



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de São José do Rio Preto

Rodrigo Rodrigues Evangelista

**Estudo da densidade e do comportamento reológico de suco de uva Malbec
(*Vitis vinifera*) em diferentes concentrações e temperaturas**

São José do Rio Preto
2020

Rodrigo Rodrigues Evangelista

**Estudo da densidade e do comportamento reológico de suco de uva Malbec
(*Vitis vinifera*) em diferentes concentrações e temperaturas**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” do Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Orientador: Prof. Dr. Javier Telis Romero

Coorientador: Prof. Dr. Maurício Bonatto Machado de Castilhos

São José do Rio Preto
2020

E92e

Evangelista, Rodrigo Rodrigues

Estudo da densidade e do comportamento reológico de suco de uva Malbec (*Vitis vinifera*) em diferentes concentrações e temperaturas / Rodrigo Rodrigues Evangelista. -- São José do Rio Preto, 2020
145 f. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientador: Javier Telis Romero

Coorientador: Maurício Bonatto Machado de Castilhos

1. Reologia. 2. Propriedades físicas. 3. Indústria vinícola. 4. Indústria de suco de uva. I. Título.

Rodrigo Rodrigues Evangelista

**Estudo da densidade e do comportamento reológico de suco de uva Malbec
(*Vitis vinifera*) em diferentes concentrações e temperaturas**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” do Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Javier Telis Romero
UNESP – São José do Rio Preto
Orientador

Prof. Dr. Marcos Alexandre Polizelli
Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos (UNIFEB)

Profa. Dra. Ana Carolina Conti e Silva
UNESP – São José do Rio Preto

São José do Rio Preto
18 de Fevereiro de 2020

Dedico este trabalho à minha família por acreditar sempre em minha capacidade e por sempre investir em mim.

À minha mãe Eliane Aparecida Rodrigues Evangelista, a qual com seus cuidados, amor e carinho foram essenciais para fornecer energia e forças para dar sequência em toda minha trajetória e a quem AMO infinitamente.

Às minhas irmãs Angélica Evangelista e Vitória Aparecida Rodrigues Evangelista; seus sorrisos e alegrias são fontes de inspiração para nunca desistir e sempre persistir.

A DEUS por conceder vida e sabedoria para trilhar esta jornada desafiadora.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a DEUS por me conceder vida, força, sabedoria e por me capacitar na elaboração desta dissertação e também por permitir fazer parte do curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos.

Agradeço a pessoa mais importante da minha vida: minha mãe Eliane. A ti mãe muito obrigado por acreditar em minha capacidade, meus esforços e por ser sempre meu alicerce em todas etapas da minha vida. Obrigado por ser meu exemplo de pessoa e meu porto seguro. Sua fé e seu amor sempre serão forças e exemplos para que eu siga somente em frente. Às minhas irmãs Angélica e Vitória que sempre estiveram presentes em todos momentos importantes da minha vida.

Agradeço às minhas amigas de longa data: Ana Carolina, Ana Paula, Michela e Sara por sempre confiarem em mim, acreditar em meu potencial e incentivar a seguir o caminho acadêmico. A vocês meninas que mesmo longe nunca hesitaram em dar ajuda nos momentos de dificuldades e alegrias, o meu muito obrigado!

Agradeço ao meu orientador, professor e amigo Prof. Dr. Javier Telis Romero pelos inúmeros momentos, ao meu desenvolvimento profissional e pessoal, aos projetos de pesquisas os quais pude aprender novos horizontes, agradeço pela confiança a mim destinada em oportunidades de poder ministrar aulas.

Agradeço ao meu coorientador Prof. Dr. Maurício Bonatto Machado de Castilhos por aceitar a coorientação, pelos conhecimentos e por despertar/desenvolver novos olhares aos trabalhos científicos.

Agradeço aos meus novos amigos Marcio Augusto, Kamilla e Adilson pelos inúmeros momentos, pela amizade, companheirismo e parceria. Aos funcionários e técnicos do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos que conferiu suporte quando necessário.

A todo corpo docente do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos do Ibilce, a todos muito obrigado pelos ensinamentos, pelo crescimento profissional e pelas experiências compartilhadas. Em especial agradeço à Professora Doutora Ana Carolina Conti e Silva pelos inúmeros momentos disponibilizados para ensinar, ajudar e aconselhar no

desenvolvimento deste trabalho. Muito obrigado professora por ser um exemplo de profissional e pessoa a ser seguido.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“... Porque a fé que vocês têm é pequena. Eu asseguro que, se vocês tiverem fé do tamanho de um grão de mostarda, poderão dizer a este monte: “Vá daqui para lá”, e ele irá. Nada será impossível para vocês ...”

A Bíblia (MATEUS, 17:20)

RESUMO

A uva é uma das matérias-primas mais cultivadas em todo o mundo devido à produção de produtos com alto valor agregado, como vinhos e espumantes. Dentre as inúmeras variedades de uvas, destaca-se a uva Malbec (*Vitis vinifera*), classificada como uva tinta e aplicada na produção de vinhos finos. O presente estudo avaliou a influência da temperatura e concentração no comportamento reológico e da densidade do suco de uva Malbec. As análises foram realizadas em uma ampla faixa de concentração (13,6 a 45,0°Brix), de modo a utilizar o suco de uva concentrado como agente de chaptalização, e também em uma ampla faixa de temperatura (1 a 66°C), que simulam desde condições de armazenamento até a pasteurização do suco. Os parâmetros reológicos, bem como a densidade, foram modelados em função das variáveis temperatura e concentração. As análises reológicas foram realizadas no reômetro rotacional com cilindros concêntricos na taxa de deformação entre 0,84 a 212,1 s⁻¹ e a densidade em um densímetro digital. O suco de uva Malbec foi descrito pelo modelo de Ostwald-de Waele para todas as temperaturas e concentrações analisadas ($R_{Adj}^2 > 0,995$ e $RQME < 1,3$), sendo caracterizado como fluido pseudoplástico. Os índices de consistência foram significativamente reduzidos com o aumento da temperatura, seguindo uma relação tipo Arrhenius ($R_{Adj}^2 > 0,983$ e $RQME < 0,14$), com energia de ativação variando de 11,02 kJ/mol (45,0°Brix) até 11,54 kJ/mol (21,0°Brix). Em contraste, aumentaram significativamente a concentração, sendo o modelo potencial o que melhor descreveu os dados ($R_{Adj}^2 > 0,999$ e $RQME < 0,11$). Por outro lado, os índices de comportamento não apresentaram relação com a temperatura, mas os mesmos reduziram significativamente com o aumento da concentração, sendo descritos pelo modelo potencial ($R_{Adj}^2 > 0,950$ e $RQME < 0,029$). No efeito combinado da temperatura e concentração no índice de consistência, o modelo potencial com Arrhenius melhor ajustou-se aos dados apresentando energia única de ativação de 11,11 kJ/mol ($R_{Adj}^2 = 0,99972$ e $RQME = 0,083$). A viscosidade aparente do suco reduziu e aumentou com o aumento da temperatura e concentração, em uma taxa de deformação fixa, respectivamente. A densidade reduziu e aumentou significativamente com o aumento da temperatura e concentração, respectivamente, sendo descrita pelo modelo polinomial de segunda ordem. O coeficiente de expansão térmica foi determinado para explicar às variações da densidade com a temperatura, indicando que na temperatura de 4,12°C, em qualquer concentração, o suco atingirá sua máxima densidade. Os resultados obtidos podem ser adequados para o potencial uso do suco concentrado como agente de chaptalização na vinificação e instalações industriais para produção de suco e vinho.

Palavras-chaves: Reologia. Pseudoplástico. Chaptalização. Suco de fruta. Energia de ativação.

ABSTRACT

The grape is one of the raw materials largely produced worldwide due to its production of high added value products such as wines and sparkling wines. Among the many varieties, it is possible to highlight the Malbec grape (*Vitis vinifera*) classified as red grape and used for fine wines production. The present study evaluated the influence of temperature and concentration on rheological behavior and density of Malbec grape juice. The analyzes were performed in a wide range of concentration (13.6 to 45.0°Brix), in order to use the concentrates of Malbec as chaptalization agent, and also in a wide range of temperature (1 to 66°C), that simulate storage conditions up to pasteurization process of juice. The rheological parameter, as well the density, were modelling as function of variables temperature and concentration. The rheological analyzes were performed in a rotational rheometer with cylindrical geometric at the shear rate from 0.84 to 212.1 s⁻¹ and the density in a digital densimeter. The Malbec grape juice was described by Ostwald-de Waele model for all temperatures and concentrations analyzed ($R_{Adj}^2 > 0.995$ and $RSME < 1.3$), being characterized as shear-thinning fluid type. The consistency coefficients were significantly reduced, following an Arrhenius relationship ($R_{Adj}^2 > 0.983$ and $RSME < 0.14$), with activation energy ranging from 11.02 kJ/mol (45.0°Brix) to 11.54 kJ/mol (21.0°Brix). In contrast, they significantly increased the concentration, being the potential model the better described the data ($R_{Adj}^2 > 0.999$ e $RSME < 0.11$). In the other hand, the flow behavior index was not influenced by temperature; however, it was closely related with the concentration, being described by potential model ($R_{Adj}^2 > 0.950$ e $RSME < 0.029$). In the combined effect of temperature and concentration on the consistency coefficients, the potential with Arrhenius model better fitted to data showing the only activation energy of 11.11 kJ/mol ($R_{Adj}^2 = 0.99972$ and $RSME = 0.083$). The apparent viscosity of grape juice reduced and increased with the increasing of temperature and concentration, at the same shear rate, respectively. The density reduced and increased significantly with increasing of temperature and concentration, respectively, being describes by second-order polynomial model. The thermal expansion coefficient was determined to explain the changes on density with temperature, indicating at 4.12°C, in any concentration, the juice reach the higher density. The obtained results can be suitable for the potential use of juice concentrate as chaptalization agent in winemaking and industrial facilities for juice and wine production.

Key-words: Rheology. Pseudoplastic. Malbec. Chaptalization. Fruit juice. Activation energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da uva.....	22
Figura 2 – Formato das bagas.....	22
Figura 3 – Compacidade dos cachos.	22
Figura 4 – Uva Malbec.	32
Figura 5 – Classificação do suco de uva (a) suco de uva tinto; (b) suco de uva rosé e (c) suco de uva branca.....	34
Figura 6 – Fluxograma do processamento de uva para produção de suco.	36
Figura 7 – Classificação simplificada do comportamento reológico dos materiais.	42
Figura 8 – Curva característica de comportamento reológico Newtoniano.	43
Figura 9 – Curva característica de comportamento reológico pseudoplástico.	44
Figura 10 – Curva característica de comportamento reológico dilatante.	45
Figura 11 – Curvas de escoamento de comportamento reológico com tensão inicial de escoamento.	46
Figura 12 – Viscosidade aparente de fluidos independentes do tempo.	51
Figura 13 – Instrumento reológico dividido em duas categorias: rotacional e tubular.	55
Figura 14 – Reômetro rotacional de cilindro concêntricos tipo Searle.	57
Figura 15 – Reômetro rotacional de cone e placa.	58
Figura 16 – Reogramas do suco de uva Malbec concentrado a 13,6 °Brix em diferentes temperaturas.	68
Figura 17 – Reogramas do suco de uva Malbec concentrado a 21,0 °Brix em diferentes temperaturas.	69
Figura 18 – Reogramas do suco de uva Malbec concentrado a 29,0 °Brix em diferentes temperaturas.	69
Figura 19 – Reogramas do suco de uva Malbec concentrado a 37,0 °Brix em diferentes temperaturas.	70
Figura 20 – Reogramas do suco de uva Malbec concentrado a 45,0 °Brix em diferentes temperaturas.	70
Figura 21 – Efeito da temperatura em diferentes concentrações de suco concentrado de uva Malbec no parâmetro índice de consistência.....	74
Figura 22 – Efeito da concentração em diferentes temperaturas de suco concentrado de uva Malbec no parâmetro índice de comportamento.	78
Figura 23 – Efeito combinado da concentração e temperatura no índice de consistência.	82

Figura 24 – Viscosidade aparente do suco concentrado da uva Malbec a 13,6 °Brix em diferentes temperaturas.	84
Figura 25 – Viscosidade aparente do suco concentrado da uva Malbec a 21,0 °Brix em diferentes temperaturas.	84
Figura 26 – Viscosidade aparente do suco concentrado da uva Malbec a 29,0 °Brix em diferentes temperaturas.	85
Figura 27 – Viscosidade aparente do suco concentrado da uva Malbec a 37,0 °Brix em diferentes temperaturas.	85
Figura 28 – Viscosidade aparente do suco concentrado da uva Malbec a 45,0 °Brix em diferentes temperaturas.	86
Figura 29 – Gráfico da densidade como função da concentração e temperatura.	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Zonas de viticultura e alguns exemplos das uvas cultivadas em cada região.....	23
Tabela 2 – Área cultivada com videiras, por estado, em hectares, 2015/2017.	24
Tabela 3 – Produção de uvas, por estado, em toneladas, 2015/2017.	25
Tabela 4 – Microrregião e municípios gaúchos e catarinenses com maior destaque na produção de uvas em 2013.	27
Tabela 5 – Modelos reológicos para descrever o comportamento de fluidos.	47
Tabela 6 – Modelos reológicos para fluidos independentes do tempo.	49
Tabela 7 – Viscosidade aparente de fluidos não newtonianos.	51
Tabela 8 – Modelos matemáticos polinomiais para descrever a densidade como função da temperatura e concentração.	66
Tabela 9 – Índice de consistência do modelo de Ostwald-de Waele (média \pm desvio padrão) do suco concentrado de uva Malbec em diferentes temperaturas e concentrações. ...	73
Tabela 10 – Parâmetros da equação tipo Arrhenius para suco concentrado de uva Malbec em diferentes concentrações para o índice de consistência.	75
Tabela 11 – Índice de comportamento do fluido do modelo de Ostwald-de Waele (média \pm desvio padrão) do suco concentrado de uva Malbec em diferentes temperaturas e concentrações.....	77
Tabela 12 – Parâmetros da equação tipo potência (média \pm desvio padrão) do suco concentrado da uva Malbec em diferentes temperaturas para o índice de comportamento.	79
Tabela 13 – Parâmetros da equação tipo potência do suco concentrado da uva Malbec em diferentes temperaturas para o índice de consistência.	81
Tabela 14 – Densidade (média \pm desvio padrão) do suco de uva Malbec em diferentes concentrações e temperatura.	88
Tabela 15 – Resultados das regressões múltiplas da densidade como função da temperatura e concentração.	89
Tabela 16 – Coeficiente de expansão térmica (β) de suco de uva Malbec em diferentes temperaturas e concentrações.	91
Tabela A 1 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 1°C.	104
Tabela A 2 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 10°C.	105
Tabela A 3 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 19°C.	106
Tabela A 4 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 28°C.	107

