40	20	40
	R <sup>2</sup>	P	RMSE	B <sub>f</sub>
Newton	0,00	-	-	-
Ostwald de Waelle	0,17	6,81	0,1591	1,04
Herschel-Bulkley	0,35	5,99	0,1405	1,03
Bingham	0,12	6,89	0,1636	1,04
Casson	0,13	3,38	0,0592	1,01
Sisko	0,91	4,88	0,0029	1,02

*Modelo herchel-bulkley solução degenerada.* **Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 21** – Parâmetros estatísticos dos modelos reológicos ajustados aos dados experimentais na concentração de 20 % a 40 °C

Modelo	Concentração, %		Temperatura, °C	
	20	40	20	40
	R <sup>2</sup>	P	RMSE	B <sub>f</sub>
Newton	0,00	-	-	-
Ostwald de Waelle	0,48	6,49	0,3662	1,02
Herschel-Bulkley	0,70	4,93	0,2771	1,02
Bingham	0,52	6,21	0,3515	1,02
Casson	0,48	3,22	0,0818	1,01
Sisko	0,93	3,85	0,0040	1,01

*Modelo herchel-bulkley solução degenerada.* **Fonte:** Autoria Própria (2018).

**Tabela 22** – Parâmetros estatísticos dos modelos reológicos ajustados aos dados experimentais na concentração de 30 % a 20 °C

Modelo	Concentração, %		Temperatura, °C	
	30	20	RMSE	B <sub>f</sub>
Newton	0,00	-	-	-
Ostwald de Waelle	0,44	2,08	0,0153	1,00
Herschel-Bulkley	0,71	1,36	0,0109	1,00
Bingham	0,36	2,20	0,0163	1,00
Casson	0,39	1,07	0,0174	1,00
Sisko	1,00	0,90	0,0003	1,00

Fonte: Autoria Própria (2018).

**Tabela 23** – Parâmetros estatísticos dos modelos reológicos ajustados aos dados experimentais na concentração de 30 % a 60 °C

Modelo	Concentração, %		Temperatura, °C	
	30	20	RMSE	B <sub>f</sub>
Newton	0,00	-	-	-
Ostwald de Waelle	0,82	1,94	0,0536	1,00
Herschel-Bulkley	0,83	1,89	0,0519	1,00
Bingham	0,79	2,16	0,0587	1,00
Casson	0,81	1,04	0,0185	1,00
Sisko	0,98	1,53	0,0013	1,00

Fonte: Autoria Própria (2018).

Tabelas (24 a 28) referentes aos parâmetros dos modelos reológicos de Ostwald de Waelle, Herschel-Bulkley, Bingham, Casson e Sisko.

**Tabela 24** – Parâmetros reológicos do modelo de Ostwald de Waelle - Lei da potência

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Parâmetro	
°C	%	K (Pa·s <sup>n</sup> )	n
20	10	0,0324±0,0039	0,6778±0,0301
60	10	0,0208±0,0093	0,8280±0,1118
40	20	55,4963±28,8128	-0,7556±0,1333
40	20	4,2157±2,6584	-0,2111±0,1602
40	20	1,0809±0,5987	0,3871±0,1392
20	30	3,1368±0,4718	-0,1087±0,0429
60	30	0,9360±0,1436	0,2594±0,0434

Fonte: Autoria Própria (2018).

**Tabela 25 – Parâmetros reológicos do modelo de Herschel-Bulkley**

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Parâmetro		
°C	%	t <sub>0</sub> (Pa)	K <sub>h</sub> (Pa·s)	η <sub>h</sub>
20	10	0,1756±0,1436	0,0040±0,0105	1,0879±0,5386
60	10	0,4158±0,0295	0,0000±0,0000	4,3013±1,1531
40	20	-640,9425±3,8666·10 <sup>+05</sup>	652,6425±3,8663·10 <sup>+05</sup>	-0,0035±2,0906
40	20	1,7555·10 <sup>+00</sup> ±0,0673	9,6615·10 <sup>+10</sup> ±0,0000	-7,2778·10 <sup>+00</sup> ±0,1417
40	20	4,5680±0,2543	0,0000±0,0000	6,6382±4,3446
20	30	2,0983±0,0278	8,2017·10 <sup>+08</sup> ±1,0990·10 <sup>+10</sup>	-6,9698±4,2556
60	30	-487,5316±7,7317·10 <sup>+05</sup>	487,7264±7,7316·10 <sup>+05</sup>	0,0012±1,9756

Fonte: Autoria Própria (2018).

**Tabela 26 – Parâmetros reológicos do modelo de Bingham**

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Parâmetro	
°C	%	t <sub>0</sub> (Pa)	μ <sub>pl</sub> (Pa·s)
20	10	0,1503±0,0137	0,0061±0,0003
60	10	0,0988±0,0574	0,0086±0,0011
40	20	5,1382±0,3743	-0,0436±0,0070
40	20	2,1627±0,3174	-0,0062±0,0059
40	20	3,0053±0,6820	0,0378±0,0127
20	30	2,3568±0,1027	-0,0063±0,0030
60	30	1,7233±0,1139	0,0178±0,0033

Fonte: Autoria Própria (2018).

**Tabela 27 – Parâmetros reológicos do modelo de Casson**

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Parâmetro	
°C	%	t <sub>0</sub> (Pa <sup>0,5</sup> )	K <sub>C</sub> (Pa <sup>0,5</sup> ·s <sup>0,5</sup> )
20	10	0,0489±0,0086	0,0644±0,0027
60	10	0,0036±0,0090	0,0936±0,0103
40	20	9,1097±1,2659	-0,1853±0,0289
40	20	2,5419±0,7140	-0,0335±0,0308
40	20	1,9522±0,8647	0,1152±0,0426
20	30	2,6013±0,2126	-0,0257±0,0113
60	30	1,2612±0,1576	0,0693±0,0120

Fonte: Autoria Própria (2018).

**Tabela 28** – Parâmetros reológicos do modelo de Sisko

$X_1$	$X_2$	Parâmetro		
°C	%	$\eta_{inf}$ (Pa·s)	$K_s$ (Pa·s)	$n_s$
20	10	0,0068±0,0018	0,3684±1,1629	-0,2952±1,0129
60	10	0,2774±787,1329	-0,2629±787,0389	1,0039±11,7345
40	20	-0,1459±0,3662	1,4395±2,4343	0,5030±0,8880
40	20	0,0228±0,0062	10231,2061±56322,9632	-2,4849±1,5482
40	20	0,0840±0,0038	$1,0060 \cdot 10^{+08} \pm 6,1553 \cdot 10^{+08}$	-4,9227±1,6967
20	30	0,0307±0,0051	56,3449±51,1846	-1,1292±0,3068
60	30	-25,4956±7468,5444	25,7563±7468,3599	0,9980±0,5895

**Fonte:** Aatoria Própria (2018).