Tabela A 5 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 37°C.....	108
Tabela A 6 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 46°C.....	109
Tabela A 7 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 56°C.....	110
Tabela A 8 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 66°C.....	111
Tabela A 9 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 1°C.....	112
Tabela A 10 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 10°C.....	113
Tabela A 11 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 19°C.....	114
Tabela A 12 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 28°C.....	115
Tabela A 13 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 37°C.....	116
Tabela A 14 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 46°C.....	117
Tabela A 15 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 56°C.....	118
Tabela A 16 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 66°C.....	119
Tabela A 17 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 1°C.....	120
Tabela A 18 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 10°C.....	121
Tabela A 19 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 19°C.....	122
Tabela A 20 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 28°C.....	123
Tabela A 21 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 37°C.....	124
Tabela A 22 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 46°C.....	125
Tabela A 23 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 56°C.....	126
Tabela A 24 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 66°C.....	127
Tabela A 25 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 1°C.....	128
Tabela A 26 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 10°C.....	129
Tabela A 27 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 19°C.....	130
Tabela A 28 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 28°C.....	131
Tabela A 29 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 37°C.....	132
Tabela A 30 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 46°C.....	133
Tabela A 31 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 56°C.....	134
Tabela A 32 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 66°C.....	135
Tabela A 33 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 1°C.....	136
Tabela A 34 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 10°C.....	137
Tabela A 35 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 19°C.....	138
Tabela A 36 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 28°C.....	139
Tabela A 37 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 37°C.....	140
Tabela A 38 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 46°C.....	141

Tabela A 39 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 56°C.....	142
Tabela A 40 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 66°C.....	143
Tabela B 1 – Densidade do suco de uva Malbec a 13,6°Brix em diferentes temperaturas. ...	144
Tabela B 2 – Densidade do suco de uva Malbec a 21,0°Brix em diferentes temperaturas. ...	144
Tabela B 3 – Densidade do suco de uva Malbec a 29,0°Brix em diferentes temperaturas. ...	144
Tabela B 4 – Densidade do suco de uva Malbec a 37,0°Brix em diferentes temperaturas. ...	145
Tabela B 5 – Densidade do suco de uva Malbec a 45,0°Brix em diferentes temperaturas. ...	145

LISTA DE SÍMBOLOS

a: constante empírica

A: constante empírica

b: constante empírica

B: constante empírica

C: concentração (°Brix)

E_a : energia de ativação (J/mol)

K: índice de consistência (Pa.sⁿ)

K_∞ : constante empírica

K_1 : constante empírica do modelo de Casson

K_2 : constante empírica do modelo de Ellis

n: índice de comportamento (adimensional)

n_1 : constante empírica do modelo de Casson

N: número de pontos experimentais

r: coeficiente de correlação de Pearson

R: constante universal dos gases (8,413 J/mol.K)

R_{Adj}^2 : coeficiente de determinação ajustado

RQME: raiz do erro médio quadrático

T: temperatura (°C ou K)

$V_{experimental}$: valor experimental

$V_{predito}$: valor predito

X: fração mássica de sólidos

LISTA DE LETRAS GREGAS

β : coeficiente de expansão térmica ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

$\dot{\gamma}$: taxa de deformação ou gradiente de velocidade (s^{-1})

μ : viscosidade dinâmica (Pa.s)

μ_{ap} : viscosidade aparente (Pa.s)

μ_{pl} : viscosidade plástica de Bingham (Pa.s)

μ_{∞} : viscosidade de corte infinita do modelo de Casson; constante empírica

μ_0 : viscosidade de referência (Pa.s)

τ : tensão de cisalhamento (Pa)

τ_0 : tensão inicial ou tensão residual (Pa)

ϕ_i : constante empírica para o modelo polinomial da densidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVO	20
2.1 Objetivos Específicos	20
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1 Generalidades	21
3.2 Panorama da produção de uvas no Brasil	24
3.2.1 Região Sul	26
3.2.2 Região Nordeste – Submédio do rio São Francisco	28
3.2.3 Região Sudeste	29
3.3 O gênero Vitis	29
3.4 Uva Malbec (Vitis vinifera)	31
3.5 Tecnologia de processamento do suco de uva	33
3.5.1 Recepção da matéria-prima	36
3.5.2 Desengace e esmagamento	37
3.5.3 Extração	37
3.5.3.1 Processo de extração por sulfitação (Flanzy)	37
3.5.3.2 Processo de extração por calor (Welch)	38
3.5.4 Separação e prensagem	39
3.5.5 Clarificação	39
3.5.6 Filtração	40
3.5.7 Estabilização tartárica	41
3.6 Aspectos reológicos	41
3.6.1 Reologia de fluidos	42
3.6.2 Modelos Reológicos	47
3.6.3 Viscosidade	50
3.6.4 Influência da temperatura e concentração sobre o comportamento reológico de fluidos alimentícios	52
3.6.5 Equipamentos para medidas reológicas	55

3.6.5.1 Reômetros tubulares	55
3.6.5.2 Reômetro rotacional de cilindros concêntricos	56
3.6.5.3 Reômetro rotacional de cone e placa.....	57
3.6.5.4 Reômetro de agitador	59
3.7 Propriedades Termofísicas.....	59
4 MATERIAL E MÉTODOS	62
4.1 Material.....	62
4.1.1 Amostras de suco	62
4.2 Métodos.....	62
4.2.1 Caracterização reológica	63
4.2.2 Determinação da densidade.....	65
4.2.2.1 Coeficiente de expansão térmica	66
4.2.3 Análise estatística.....	67
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5.1 Comportamento Reológico do Suco Concentrado da Uva Malbec	68
5.1.1 Efeito da temperatura sobre os parâmetros reológicos.....	72
5.1.2 Efeito da concentração sobre os parâmetros reológicos.....	78
5.1.3 Efeito combinado da temperatura e concentração nos parâmetros reológicos.....	81
5.1.4 Viscosidade aparente.....	83
5.2 Caracterização da Densidade	87
5.2.1 Coeficiente de expansão térmica.....	90
6 CONCLUSÃO.....	93
REFERÊNCIAS	94
APÊNDICE A – Dados reológicos do suco de uva Malbec (Vitis vinífera) em diferentes temperaturas e concentração.	104
APÊNDICE B – Dados da densidade do suco de uva Malbec (Vitis vinífera) em diferentes temperaturas e concentração.	144

1 INTRODUÇÃO

A uva é uma das cultivares mais produzidas em todo mundo com produção anual maior que 67 milhões de toneladas de bagas, as quais 80% desta produção destina-se à viticultura, contudo o segmento de produção de vinhos apresenta grande importância para muitos países produtores de uvas (ANTONIOLLI; FONTANA; PICCOLI; BOTTINI, 2015). Diante do exposto, o Brasil se apresenta como país potencial na produção de uvas, visto que no ano de 2017, apesar das reduções em suas áreas de plantio, obteve produção recorde de 1,68 milhões de toneladas, sendo 48,74% destinada ao processamento de vinhos, sucos e derivados cujos estados que apresentaram maior destaque foram: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Pernambuco, Minas Gerais e Espírito Santo (MELLO, 2018).

Muitas cultivares de uvas, tintas ou não, são empregadas na elaboração de vinhos, sucos e seus derivados. Dentre as cultivares, a uva Malbec (*Vitis vinifera*), classificada como uva tinta, apesar de possuir origem francesa, é a cultivar emblema da vitivinicultura Argentina sendo a principal uva produzida no país para elaboração de vinhos finos (KING *et al.*, 2014). Em sua composição química, a uva Malbec apresenta compostos relevantes que geralmente são encontrados em uvas brancas, os quais desempenham papel funcional (FANZONE *et al.*, 2015).

A reologia é a ciência que estuda a deformação no escoamento da matéria, avaliando como os diversos materiais reagem quando são aplicadas determinadas forças sobre eles, sejam estes materiais sólidos, líquidos ou gasosos (STEFFE, 1996). Tendo em vista a importância desta ciência, o conhecimento do comportamento reológico dos materiais se faz necessário na indústria de bebidas e de alimentos, devido ao projeto de operações unitárias a fim de assegurar a alta qualidade com relação às características sensoriais. Desta forma, a análise reológica é aplicada como uma ferramenta para engenharia de alimentos, devido sua ligação com o processamento e estabilidade dos alimentos, bem como nas percepções sensoriais.

A elaboração do suco de uva e vinho é considerado um processo complexo que envolve muitas etapas, desde o controle da temperatura até o controle da concentração de açúcares (JACKSON, 2008). Devido a isso, o comportamento reológico torna-se indispensável na otimização de processos, como o processo de evaporação que resulta na produção de sucos concentrados. Durante o processamento do suco de uva e vinho, as mudanças que ocorrem na

concentração e temperatura afetam as propriedades termofísicas dos materiais como a densidade, por exemplo (GRATÃO; SILVEIRA JÚNIOR; POLIZELLI; TELIS-ROMERO, 2004).

A legislação brasileira permite, no processamento de vinhos, a adição de sacarose durante a fermentação do mosto como uma ferramenta alternativa para correção do conteúdo alcoólico dos vinhos. Esta tecnologia é denominada de chaptalização e é comumente aplicada na produção de vinhos no Brasil quando as uvas não atingem o conteúdo de açúcar necessário para elaboração do vinho, pois é indispensável para atingir o conteúdo alcoólico preconizado pela legislação (8,6 a 14,0% v/v de etanol) (BRASIL, 2005). Mediante esta possibilidade, uma alternativa para substituição da sacarose como agente de chaptalização é adicionar suco concentrado da mesma cultivar, permitindo manter as características sensoriais, tornando o estudo do comportamento reológico de sucos de uva concentrado relevante para as vinícolas.

Diante do exposto, o trabalho avaliou o comportamento reológico do suco concentrado da uva Malbec em diferentes concentrações e temperaturas, além de verificar o efeito da temperatura e concentração na densidade, de modo a obter modelos matemáticos que melhor descrevam o comportamento dos parâmetros reológicos e densidade sob a influência da temperatura e da concentração.

2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento reológico do suco concentrado da uva Malbec (*Vitis vinifera*) em diferentes concentrações e temperaturas, bem como verificar a influência destas variáveis na propriedade termofísica densidade, de modo a modelar os parâmetros reológicos e a densidade em função da temperatura e concentração.

2.1 Objetivos Específicos

- Determinar curvas de escoamento (reogramas) para caracterização do tipo de fluido.
- Verificar a influência da temperatura e concentração nos parâmetros reológicos, como índice de consistência e índice de comportamento, através da análise de correlação de Pearson.
- Verificar a influência da temperatura nos parâmetros reológicos, de modo a determinar a energia de ativação através de uma relação tipo Arrhenius.
- Determinar o modelo matemático que combine os efeitos temperatura e concentração no índice de consistência do fluido, de modo a obter a energia única de ativação.
- Determinar viscosidade aparente do fluido em diferentes temperaturas e concentrações, bem como avaliar a influência destas variáveis sobre a viscosidade aparente.
- Determinar a densidade em diferentes concentrações e temperaturas.
- Determinar o modelo matemático que melhor se ajusta aos dados experimentais da densidade em função da temperatura e concentração.
- Determinar o coeficiente de expansão térmica de modo a explicar o efeito da variável temperatura sob a densidade.

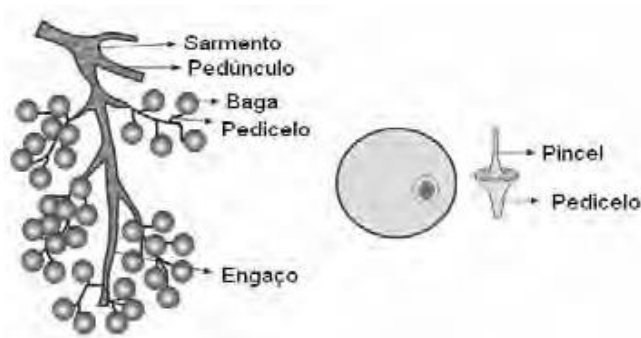
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Generalidades

A videira surgiu antes do homem, sendo a Groelândia sua provável origem paleontológica. Todavia, foram encontrados fósseis de um ancestral da videira com cerca de 50 milhões de anos na Ásia Ocidental, considerada como o berço da vitivinicultura, em especial na região situada entre a Armênia e a Pérsia (AMARANTE, 1983; MANFROI, 2004). Em seguida levada para Europa e desta para o Novo Mundo nos tempos modernos. No entanto, outras pesquisas mostraram que fatores naturais e humanos influenciaram nas características da sua distribuição e produção (HOFF *et al.*, 2018).

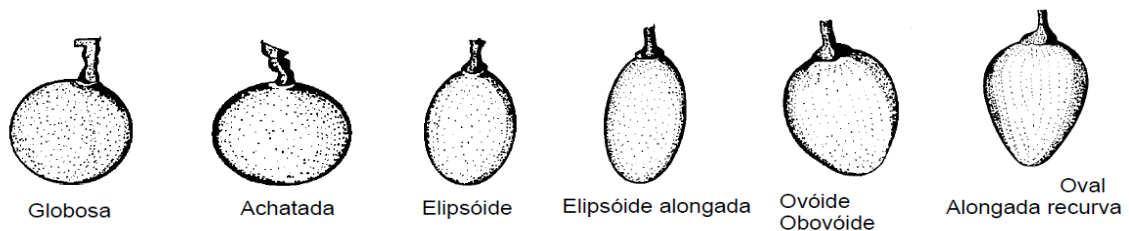
As uvas americanas foram introduzidas nas primeiras décadas do século XIX, nesse período surgiram doenças fúngicas que dizimaram a viticultura colonial, onde apenas as cultivares resistentes às doenças passaram a ser plantadas nas diversas regiões do país, a qual tornaram-se base do desenvolvimento da viticultura comercial nos estados do Rio Grande do Sul e São Paulo, originando os diversos tipos de vinhos no Brasil. Com os avanços tecnológicos dos fungicidas sintéticos, o panorama da produção de uvas modificou-se a partir do século XX, reintroduzindo variedades viníferas, espalhando para região Sul do país. Contudo o cenário da produção de uvas no Brasil vem se modificando ao longo dos anos. Na Tabela 1 observa-se as principais zonas de viticultura do país (LAGO-VANZELA; BAFFI; SILVA, 2015).

Os cachos de uvas (Figura 1) são formados por ramificações lenhosas denominadas engaço ou ráquis, cujas extremidades são chamadas de pedicelo. Na extremidade do pedicelo encontra-se a parte carnosa da uva denominada baga. O feixe que fica preso ao pedicelo, quando se destaca a baga, é chamado de pincel (GOMES, 2006; LAGO-VANZELA, 2011).

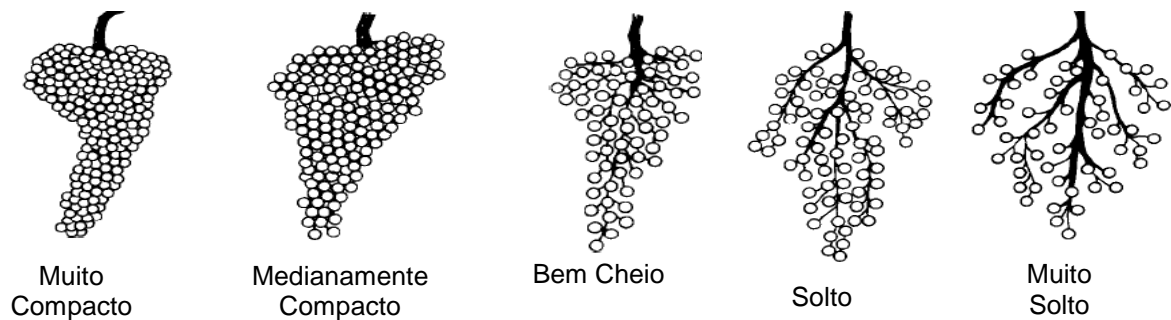
Figura 1 – Estrutura da uva.

Fonte: GOMES, 2006; LAGO-VANZELA, 2011; LAGO-VANZELA; BAFFI; SILVA, 2015.

A baga das uvas possui inúmeras formas (Figura 2), mas dentro de cada casta as mesmas apresentam-se uniformes. As bagas podem ser esféricas, alongadas, ovoides, elipsóides, achatadas, entre outras (GOMES, 2006). Enquanto que seus cachos podem ser classificados conforme compactação (ALBUQUERQUE, 1999), como demonstrado na Figura 3.

Figura 2 – Formato das bagas.

Fonte: ALBUQUERQUE, 1999; GOMES (adaptado), 2006; IGLEZ DE SOUZA, 1996.

Figura 3 – Compacidade dos cachos.

Fonte: ALBUQUERQUE, 1999; IGLEZ DE SOUZA, 1996.

Tabela 1 – Zonas de viticultura e alguns exemplos das uvas cultivadas em cada região.

Zona de viticultura	Estado	Principais cultivares
Subtropical	Paraná (Região Norte)	<i>Uvas para processamento:</i> Niágara Branca <i>Uvas de mesa:</i> Itália, Rubi, Benitaka, Brasil, Niágara Rosada
	Pernambuco e Bahia (Vale do Submédio São Francisco)	<i>Uvas viníferas:</i> Chardonnay, Chenin Blanc, Syrah, Moscato Canelli, Carbenet Sauvignon, Ruby Carbenet, Malbec <i>Uvas de mesa:</i> Itália, Rubi, Red Globe, Benitaka, uvas apirênicas
Tropical	São Paulo (Região Noroeste)	<i>Uvas para processamento:</i> Niágara Branca, Isabel, Bordô, Niágara Rosada <i>Uvas de mesa:</i> Itália, Rubi, Benitaka, Red Globe
	Minas Gerais (Região Norte)	<i>Uvas para processamento:</i> Niágara Rosada <i>Uvas de mesa:</i> Itália, Rubi, uvas apirênicas
Temperada	Rio Grande do Sul	<i>Uvas viníferas:</i> Predominância das uvas brancas Chardonnay, , Sauvignon Blanc, Pinot Grigio e das uvas de castas tintas Carbenet Sauvignon, Carbenet Franc, Merlot, Tannat, Touriga Nacional, Tempranillo <i>Uvas para processamento (americanas híbridas):</i> Destacam-se a Niágara Branca, Couderc 13, Isabel, Bordô, Concord, Jacquez, Seibel 1077 <i>Uvas de mesa:</i> Niágara Rosada
	Santa Catarina	<i>Uvas viníferas:</i> Chardonnay, Carbenet Sauvignon, Merlot, Pinot Noir, Carbenet Franc, Malbec, Sauvignon Blanc <i>Uvas para processamento:</i> Niágara Branca, Isabel, Bordô, Jacquez, Courdec 13 <i>Uvas de mesa:</i> Venus, Niágara Rosada
	São Paulo (Região Sudeste)	<i>Uvas para processamento:</i> Niágara Rosada, Seibel 2 <i>Uvas de mesa:</i> Itália, Rubi, Benitaka
	Minas Gerais (Região Sul)	<i>Uvas para processamento:</i> Niágara Branca, Jacquez, Bordô, Isabel <i>Uvas de mesa:</i> Niágara Rosada

Fonte: GUERRA, 2018; LAGO-VANZELA; BAFFI; SILVA, 2015.

3.2 Panorama da produção de uvas no Brasil

A área plantada com videiras no Brasil (Tabela 2) em 2017 foi de 78.028 hectares, apresentando queda de 0,67% quando comparado com ano anterior. Os maiores centros produtores do país estão localizados na região Sul do Brasil, representando 73,95% do total brasileiro, em especial o estado do Rio Grande do Sul que representou 62,58%. Entretanto o solo gaúcho apresentou redução de 2,43% comparativamente ao ano de 2016. Nos estados de Santa Catarina e Paraná a retração do cultivo abrangeu 2,55% e 7,33% respectivamente. Enquanto que no estado de São Paulo, considerado como grande produtor de uvas de mesa, apresentou redução na área de cultivo de 6,4%. Por outro lado, apesar das reduções nas áreas de cultivo em grandes centros produtores, estados como Pernambuco e Espírito Santo apresentaram aumento, respectivamente, de 26,75% e 36,67% nas áreas de cultivo (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2018; MELLO, 2018).

Tabela 2 - Área cultivada com videiras, por estado, em hectares, 2015/2017.

Estado	2015¹	2016¹	2017²
Rondônia	27	27	10
Piauí	7	7	10
Ceará	38	38	37
Paraíba	122	132	132
Pernambuco	6.814	7.143	9.054
Bahia	2.861	2.519	2.229
Minas Gerais	856	911	907
Espírito Santo	148	180	246
Rio de Janeiro	7	7	16
São Paulo	7.803	7.939	7.431
Paraná	4.465	4.500	4.170
Santa Catarina	4.846	4.823	4.700
Rio Grande do Sul	49.739	50.044	48.830
Mato Grosso do Sul	13	56	56
Mato Grosso	51	56	50
Goiás	150	106	82
Distrito Federal	79	65	68
Brasil	78.026	78.553	78.028

IBGE, 2018 ¹ dados capturados em 24/01/2017; ² dados capturados em 22/01/2018.
 Fonte: ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2018; MELLO, 2018.

Mesmo com as reduções das áreas de plantio, o ano de 2017 apresentou produção recorde atingindo 1,68 milhões de toneladas de uva (Tabela 3), destacando alguns estados como Santa Catarina, Pernambuco, Minas Gerais e Espírito Santo pelo aumento na produção em relação ao ano anterior, enquanto que o estado do Rio Grande do Sul aproximou-se de um milhão de quilos produzidos. Da produção total de uvas produzidas, 818.783 milhões de quilos foram destinadas ao processamento (vinho, sucos e derivados) representando 48,74% da produção total de uvas. Enquanto os demais 51,26% foi destinado ao consumo *in natura* (MELLO, 2018).

Tabela 3 – Produção de uvas, por estado, em toneladas, 2015/2017.

Estado	2015¹	2016¹	2017²
Rondônia	197	197	69
Piauí	168	168	240
Ceará	940	760	708
Paraíba	2.196	2.636	2.620
Pernambuco	237.367	242.967	390.300
Bahia	77.408	62.740	51.090
Minas Gerais	12.615	11.224	13.070
Espírito Santo	2.327	2.469	3.608
Rio de Janeiro	101	101	287
São Paulo	142.631	144.110	133.118
Paraná	69.035	66.000	56.295
Santa Catarina	69.118	33.849	65.800
Rio Grande do Sul	876.215	413.640	956.913
Mato Grosso do Sul	105	981	981
Mato Grosso	981	1.351	1.247
Goiás	4.008	2.566	1.974
Distrito Federal	1.890	1.300	1.700
Brasil	1.497.302	987.059	1.680.020

IBGE, 2018 ¹ dados capturados em 24/01/2017; ² dados capturados em 22/01/2018.

Fonte: MELLO, 2018.

Considerando o total da população residente no Brasil em julho de 2017, juntamente com as quantidades produzidas de uva e seus produtos, somadas as quantidades importadas e deduzidas as exportações, o consumo *per capita* de vinhos, incluindo os espumantes (nacionais juntamente com os importados), resultou em 1,72 litros no ano de 2017, destes 0,14 litros por habitante representa a classe dos espumantes enquanto os 1,58 litros aos demais vinhos. Já o consumo do suco apresentou 1,23 litros por habitante. Cada habitante do país, em média,

apresentou um consumo de 4,11 kg de uvas de mesa (consumo *in natura* e doces) e 0,12 kg de uvas passas (MELLO, 2018).

Os vinhos finos brasileiros são produzidos em três regiões vitivinícolas distintas do país. Uma delas localizada na região Sul, uma na região Nordeste do Brasil, mais especificamente na região localizada no Submédio do rio São Francisco, em Pernambuco e Bahia e outra na região Sudeste (ARAÚJO *et al.*, 2010).

3.2.1 Região Sul

O estado do Rio Grande do Sul, estado de maior área de plantação de uvas do Brasil, também é o estado de maior concentração de uvas destinadas ao processamento para elaboração de vinhos e suco de uva (MELLO, 2017a). A área plantada de uvas no Rio Grande do Sul praticamente duplicou nos últimos 20 anos, sendo a Serra Gaúcha a mais tradicional região produtora de uvas do Brasil, permanecendo em primeiro lugar como região de maior produção do país abrangendo 80,09% da produção de uvas do estado (EMBRAPA UVA E VINHO, 2017).

No Rio Grande do Sul são cultivadas 138 variedades de uvas, sendo que 30 delas somam mais de 95% da área total. As dez cultivares de maior área de produção acumularam 79,65% da área total e são descritas pela ordem: Isabel, Bordô, Niágara Branca, Concord, Niágara Rosada, Seibel 1077, Jacquez, Cabernet Sauvignon, Chardonnay e Isabel Precoce sendo as duas primeiras responsáveis principalmente para elaboração de sucos e vinhos, como também para doces e consumo *in natura* (MELLO; MACHADO, 2017).

Pela distribuição da atividade vitícola do Rio Grande do Sul, das 35 microrregiões definidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a viticultura está presente em 34. Contudo, com base na distribuição espacial e na relevância para a economia microrregional, a viticultura gaúcha apresenta maior destaque em cinco microrregiões. Por outro lado, em Santa Catarina das 20 microrregiões geográficas, a atividade vitícola está presente em 18, porém considera-se que quatro delas são economicamente mais relevantes. Em resumo, as microrregiões, com seus respectivos municípios mais representativos na exploração

vitícola dos dois estados estão listados na Tabela 4 (LAZZAROTTO; TAFFAREL; MONTEIRO, 2016).

Tabela 4 – Microrregião e municípios gaúchos e catarinenses com maior destaque na produção de uvas em 2013.

UF	Microrregião	Principais Municípios	Área (ha)*
Rio Grande do Sul	Caxias do Sul	Bento Gonçalves, Caxias do Sul, Farroupilha, Flores da Cunha e Garibaldi	33.275
	Vacaria	Campestre da Serra, Monte Alegre dos Campos e Vacaria	1.974
	Campanha Central	Santana do Livramento	817
	Serras do Sudeste	Candiota, Encruzilhada do Sul e Pinheiro Machado	591
	Campanha Meridional	Bagé e Dom Pedrito	192
Santa Catarina	Joaçaba	Caçador, Pinheiro Preto, Tangará e Videira	2.109
	Campos de Lages	São Joaquim	277
	Tubarão	Pedras Grandes	149
	Criciúma	Urussanga	91

*Área total de produção de uvas de cada microrregião.

Elaborado com base em dados do IBGE (2015).

Fonte: LAZZAROTTO; TAFFAREL; MONTEIRO, 2016.

No estado do Paraná, a viticultura está voltada para produção de uva de mesa. Já em Santa Catarina, nos últimos anos, tem surgido empreendimentos com produção de uvas para elaboração de vinhos finos (MELLO, 2017b).

Cabe ressaltar que os avanços com pesquisas envolvendo melhorias genéticas das uvas trouxeram novas variedades que são produzidas na região Sul, em destaque a BRS Violeta, lançada em 2006 pela Embrapa Uva e Vinho, que saltou de uma área de nove hectares plantados em 2007 para 240 hectares em 2015, considerada como um sucesso pelos viticultores da região, principalmente na composição de sucos de outras variedades, contribuindo na melhoria de cor e estrutura final do produto (COMACHIO, 2017).

Recentemente, vinculado ao programa de melhoramento genético, a Embrapa lançou duas novas cultivares de uvas, são elas: a BRS Melodia, uva rosada de mesa sem sementes, e a BRS Bibiana, uva para elaboração de vinho branco, com alto teor de açúcar, alta produtividade e resistente a doenças. Ambas novidades adaptam-se às regiões do clima

temperado do sul do país, demandando menor quantidade de insumos para controle de doenças, quando comparadas às outras cultivares de mesma finalidade (ZANELLA; MOURA, 2019; MOURA, 2019)

3.2.2 Região Nordeste – Submédio do rio São Francisco

A região do Vale do Submédio do rio São Francisco apresenta variações nas características de seus vinhos em função de diversos fatores agrônômicos/vitícolas e enológicos, principalmente devido às características ambientais da região, onde é permitida a colheita em qualquer época, conhecida como variação climática intra-anual. Em regiões de clima temperado, o mesmo sofre variações ao longo do ano, todavia as colheitas são sempre realizadas ao final do verão (FERREIRA; COSTA; ANDRADE NETO; LIMA, 2018; GUERRA, 2018; PROTAS; CAMARGO, 2011).

A produção de uva no país ocorre em pequenas propriedades de agricultura familiar com grandes empreendimentos de produção de uvas de mesa e para processamento. Empresas de grande e médio porte têm se instalado na região do Vale do Submédio do rio São Francisco onde ocorre a produção de uvas de mesa, em especial as sem sementes, voltadas ao mercado externo. Nesta região ocorre, também, importantes iniciativas para produção de vinhos e, recentemente, produção de suco (MELLO, 2018; MELLO, 2017b).

Esta região é uma grande produtora de frutas do país, destacando-se a produção de uvas de mesa, vinho e, recentemente, implantação de uvas para produção de sucos a partir de variedades nacionais. Em destaque encontram-se: Isabel Precoce, ‘BRS Violeta’, ‘BRS Cora’ e ‘BRS Magna’, sendo a última lançada pela Embrapa Uva e Vinho em 2012, possuindo ciclo intermediário e ampla adaptação climática, lançada como alternativa para melhoria da cor, da doçura e do sabor do suco de uva do Brasil (FERREIRA; COSTA; ANDRADE NETO; LIMA, 2018; RITSCHER *et al.*, 2012).

3.2.3 Região Sudeste

Outras regiões tropicais, além do Vale São Francisco, merecem destaque no panorama nacional de produção de uvas e vinhos. Os estados de São Paulo e Minas Gerais caracterizam-se por ser regiões emergentes e produzem uvas e vinhos em locais com altitude na faixa de 900 m a 1.300 m de altitude. A elevada altitude destas regiões proporciona climas com temperaturas amenas ao longo do ano (BIROLO; ZENELLA, 2017; PEREIRA *et al.*, 2018). O estado de São Paulo caracteriza-se pela produção de uvas de mesa, com grande produção da uva Niágara Rosada, sendo esta cultivar implementada também na região de clima tropical do estado de Minas Gerais para colheita no período de menor oferta, a exemplo da região de Jales em São Paulo (MELLO, 2017b).

A região Noroeste do estado de São Paulo é um dos principais polos produtores de uvas de mesa, contudo recentemente produtores têm visado o plantio de uvas para produção de sucos de modo a agregar valor ao produto final. Mesmo devido ao déficit hídrico que ocorre no estado durante o período de abril a outubro (período coincidente com ciclo produtivo da uva), a produção ocorre através de mecanismos de irrigação (CONCEIÇÃO; TECCHIO; MOURA; SILVA, 2018).

A região Jales, localizada no noroeste do estado de São Paulo, é uma das principais produtoras de uvas de mesa do estado, apresentando condições térmicas para viticultura durante todo o ano, sendo os meses de maio a agosto os mais favoráveis para uma maior coloração das uvas rosadas e tintas, por apresentarem menores amplitudes térmicas (CONCEIÇÃO; TONIETTO, 2014).

3.3 O gênero *Vitis*

Pertencente ao gênero *Vitis*, a videira é da família das ampelídeas ou vitáceas, na qual estão incluídas todas as variedades europeias, asiáticas e americanas. Dentro deste gênero há em torno de quarenta espécies, sendo a de maior importância a *Vitis vinifera*, pela qualidade de seus vinhos (CATALUÑA, 1988), seja pelo seu consumo na forma de vinhos ou na forma de sucos. O gênero *Vitis* é responsável por muitas espécies não cultivadas, amplamente

distribuídas no sul da Europa, Ásia Menor, leste da Ásia e América do Norte e Central (RUOCCO *et al.*, 2017). Segundo Gomes (2006), o gênero *Vitis* destaca-se dentro da família vitácea, sendo as principais castas:

- *Vitis vinifera*: Cabernet Sauvignon, Cabernet Franc, Merlot, Tannat, Semillon, Chardonnay, Pinot Blanc, Sauvignon Blanc, entre outras;
- *Vitis labrusca*: Niágara Branca, Niágara Rosada, Bordô, Isabel, entre outras;
- *Vitis bourquina*: Jacquez, Hebermont, entre outras; e
- *Uvas híbridas* – Resultante do cruzamento *Vitis vinifera* com *Vitis americana*: Courdec, Moscato Embrapa, Rubia, entre outras.

A espécie *Vitis vinifera* tem origem no Cáucaso, onde foi difundida por toda costa mediterrânea há centenas de anos, tanto para consumo *in natura* quanto para produção de vinhos (CAMARGO; MAIA; RITSCHER, 2016). Devido à propagação vegetativa e a consequente falta de evolução, a casta *Vitis vinifera* é geralmente suscetível a várias pragas e seu cultivo requer uso de porta-enxertos resistente à filoxera (inseto patogênico comumente encontrado na América do Norte). O uso frequente com elevada quantidade de pesticida é necessário para combater fungos patogênicos não nativos da Europa, porém a aplicação destes produtos tem-se tornado insustentável, de forma ambiental e econômica, podendo ocasionar preocupações com áreas altamente povoadas, como a Europa Ocidental, local onde se encontram os principais países produtores de uvas e vinhos do mundo: França, Itália e Espanha (NARDUZZI; STANSTRUP; MATTIVI, 2015). Além disso, uvas não pertencentes à espécie *Vitis vinifera* mostram alta resistência às doenças da videira, como oídio e o míldio. Esta característica chamou a atenção dos produtores de uvas, pois foi considerada uma importante solução para os problemas ambientais consequentes do uso de pesticidas para proteger as culturas de *Vitis vinifera* (BUDIĆ-LETO; MUCALO; LJUBENKOV; ZDUNIĆ, 2018; RUOCCO *et al.*, 2017).

Nos programas de melhoramento genético de videiras, a *Vitis vinifera* nem sempre foi considerada uma boa fonte de cor, enquanto algumas espécies *Vitis labrusca* mostraram um excelente potencial para aprimoramento da cor desta característica sensorial. Contudo, o papel da *Vitis labrusca* no programa de reprodução foi limitado devido ao seu impacto desagradável no aroma (BUDIĆ-LETO; MUCALO; LJUBENKOV; ZDUNIĆ, 2018; NARDUZZI; STANSTRUP; MATTIVI, 2015).

As uvas rústicas, também chamadas de americanas ou híbridas, são originárias da costa leste americana. Dentre as espécies pertencentes a este grupo, destacam-se *V. labrusca* e a *V. bourquina*, além de híbridos interespecíficos que apresentam *Vitis vinifera* em sua genealogia (CAMARGO; MAIA; RITSCHER, 2016).

As uvas americanas representam o principal recurso de variedades do gênero *Vitis*, entretanto tem sido pouco estudada comparada ao gênero *Vitis vinifera*. Os primeiros estudos fenotípicos de uvas americanas foram relatados entre o século XIX e as primeiras décadas do século XX (NARDUZZI; STANSTRUP; MATTIVI, 2015; RUOCCO *et al.*, 2017). Ruocco *et al.* (2017) avaliaram a composição e perfil metabolômico de duas diferentes variedades de uvas híbridas, cinco espécies americanas do gênero *Vitis* e duas cultivares *Vitis vinifera*.

A concentração de açúcares nas uvas varia de acordo com cada cultivar. Na maioria das uvas viníferas, as bagas, no início de seu amadurecimento, começam a acumular quantidades aproximadamente iguais de glicose e frutose, com baixos níveis de sacarose. Em contrapartida, variedades como *Vitis labrusca* também podem acumular quantidades não desprezíveis de sacarose (JEDIYI *et al.*, 2019; LIU *et al.*, 2006; PONI *et al.*, 2018). Destaca-se, também, na variedade *Vitis labrusca*, as elevadas concentrações de polifenóis, como catequinas, derivados de ácido hidroxicinâmico, antocianinas e *trans*-resveratrol em comparação a outras cultivares de uva (DEMIRKOL; TARACKI, 2018).

3.4 Uva Malbec (*Vitis vinifera*)

A uva Malbec (Figura 4) é conhecida, na França, como *cot* ou *côt*. Na Argentina chegou a ser chamada de *Malbeck*, tendo sua origem supostamente no Norte da Borgonha. Atualmente a uva Malbec tem sido plantada cada vez mais na Argentina, onde desenvolveu características bordalesas em termos de aroma e estrutura. As uvas atingem boa maturidade e exuberância e capacidade de envelhecimento e longevidade (FREDDI; VELLOSO; ALVES, 2019).

Figura 4 – Uva Malbec.



Fonte: HIDALGO, 2015.

Sendo “redescoberta” no final da década de 1990 devido ao seu caráter frutado e facilidade em agradar o paladar, atualmente a uva Malbec produz vinhos varietais mais exportados e consumidos, sendo de grande orgulho aos argentinos (HIDALGO, 2015).

A uva Malbec (*Vitis vinifera Malbec*) é a principal cultivar produzida pela Argentina, representando 31% da área de uvas tintas produzidas no país e considerada como cultivar emblema da Argentina, possuindo até seu próprio Dia Mundial, 17 de abril (ANTONIOLLI; FONTANA; PICCOLI; BOTTINI, 2015; HIDALGO, 2015; URVIETA *et al.*, 2018). No Chile é uma variedade mais tânica, utilizada muitas vezes em cortes com a Merlot e a Petit Verdot. Já os australianos não desenvolveram muito bem a uva Malbec, entretanto no Brasil é uma variedade que está em crescimento, principalmente após a popularização e expansão da cultivar na Argentina (FREDDI; VELLOSO; ALVES, 2019).

A qualidade dos vinhos de uva Malbec apresentou significativo avanço quando seu cultivo foi transferido para elevadas altitudes, onde as temperaturas são mais baixas e a amplitude térmica é mais elevada entre o dia e a noite, prolongando o período de amadurecimento das uvas, assim permitindo o desenvolvimento de aromas e sabores mais atraentes e sedutores. Enquanto que a cultivar Cabernet Sauvignon desenvolve-se bem em altitudes 950 metros e a Syrah a 800 metros, a Malbec encontrou seu melhor espaço em altitudes de 1000 metros em relação ao nível do mar (FREDDI; VELLOSO; ALVES, 2019).

Em sua composição, a variedade Malbec apresenta dihidroflavonoides como compostos relevantes, entre os compostos fenólicos de baixo peso molecular. Segundo a literatura, estes compostos estão presentes especialmente nas variedades brancas, desempenhando papel funcional nas bagas das uvas. Todavia, níveis relativamente altos de dihidroflavonoides foram encontrados na cultivar Malbec e vinhos da região de Mendoza (Argentina), que pode representar uma característica distintiva deste tipo de variedade (FANZONE *et al.*, 2015).

3.5 Tecnologia de processamento do suco de uva

De acordo com a Instrução Normativa n° 14, de 08 de fevereiro de 2018, tendo em vista o disposto na Lei n° 7.678, de 08 de novembro de 1988, no Decreto n° 8.198, de 20 de fevereiro de 2014, o suco de uva é a bebida obtida a partir da uva sã, fresca e madura, o qual não poderá conter substâncias estranhas à fruta ou parte do vegetal de sua origem, sem adição de açúcar, aromas sintéticos e corantes ao suco.

Ainda de acordo com a legislação, estão previstas as seguintes designações para os sucos de uva:

- **Suco de uva concentrado:** corresponde ao suco obtido pela desidratação parcial do suco de uva, por meio de um processo tecnológico adequado, suficiente para elevar o conteúdo de sólidos solúveis em no mínimo 50%;
- **Suco de uva desidratado:** corresponde ao suco de uva no estado sólido, obtido pela desidratação do suco de uva integral. Os sucos de uva concentrado e desidratado, quando reconstituídos, devem apresentar os teores de sólidos solúveis originais do suco de uva integral;
- **Suco de uva integral:** corresponde ao suco de uva não concentrado, não diluído e sem qualquer adição de açúcar, corantes e aromas;
- **Suco de uva gaseificado:** corresponde ao suco de uva adicionado de dióxido de carbono (CO₂), de um inteiro e um décimo até três atmosferas, a 20°C; e
- **Suco de uva reconstituído:** corresponde ao suco obtido pela diluição de suco concentrado ou desidratado, até sua concentração original do suco integral ou do teor de sólidos solúveis mínimo estabelecido pelo Padrão de Identidade e Qualidade

(PIQ) do suco de uva integral, sendo obrigatório constar em seu rótulo a origem do suco utilizado para sua elaboração (concentrado ou desidratado), sendo opcional o uso da expressão reconstituído.

Uma característica importante do suco de uva, assim como vinho, é que o mesmo pode ser classificado como tinto, rosé ou branco (Figura 5). Sendo o suco de uva tinto elaborado com uvas tintas, por exemplo, a Bordô, a Concord, Isabel entre outras. Enquanto que o suco rosé é elaborado com uvas rosadas como a Niágara Rosada, entretanto pode-se obter um suco de uva rosé a partir de uvas tintas por meio de tecnologia específica. Já o suco de uva branco será elaborado por uvas brancas, por exemplo, a Niágara Branca (INBRAVIN, 2019).

Figura 5 – Classificação do suco de uva (a) suco de uva tinto; (b) suco de uva rosé e (c) suco de uva branca.



Fonte: INBRAVIN, 2019.

Através do teor mínimo de sólidos solúveis, a legislação brasileira determina que a uva pode atingir um grau de maturação adequado para industrialização. O nível de acidez mínimo, associado ao nível máximo de açúcar, busca evitar a elaboração de sucos

desequilibrados no que se refere à relação açúcar/acidez. Por outro lado, o nível de acidez volátil denuncia os sucos mal elaborados, produzidos com matérias-primas de baixa qualidade, por exemplo, uvas inadequadamente transportadas ou deterioradas pelo tempo excessivo de transporte entre a colheita e seu respectivo processamento. Já o teor de sólidos insolúveis refere-se ao teor máximo de sólidos em suspensão, permitindo diferenciar o produto suco daquele designado de polpa (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

A composição química do suco de uva depende de vários fatores, em especial, sua variedade, estágio de maturação, comportamento do clima e solo e dos tratamentos que o produto é submetido. O suco de uva é constituído, principalmente, por água (81 a 86%), a qual é extraída pelas raízes da videira e acumuladas nas células da fruta. Em ordem decrescente de concentração é possível encontrar os carboidratos (açúcares), representados especialmente por glicose e frutose, em quantidades equivalentes, cujo montante dependerá da cultivar e do nível de maturação da fruta. Estão presentes nas uvas, também, os ácidos orgânicos como os ácidos tartárico, málico e cítrico, os quais determinam a característica ácida dos sucos, estimulando a produção de saliva e suco gástrico quando ingeridos, favorecendo o apetite. O suco de uva também contém alguns minerais como potássio, sódio, cálcio, magnésio, manganês, ferro entre outros (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

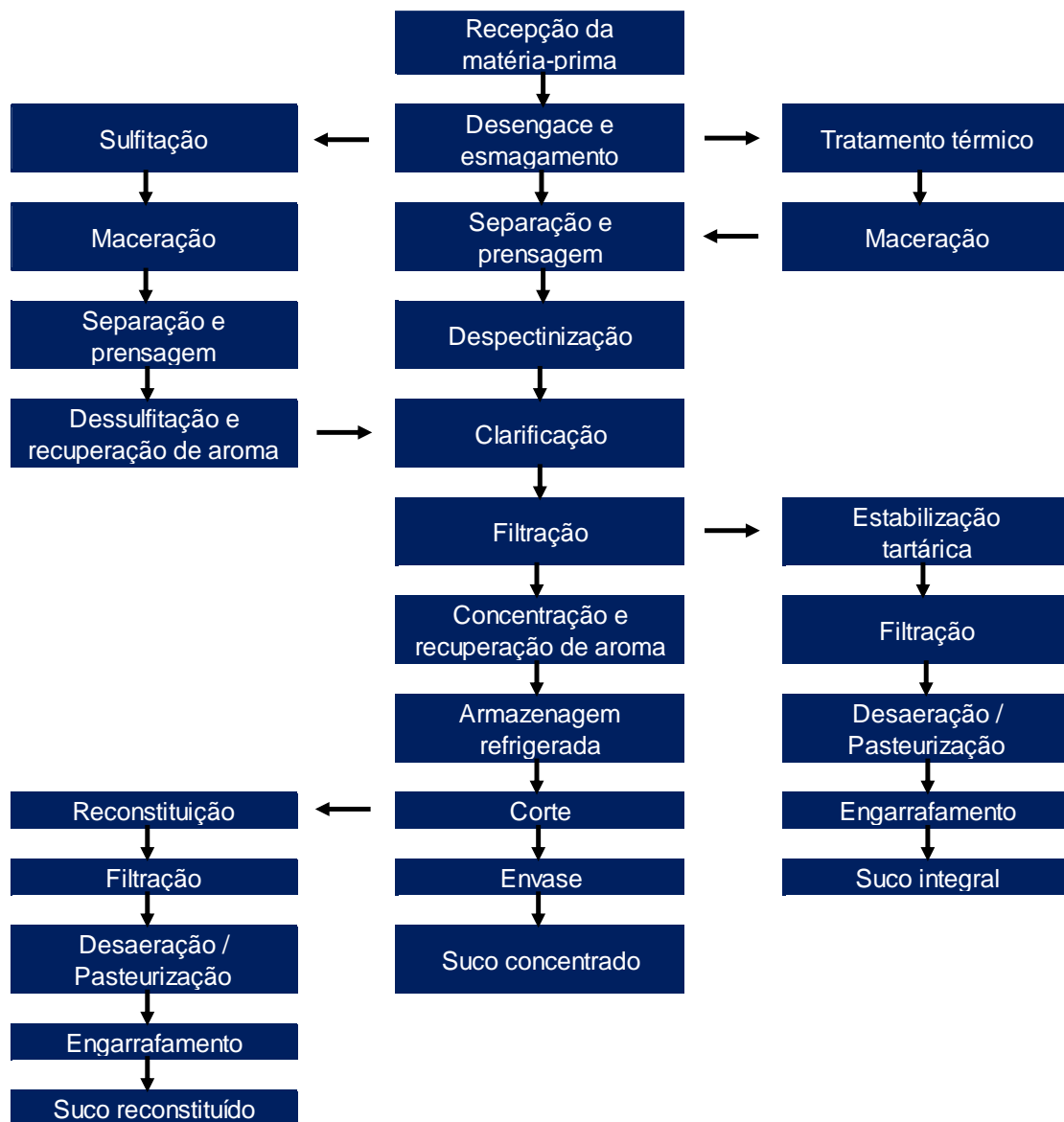
As uvas e os produtos advindos desta matéria-prima apresentam compostos que se destacam no que se refere à elevada capacidade antioxidante, sendo também responsáveis pela cor, adstringência e estrutura dos sucos de uva. Os compostos fenólicos como ácidos fenólicos, resveratrol, antocianinas e taninos são responsáveis por determinar certa funcionalidade ao suco de uva (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018). Evidências científicas mostram que a ingestão modesta de polifenóis a longo prazo ocasiona efeitos benéficos à saúde, como redução de várias doenças crônicas, como por exemplo, doenças coronarianas, diabetes tipo 2, cânceres específicos e distúrbios neurodegenerativos (NASH *et al.*, 2018).

O processamento para produção do suco de uva deve privilegiar a conservação do frescor, da coloração e do aroma da uva de origem, ou seja, capacidade de transferir e manter ao máximo as características da uva fresca. Logo deve ser evitada quaisquer alterações microbiológicas ou enzimáticas. Segundo Barnabé e Marzarotto (2018), o fluxograma (Figura 6) representa as etapas a serem efetuadas para produção do suco de uva concentrado, integral e reconstituído, por meio dos processos de extração Flanzky e Welch, sendo cada etapa descrita pelos mencionados autores.

3.5.1 Recepção da matéria-prima

Na recepção da matéria-prima ocorre a identificação da variedade da uva, avaliação de seu estado sanitário, determinação do teor glucométrico e separação de restos de vegetação eventualmente presentes. Esta etapa apresenta fundamental importância, pois está relacionada diretamente à qualidade do suco produzido, uma vez que uvas com estado sanitário comprometido ou com estágio de maturação incompleto resulta em produto de baixa qualidade e fora dos padrões previstos pela legislação (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

Figura 6 – Fluxograma do processamento de uva para produção de suco.



Fonte: BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018.

3.5.2 *Desengace e esmagamento*

O processo de produção do suco inicia-se pelo esmagamento da uva. Nesta operação empregam-se máquinas que promovem a separação das bagas do engaço e, em seguida, realiza-se o esmagamento das uvas pela utilização de rolos, designadas de desengaçadeiras/esmagadeiras. O esmagamento deve ocorrer de forma suave, de modo a promover o rompimento da película, sem que haja rompimento das sementes. Máquinas que utilizam sistema centrífugo devem ser evitadas, pois promovem o dilaceramento das partes sólidas. Após o esmagamento, as uvas são acondicionadas em um tanque pulmão de fundo cônico, provido de agitador de pás de baixa rotação, o qual irá alimentar de forma contínua as etapas seguintes (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

3.5.3 *Extração*

A próxima etapa consiste na extração, etapa na qual são identificados dois processos básicos de produção de suco de uva, que se diferenciam pelo método. Um dos processos prevê a maceração (período o qual a parte sólida permanece em contato com o mosto) sulfurosa da uva esmagada para extração, a separação do suco sulfitado, conservação em tanques até o momento da comercialização, quando é dessulfitado e engarrafado. Este processamento é denominado de processo Flanzzy. O outro processo, conhecido por Welch, prevê a extração por aquecimento da uva, separação do suco, estabilização e engarrafamento, sendo este procedimento de grande potencial, pois proporciona produtos de melhor qualidade sensorial e sem resíduo de sulfitos (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

3.5.3.1 *Processo de extração por sulfitação (Flanzzy)*

Consiste de um procedimento de baixo de custo e de fácil execução, que permite produção de sucos tintos, rosados e brancos. Este procedimento prevê o desengace e esmagamento da uva, seguido do abafamento com dióxido de enxofre que, quando em contato

com a uva esmagada, promove extração da cor e outros sólidos solúveis da casca, garantindo a estabilidade microbiológica e enzimática do suco, protegendo-o da ação de micro-organismos, bem como de enzimas oxidantes. O dióxido de enxofre protege o ácido ascórbico, a riboflavina e o suco do efeito de envelhecimento provocado pelo oxigênio. O suco extraído por este procedimento conserva-se por longos períodos até o momento da sua utilização, oportunidade a qual é dessulfitado. A razão de uva esmagada por dióxido de enxofre deverá ser de 0,8 a 1 g/L. O tempo de contato é de dois a quatro dias, quando o suco é separado por prensagem e armazenado em tanques. Deve-se realizar o controle de dióxido de enxofre livre, sendo ajustado para valores entre 250 a 300 mg/L de modo a evitar alterações microbiológicas (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

O dióxido de enxofre é uma substância muito volátil, sendo assim de fácil remoção do suco. Equipamentos especialmente projetados evaporam o dióxido de enxofre em processo contínuo por meio da ebulição do suco sob vácuo. Sendo a temperatura e vácuo ajustados de modo a não conferir sabor de cozido ao suco (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

Esta técnica apesar de promover prejuízos à qualidade do suco, como perda de aromas no processo de dessulfitação, e das dificuldades inerentes à separação dos sulfitos, a simplicidade e economia do processo faz com que o emprego da técnica persista ainda na atualidade. Os sucos produzidos por este procedimento podem apresentar teores de metanol de três a cinco vezes maiores que o método Welch, devido o contato entre do dióxido de enxofre com as partes sólidas da uva permitindo que as substâncias pécticas da uva sejam hidrolisadas com liberação de álcool metílico (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

3.5.3.2 *Processo de extração por calor (Welch)*

Esta tecnologia é alternativa ao método de Flanzy e permite produzir sucos bem caracterizados, os quais conservam cor e aroma. Os níveis de qualidade alcançados permitem superar as limitações impostas pelos custos mais elevados do processo. O tratamento térmico da uva esmagada tem por objetivo principal facilitar a extração das substâncias existentes no interior das células da casca da uva. As uvas sãs devem ser tratadas ao menos a 65°C, para proporcionar o mínimo de extração de cor, enquanto uvas atacadas por fungos devem ser submetidas às temperaturas superiores. A inativação das enzimas naturais do suco de uva,

segundo a literatura, pode ser alcançada com aquecimento de 82°C durante nove segundos, promovendo a hidrólise de outras enzimas como a polimetilesterase (PME) (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

O aquecimento ocorre de forma indireta, empregando trocadores de calor tubulares ou de superfície raspada, empregando uso de água quente em lugar de vapor direto, permitindo ajuste mais fino da temperatura evitando superaquecimento da massa. O processo deve ocorrer de forma contínua, de modo a não esvaziar o tanque pulmão, alimentando continuamente o trocador de calor (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

3.5.4 *Separação e prensagem*

Ao término da extração é realizada a separação do suco das partes sólidas (bagaço). A operação pode ser executada em várias etapas, iniciando com um esgotamento e finalizando com uma ou duas prensagens. Os aspectos mais importantes a serem considerados nesta etapa consistem em evitar a dilaceração do bagaço e, ao mesmo tempo, realizar uma boa prensagem, otimizando a relação qualidade – rendimento. Dependendo do tipo de prensa utilizada no processo de separação das cascas pode ser conveniente separar previamente o suco livre, deixando a massa de sólidos mais estruturada, facilitando o processo de prensagem (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

3.5.5 *Clarificação*

O suco recém-separado das cascas apresenta-se turvo em função da presença de restos de películas, sais de potássio e substâncias coloidais, tais como a pectina, substâncias albuminoides e tânicas. O nível de insolúveis é variável, entre 2 e 8%. A pectina presente atua de forma a dificultar a precipitação das demais impurezas, fator positivo quando deseja-se produzir suco turvo (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

A clarificação pode ocorrer de forma espontânea pela ação de esterases, enzimas naturalmente presentes em frutas ricas em pectinas, as quais promovem a hidrólise da pectina

liberando metanol e ácido pécico insolúvel. No entanto, a ação deste processo pode levar semanas, o que torna propício as ações microbianas. Desta forma é conveniente empregar enzimas polivalentes na clarificação de sucos, que incorporem pectinases, arabinases e proteases de modo a obter rapidamente efeito clarificante e estabilizante pela hidrólise de gomas, mucilagens e coloides em geral (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

A clarificação efetiva do suco pode ser acelerada pela adição de clarificantes (colagem), que é realizada assim que comprovada a degradação da pectina. Para este fim, pode-se empregar bentonita, que elimina as proteínas remanescentes, bem como dióxido de silício associado à gelatina. Esses clarificantes agem produzindo floculações que promovem decantação das substâncias causadoras de turvações. A colagem e centrifugação, ou colagem e filtração a vácuo, em processo contínuo, tornam a clarificação muito rápida e eficiente (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

Uma forma de obter a clarificação sem adição de coadjuvantes clarificantes está no emprego de centrífugas ou filtro rotativo a vácuo. A centrifugação permite eliminar partículas mais grossas em processo contínuo, inclusive células de leveduras presentes, com elevadas vazões. A filtração a vácuo, por sua vez, dadas às suas características, pode ser empregada inclusive na recuperação do suco presentes nas borras de fundo de tanque e na filtração d suco oriundo das prensas rosca sem-fim (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

3.5.6 Filtração

O suco clarificado, obtido por decantação simples, utilizando clarificantes ou não, por centrifugação ou filtração a vácuo, ainda apresenta alguns restos de sólidos suspensos que podem ser removidos, de modo econômico, por filtração. De acordo com o nível de turvação, pode ser conveniente filtrar em duas etapas, uma de desbaste e outra de brilhoamento, que podem ser executadas com um filtro de pressão (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

3.5.7 Estabilização tartárica

Dependendo do destino do suco, o mesmo deverá ser estabilizado quanto aos sais tartáricos que se insolubilizam e precipitam em baixas temperaturas. A estabilização pode ser obtida mantendo o suco próximo de zero graus Celsius por alguns dias. Na sequência, o suco é separado do sedimento e filtrado a frio. De todo modo, a estabilização tartárica deve ser realizada logo após o processo de despectinização e da clarificação, pois os sais tartáricos cristalizam com maior facilidade em sucos limpos que nos turvos. A partir deste momento, o suco, que foi clarificado, filtrado e estabilizado, pode ser colocado à venda ou armazenado para uso posterior. A vulnerabilidade do produto, entretanto, exige a adoção de algum meio que o preserve de alterações (BARNABÉ; MARZAROTTO, 2018).

3.6 Aspectos reológicos

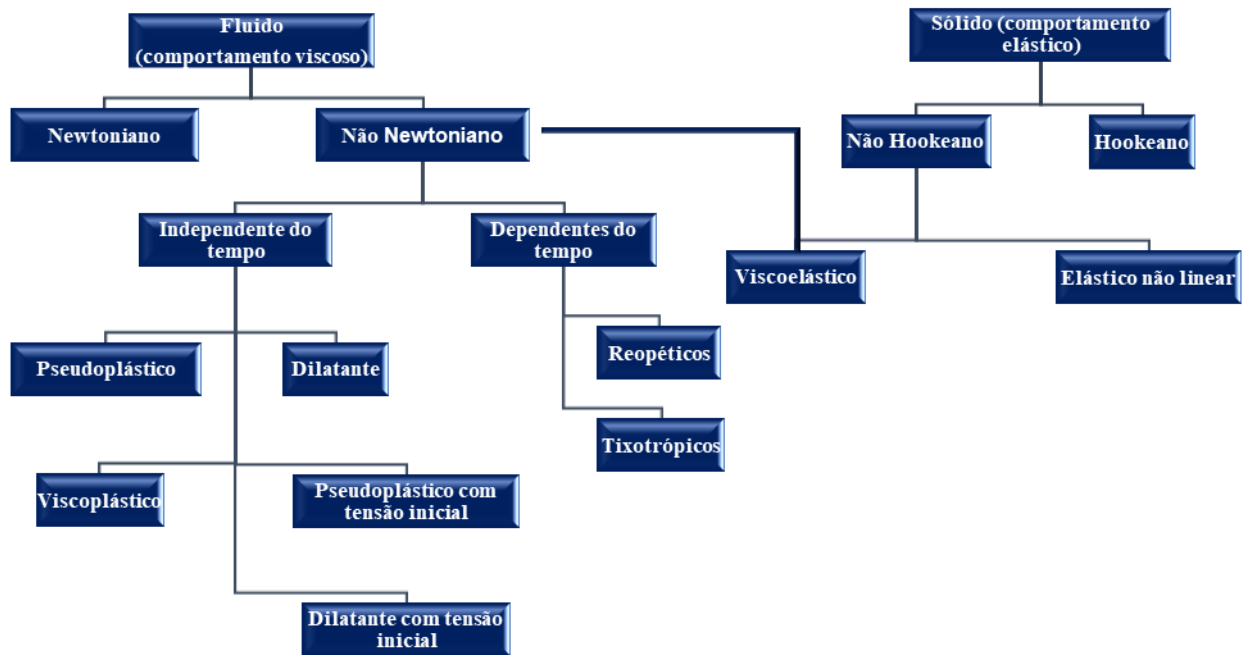
A reologia é a ciência da deformação e escoamento da matéria. A reologia estuda a forma como diversos materiais respondem a uma força aplicada sobre eles, sejam estes sólidos, líquidos ou gasosos (STEFFE, 1996). Sólidos ideais deformam-se elasticamente e a energia requerida para deformação é completamente recuperada quando a tensão é removida. Já os fluidos ideais, como líquidos e gases, deformam-se irreversivelmente, apenas fluem. A energia, neste caso, é dissipada sob a forma de calor e não pode ser recuperada pela remoção da tensão (SCHARAMM, 2006).

A Figura 7 demonstra uma classificação simplificada da reologia dos materiais, na qual em seus extremos encontram-se os materiais puramente newtonianos, materiais idealmente viscosos, e os materiais puramente Hookeanos, materiais idealmente elásticos (STEFFE, 1996).

Os estudos reológicos são importantes para o projeto de operações unitárias, assegurando a alta qualidade dos alimentos e bebidas e a otimização dos processos. Além do mais, as abordagens reológicas são empregadas como ferramentas para engenharia de alimentos, uma vez que a reologia está ligada diretamente ao processamento e estabilidade do alimento, bem como às percepções sensoriais (DE CASTILHOS; BETIOL; CARVALHO; TELIS-

ROMERO, 2017; AUGUSTO; IBARZ; CRISTIANINI, 2012; NETO; DE CASTILHOS; TELIS; TELIS-ROMERO, 2014).

Figura 7 – Classificação simplificada do comportamento reológico dos materiais.



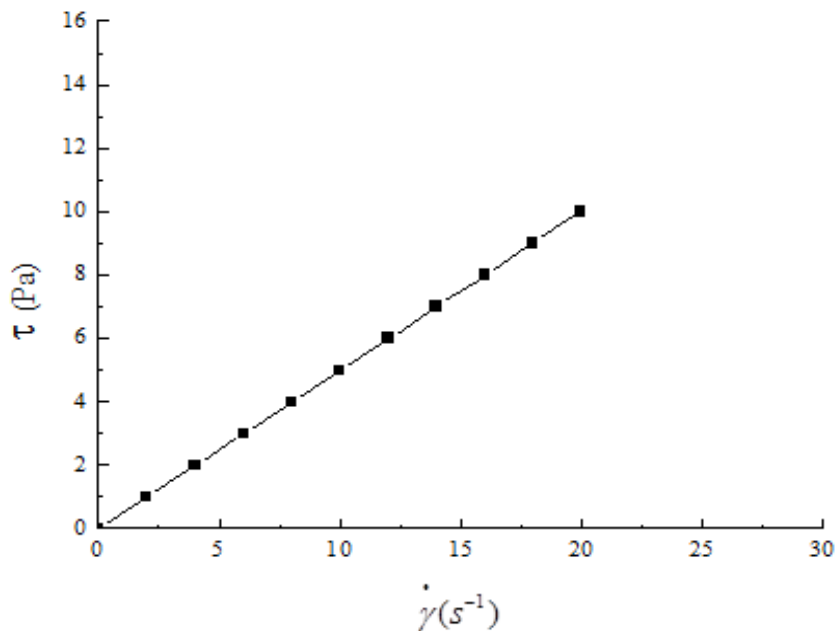
Fonte: STEFFE, 1996 (adaptado); GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012 (adaptado).

3.6.1 Reologia de fluidos

De acordo com seu comportamento reológico, os fluidos podem ser classificados em diferentes categorias, conforme demonstrado na Figura 7. Uma forma de classificar o comportamento dos fluidos pode ser realizada através da viscosidade. A viscosidade dos fluidos Newtonianos é influenciada apenas pela temperatura do fluido e por sua composição. Fluidos que obedecem à Lei da Viscosidade de Newton são denominados fluidos Newtonianos, estes fluidos apresentam relação linear entre a tensão de cisalhamento (τ) e a taxa de deformação ($\dot{\gamma}$), sendo seu gradiente de velocidade constante e, conseqüentemente, são fluidos

independentes do tempo (Figura 8). Água, óleos, solventes orgânicos, soluções de sacarose, soluções de compostos de baixo peso molecular e gases são alguns exemplos de fluidos que possuem este tipo de comportamento reológico (GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012). Açúcar líquido invertido (60 a 90% de inversão), em temperaturas entre 17 e 65°C (GRATÃO; BERTO; SILVEIRA JÚNIOR, 2004), caldo de cana clarificado em temperatura entre 4 a 100°C (ASTOLFI-FILHO *et al.*, 2011), são considerados fluidos newtonianos (CAPELLI, 2012).

Figura 8 – Curva característica de comportamento reológico Newtoniano.



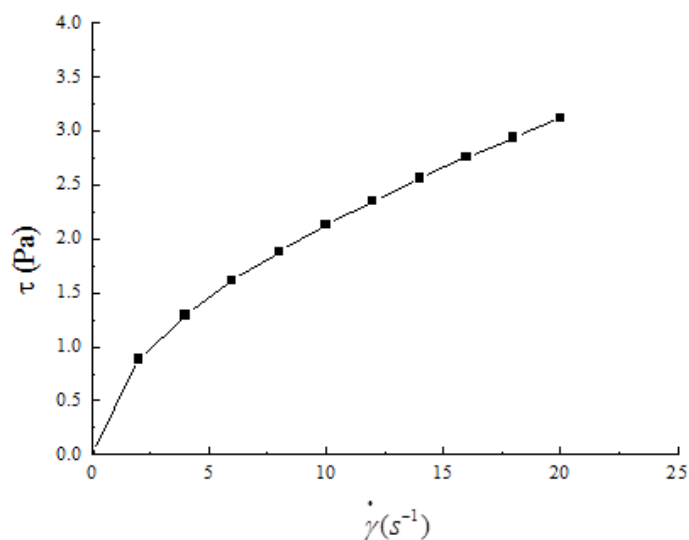
Fonte: AUTOR.

A maioria dos alimentos é classificada na categoria de fluidos Não Newtonianos. Neste tipo de fluido a taxa de cisalhamento também influencia na viscosidade; sendo assim, os fluidos Não Newtonianos não apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e taxa de deformação. Nos fluidos Não Newtonianos a viscosidade newtoniana (μ) é substituída por uma viscosidade aparente (μ_{ap}), a qual é válida somente para uma taxa de deformação, ou seja, se a taxa de deformação muda, o valor de μ_{ap} também muda (TELIS ROMERO; DITCHFIELD, 2016).

De acordo com a Figura 7, observa-se que os fluidos Não Newtonianos são divididos em dois grandes grupos: fluidos dependentes do tempo e fluidos independentes do tempo. Para os fluidos classificados como independentes do tempo, à temperatura constante, tem-se que viscosidade aparente depende unicamente da taxa de deformação, por outro lado, os fluidos classificados como dependentes do tempo, a viscosidade aparente também depende do tempo de aplicação da tensão de cisalhamento (TELIS ROMERO; DITCHFIELD, 2016).

A maioria dos fluidos Não Newtonianos é independente do tempo, e a taxa de acréscimo na tensão de cisalhamento diminui com o aumento da taxa de deformação (GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012). Tecnicamente, isto pode significar que, para certa pressão ou força, uma massa maior pode ser movimentada ou a energia para manter a mesma taxa de cisalhamento pode ser reduzida. Fluidos que sofrem diminuição da viscosidade, com o aumento da taxa de deformação, são denominados de pseudoplásticos (Figura 9) (SCHARAMM, 2006). De acordo com Holdsworth (1971), o comportamento pseudoplástico pode ser explicado pela modificação da estrutura de longas cadeias moleculares com o aumento do gradiente de velocidade (taxa de deformação). Essas cadeias tendem a se alinhar paralelamente às linhas de corrente, diminuindo a resistência ao escoamento. Em altas taxas de deformação esses fluidos tendem a apresentar comportamento newtoniano, devido à completa orientação das cadeias ou partículas. Essa classe de fluidos é representada por produtos como polpas e sucos concentrados de frutas e leite concentrado (TELIS ROMERO; DITCHFIELD, 2016).

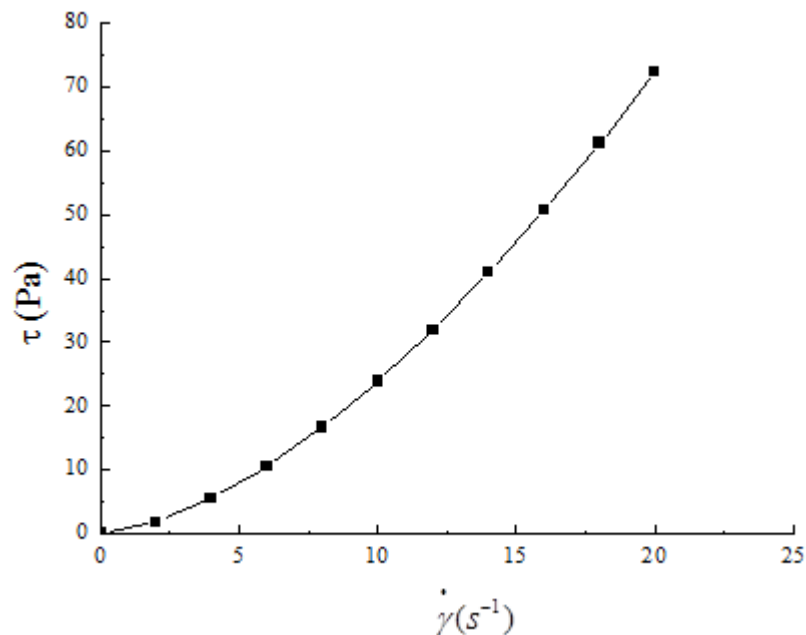
Figura 9 – Curva característica de comportamento reológico pseudoplástico.



Fonte: AUTOR.

Outra categoria de fluidos Não Newtonianos independentes do tempo são os chamados dilatantes (Figura 10), que exibem comportamento oposto ao pseudoplástico, ou seja, a tensão de cisalhamento aumenta com o aumento da taxa de deformação. O fenômeno da dilatância, por sua vez, pode ser explicado devido à existência de um sistema de partículas densamente empacotado. Caso este sistema seja submetido ao cisalhamento, deverá ocorrer separação das partículas antes do deslizamento entre elas, por consequência, haverá aumento global do volume ocupado pelas partículas. À medida que as tensões aumentam, as partículas passam a interagir entre si, aumentando a viscosidade do fluido (GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012). Esse tipo de fluido raramente é encontrado, porém alguns exemplos de produtos que apresentam esse comportamento podem ser observados em alguns tipos de mel, suspensão de amido, entre outros (TELIS ROMERO; DITCHFIELD, 2016).

Figura 10 – Curva característica de comportamento reológico dilatante.

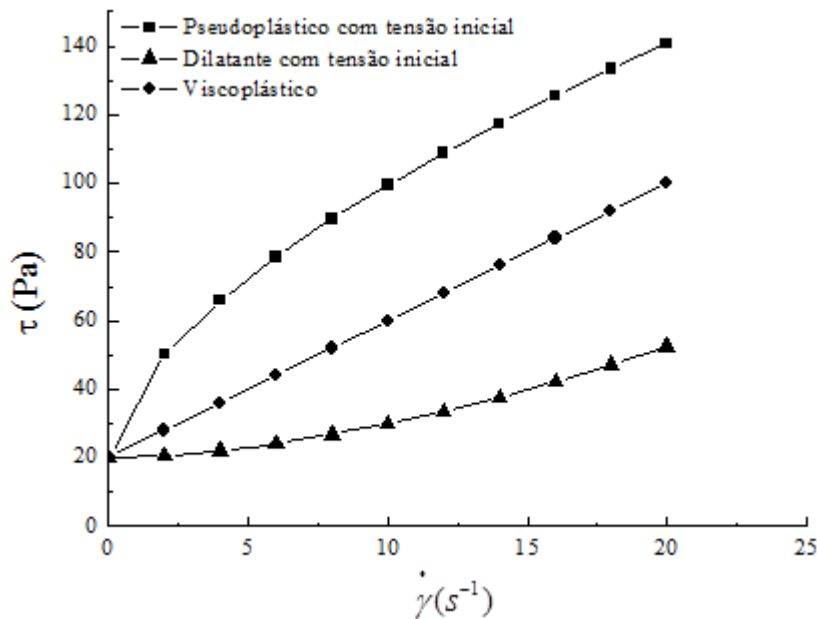


Fonte: AUTOR.

Dentro dos fluidos Não Newtonianos independentes do tempo há aqueles que requerem uma tensão inicial (ou tensão residual) de escoamento, ou seja, o escoamento se dá depois de aplicada uma tensão inicial sob qual o escoamento inicia (ASTOLFI-FILHO, 2011). Enquadram-se nessa classificação as soluções concentradas de polímeros ou dispersões concentradas de proteínas (GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012). Estes fluidos são

denominados de Binghamianos, ou plásticos de Bingham ou viscoplásticos, quando apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento com a taxa de deformação. De forma análoga os fluidos pseudoplásticos e dilatantes também podem apresentar tensão inicial de escoamento. Na Figura 11 apresentam os fluidos Não Newtonianos com tensão inicial de escoamento.

Figura 11 – Curvas de escoamento de comportamento reológico com tensão inicial de escoamento.



Fonte: AUTOR.

Com relação aos fluidos Não Newtonianos dependentes do tempo, é possível destacar os tixotrópicos e os reopéticos (ou antitixotrópicos). Para os fluidos tixotrópicos a viscosidade aparente diminui com o tempo a uma taxa de deformação constante, enquanto para os fluidos denominados como reopéticos ocorre comportamento inverso, isto é, a viscosidade aparente aumenta com o tempo a uma taxa de cisalhamento constante (TELIS ROMERO; DITCHFIELD, 2016).

3.6.2 Modelos Reológicos

Os modelos reológicos podem se relacionar com as propriedades intrínsecas e extrínsecas do fluido, como pH, concentração, temperatura, índice de maturação, entre outros. Estes modelos são indispensáveis para o dimensionamento de equipamentos, controle de qualidade, dimensionamento e controle de processos (GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012). Bird, Stewart e Lightfoot (1960), definiram que as propriedades reológicas dos fluidos, em geral, podem ser definidas conforme a Equação 1, que relaciona a tensão de cisalhamento (τ) aplicada ao fluido, com o gradiente de velocidade ou taxa de deformação ($\dot{\gamma}$). Logo, pode-se dizer que o modelo reológico tem como principal utilização a representação matemática entre os valores experimentais.

$$\tau = f(\dot{\gamma}) \quad (1)$$

De modo geral, os modelos reológicos são isotérmicos, ou seja, descrevem o comportamento dos fluidos a uma temperatura constante, sendo seus respectivos parâmetros função da temperatura (GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012). Os modelos reológicos mais empregados estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Modelos reológicos para descrever o comportamento de fluidos.

Modelos	Equação
Lei de Newton	$\tau = \mu \dot{\gamma}$ (2)
Lei da Potência ou Ostwald-de-Waele	$\tau = K \left(\dot{\gamma} \right)^n$ (3)
Viscoplástico ou Bingham	$\tau = \tau_0 + \mu_{pl} \dot{\gamma}$ (4)
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + K \left(\dot{\gamma} \right)^n$ (5)

τ : tensão de cisalhamento (Pa); μ : viscosidade dinâmica (Pa.s); K : índice de consistência (Pa.sⁿ); n : índice de comportamento do fluido (adimensional); μ_{pl} : viscosidade plástica de Bingham (Pa.s); τ_0 : tensão inicial de cisalhamento (Pa).

Fonte: SATO; CUNHA, 2007 (adaptado).

A lei da viscosidade de Newton relaciona a tensão de cisalhamento com a taxa de deformação, a qual a constante de proporcionalidade é descrita pela viscosidade dinâmica (μ), matematicamente é representada pela Equação 2, sendo a viscosidade constante.

Em geral os fluidos alimentícios não apresentam comportamento reológico Newtoniano. O modelo de Ostwald-de Waele, ou Lei da Potência, é um modelo (Equação 3) que tem sido amplamente utilizado para descrever o comportamento reológico de fluidos alimentícios, principalmente sucos de frutas, especialmente em operações de manuseio, aquecimento e resfriamento, devido ser considerado um modelo simples de ser utilizado (QUEK; CHIN; YUSOF, 2013).

O índice de comportamento do fluido (n) pode assumir valor menor, igual ou maior do que a unidade. Para o caso de valor menor que a unidade o fluido apresentará comportamento pseudoplástico, ou seja, quanto menor o valor do índice de comportamento, mais intenso será seu comportamento pseudoplástico (GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012). Adorno (1997) afirma que o valor de n decresce com o aumento do conteúdo de sólidos, ao passo que para maioria dos fluidos, o valor deste parâmetro é pouco influenciado pela temperatura. Em contrapartida, para valores superiores à unidade em relação ao índice de comportamento, o fluido é classificado como dilatante, isto é, a taxa da tensão de cisalhamento aumenta com o aumento da taxa de deformação. Quando o índice de comportamento apresentar valor igual à unidade, o modelo de Ostwald-de Waele reduz-se ao modelo de Newton, logo neste caso o índice de consistência (K) corresponde a viscosidade do fluido (TELIS ROMERO; DITCHFIELD, 2016).

Existem fluidos que não podem ser descritos pelo modelo da Lei da Potência, pois sua estrutura interna necessita de uma tensão inicial para o início do escoamento. Abaixo dessa tensão inicial, o material apresenta características de um sólido, permanecendo em repouso, iniciando o escoamento somente após a tensão de cisalhamento assumir valores acima do correspondente à tensão inicial (GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012). A representação matemática deste tipo de fluido está descrita na Equação 4, conhecida como Modelo de Bingham. Importante destacar para este modelo, quando a tensão inicial de escoamento for nula, o modelo reduz-se ao modelo de Newton.

De forma análoga ao modelo de Bingham, o modelo de Herschel-Bulkley (Equação 5) consiste de uma extensão do modelo da Lei da Potência (Equação 3), utilizado para descrever o comportamento de fluidos pseudoplásticos e dilatantes com tensão inicial de escoamento. O

modelo de Herschel-Bulkley é considerado muito útil devido os comportamentos Newtoniano (para $\tau_0 = 0$ e $n=1$), Lei da Potência (para $\tau_0 = 0$) e modelo de Bingham (para $n=1$) serem considerados casos particulares de modelos mais abrangentes (GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012).

Vélez-Ruiz e Barbosa-Cánovas (1998) utilizaram este modelo para descrever o comportamento reológico de leite concentrado, enquanto que Guerreiro e Alzamora (1997) e Ditchfield, Tadini, Singh e Toledo (2004) utilizaram para descrever o comportamento reológico de purê de banana. Outros trabalhos como de Telis-Romero (1999) e Sato e Cunha (2007) utilizaram o modelo de Herschel-Bulkley para descrever o comportamento reológico de suco de laranja concentrado e polpa de jabuticaba, respectivamente.

Além dos modelos descritos na Tabela 5, outros autores desenvolveram modelos matemáticos para descrever o comportamento reológico de fluidos independentes do tempo, como o modelo de Casson (1959) (Equação 6), sendo este adotado como oficial para descrever o escoamento de chocolate pela *International Office of Cocoa and Chocolate*. A Tabela 6 apresenta alguns desses outros modelos. Vidal (1997) também utilizou o modelo de Casson na descrição do comportamento da polpa de manga integral, filtrada e centrifugada.

Tabela 6 – Modelos reológicos para fluidos independentes do tempo.

Modelos	Equação
Casson	$\tau^{0,5} = (\tau_0)^{0,5} + K_1 \left(\dot{\gamma} \right)^{0,5} \quad (6)$
Casson modificado	$\tau^{0,5} = (\tau_0)^{0,5} + K_1 \left(\dot{\gamma} \right)^{n_1} \quad (7)$
Ellis	$\dot{\gamma} = K_1 \tau + K_2 \tau^{n_1} \quad (8)$
Carreau	$\mu = \mu_\infty + (\mu_0 - \mu_\infty) \left[1 + \left(K_1 \dot{\gamma} \right)^2 \right]^{\frac{(n-1)}{2}} \quad (9)$
Cross	$\mu = \mu_\infty + \frac{\mu_0 - \mu_\infty}{1 + \left(K_1 \dot{\gamma} \right)^n} \quad (10)$
Sisko	$\tau = \mu_\infty \dot{\gamma} + K \left(\dot{\gamma} \right)^n \quad (11)$

K_1 , K_2 e n_1 são constantes arbitrárias e índice de potência, respectivamente, e μ_∞ é a viscosidade de corte infinita.

Fonte: GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012; TELIS ROMERO; DITCHFIELD, 2016.

Mizhari e Berk (1972) mostraram que o modelo de Casson não descreve o comportamento real para baixos valores de taxa de deformação em suco de laranja concentrado. Dessa forma, o modelo de Mizhari e Berk surgiu como uma modificação do modelo de Casson, tendo sido criado para ser utilizado no estudo do escoamento de suco de laranja concentrado e suspensões de partículas interagindo entre si em um meio pseudoplástico.

3.6.3 Viscosidade

A viscosidade é um importante parâmetro reológico de um fluido. Em muitas operações unitárias na indústria de alimentos, o conhecimento da viscosidade do fluido é essencial para determinação do equipamento mais apropriado. Em processos alimentícios, pela medição da viscosidade permite-se controlar a qualidade da matéria-prima, avaliar o efeito das variações que ocorrem durante o processamento e estimar o produto final. O termo viscosidade é comum quando referenciado a fluidos Newtonianos, enquanto para fluidos Não Newtonianos o termo mais apropriado a ser utilizado é viscosidade aparente (BOFO, 2015).

A viscosidade aparente (μ_{ap}) refere-se à viscosidade de fluidos Não Newtonianos, a qual somente é válida para determinada taxa de cisalhamento, ou seja, se a taxa de deformação muda a viscosidade aparente também muda (em fluidos Newtonianos a viscosidade aparente é constante), sendo matematicamente determinada conforme a Equação 12.

$$\mu_{ap} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (12)$$

Em fluidos que seguem a Lei da Potência ou os modelos de Bingham e Herschel-Bulkley, a viscosidade aparente pode ser determinada conforme descrito nas Equações de 13 a 15 na Tabela 7.

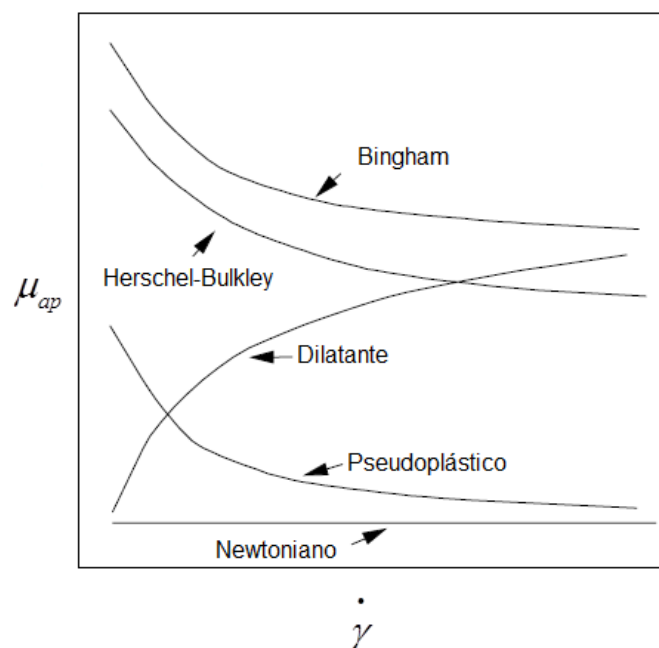
Tabela 7 – Viscosidade aparente de fluidos não newtonianos.

Modelo	Equação
Lei da Potência	$\mu_{ap} = K \left(\dot{\gamma} \right)^{n-1} \quad (13)$
Bingham	$\mu_{ap} = \mu_{pl} + \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} \quad (14)$
Herschel-Bulkley	$\mu_{ap} = K \left(\dot{\gamma} \right)^{n-1} + \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} \quad (15)$

K : índice de consistência (Pa.sⁿ); n : índice de comportamento do fluido (adimensional); μ_{pl} : viscosidade plástica de Bingham (Pa.s); τ_0 : tensão inicial de cisalhamento (Pa).

Fonte: GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012 (adaptado); TELIS ROMERO; DITCHFIELD, 2016 (adaptado).

A viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação em fluidos pseudoplásticos e plásticos de Bingham. Com relação aos fluidos Herschel-Bulkley, a viscosidade aparente decrescerá com altas taxas de deformação quando $0 < n < 1$, mas comportamento contrário é observado para $n > 1$. Já em fluidos dilatantes ela aumenta com o aumento da taxa de deformação (GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012), conforme descrito na Figura 12.

Figura 12 – Viscosidade aparente de fluidos independentes do tempo.

Fonte: STEFFE, 1996.

3.6.4 Influência da temperatura e concentração sobre o comportamento reológico de fluidos alimentícios

Durante a fabricação, armazenamento, transporte, venda e consumo, os fluidos alimentícios são submetidos a variações de temperatura. Por esta razão, é importante o conhecimento das propriedades reológicas dos produtos em função da temperatura. No caso de fluidos Newtonianos, uma expressão que correlaciona temperatura e viscosidade é uma equação tipo Arrhenius (Equação 16), entretanto para fluidos Não Newtonianos, a viscosidade aparente é geralmente relacionada a uma determinada taxa de deformação, em detrimento à viscosidade (IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2002).

$$\mu_{ap} = \mu_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (16)$$

em que E_a é a energia de ativação em J/mol; μ_0 é a viscosidade referencial em Pa.s; R é a constante universal dos gases (8,314 J/molK) e T é a temperatura em Kelvin.

Como pode ser verificado na Equação 16, o aumento da temperatura promove redução da viscosidade do fluido. Já com relação à ordem de grandeza da energia de ativação indica a dependência da viscosidade de um fluido em função da temperatura, isto é, fluidos que apresentam elevada energia de ativação apresentam grandes variações da viscosidade em função da temperatura e vice-versa (GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012).

O efeito da temperatura também pode ser estudado utilizando o índice de consistência (K) do modelo de Ostwald-de Waele (Lei da Potência) e de outros modelos como de Bingham e Herschel-Bulkley (FLAUZINO, 2007). A equação utilizada é descrita abaixo (Equação 17), análoga à equação tipo Arrhenius (Equação 16):

$$K, n, \tau_0 = K_\infty \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (17)$$

em que K , n , τ_0 são parâmetros reológicos; K_∞ é uma constante empírica; E_a é a energia de ativação em J/mol; R é a constante universal dos gases (8,314 J/molK) e T é a temperatura em Kelvin.

Vélez-Ruiz e Barbosa-Cánovas (1997), em seu estudo, determinaram o efeito da temperatura sobre as propriedades reológicas de leite concentrado e encontraram que a energia de ativação variou de 18.003 a 25.120,1 J/mol, enquanto que o efeito da temperatura no índice de comportamento do fluido foi mínimo, conforme reportado por Rao (1999). Ribeiro *et al.* (2017), em seu estudo de propriedades termofísicas de diferentes óleos de oliva verificou que a energia de ativação variou de 30.672,6 a 34.849,3 J/mol, indicando forte influência da temperatura na viscosidade do fluido de estudo.

Adorno (1997) e Cabral (2000), relatam que a viscosidade aumenta com o aumento da concentração de sólidos solúveis ou insolúveis para um determinado fluido e isso deve-se a diversos aspectos, como o aumento do atrito entre as moléculas pelo aumento da interação molecular, formato das partículas, efeito eletroviscosos, entre outros.

Em geral, a dependência da viscosidade aparente em função da concentração de sólidos solúveis e insolúveis pode ser representada por dois tipos de funções: potencial (Equação 18) e exponencial (Equação 19).

$$\mu_{ap} = \mu_\infty X^a \quad (18)$$

$$\mu_{ap} = \mu_\infty \exp(bX) \quad (19)$$

em que μ_∞ , a e b são parâmetros empíricos da equação e X é a fração mássica de sólidos.

Analisando as Equações 18 e 19 observa-se que o aumento da concentração de sólidos tem efeito de aumentar a viscosidade para fluidos Newtonianos. Com relação aos fluidos Não Newtonianos, o aumento da concentração de sólidos aumenta o índice de consistência para fluidos descritos pela Lei da Potência, assim como os valores da viscosidade plástica de

Bingham (μ_p). Por outro lado, Adorno (1997), afirma que a concentração de sólidos tem pouca influência sobre o índice de comportamento (n) do fluido.

Visando uma abordagem prática para o dimensionamento de equipamentos, bombeamento, evaporação, entre outros, é importante uma expressão que correlacione os efeitos de temperatura e concentração no comportamento dos parâmetros reológicos. Desta forma, há dois modelos, potencial e exponencial, que descrevem a combinação destes efeitos sobre os parâmetros reológicos dos fluidos, conforme as Equações 20 e 21, respectivamente (GINER; IBARZ; GARZA; XHIAN-QUAN, 1996; PAGÁN; IBARZ, 1999).

$$\mu = AX^B \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (20)$$

$$\mu = A \exp(BX) \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (21)$$

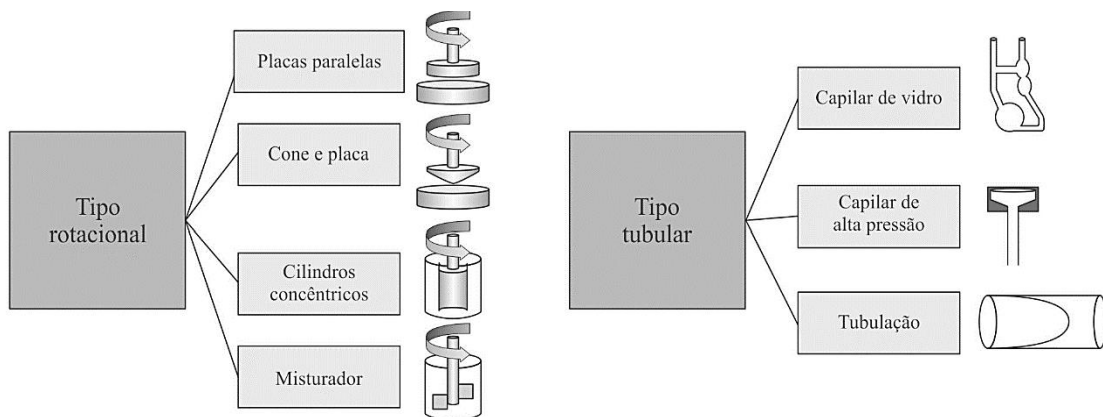
em que A e B são constantes empíricas da equação; X fração de sólidos; E_a é a energia de ativação em J/mol, R é a constante universal dos gases (8,314 J/molK) e T é a temperatura em Kelvin.

Analisando as Equações 20 e 21 observa-se que o efeito das variáveis concentração e temperatura é oposto, isto é, o aumento da concentração proporciona aumento nos parâmetros reológicos, como viscosidade e índice de consistência, enquanto o aumento da temperatura ocasiona efeito oposto, ou seja, diminuição dos valores dos parâmetros reológicos citados anteriormente (VÉLEZ-RUIZ e BARBOSACÁNOVAS, 1997). Polachini, Sato, Cunha e Telis-Romero (2016), em seu estudo, avaliaram o efeito da concentração e temperatura nos parâmetros reológicos de suspensões ácidas de resíduos de amendoim utilizando uma equação que correlacionava simultaneamente as duas variáveis. Enquanto Bofo, Cabral, Andrietta e Telis-Romero (2016), no estudo do comportamento reológico de melão para aplicação na indústria, verificaram que a energia de ativação assumiu valores na faixa de 684 a 1019 J/mol, indicando baixa influência da temperatura nos parâmetros reológicos do melão, sendo a concentração de sólidos a maior influência neste estudo, conforme reportado pelos autores.

3.6.5 Equipamentos para medidas reológicas

Segundo Steffe (1996), os instrumentos utilizados para medir as propriedades reológicas de fluido e semissólido, pode ser classificado em duas grandes categorias: tipo rotacional e tipo tubular, conforme apresentado na Figura 13. Os instrumentos utilizados para medir os parâmetros reológicos são denominados de reômetros. O termo viscosímetro é limitado a instrumentos que medem apenas a viscosidade (TELIS ROMERO; DITCHFIELD, 2016).

Figura 13 – Instrumento reológico dividido em duas categorias: rotacional e tubular.



Fonte: TELIS ROMERO; DITCHFIELD, 2016.

3.6.5.1 Reômetros tubulares

Os reômetros tubulares podem ser classificados em três categorias: viscosímetro de tubo capilar de vidro, capilar de alta pressão e reômetros de tubo. A principal diferença entre os reômetros capilares e de tubo consiste no tamanho de seu diâmetro, pois viscosímetros capilares apresentam diâmetros na faixa de 0,1 a 4 mm, enquanto os reômetros tubulares apresentam diâmetros na faixa de 12 a 32 mm (GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012).

O viscosímetro de tubo capilar de vidro, também conhecido por viscosímetro de tubo em U, opera sob a ação da gravidade, geralmente aplicado somente com fluidos

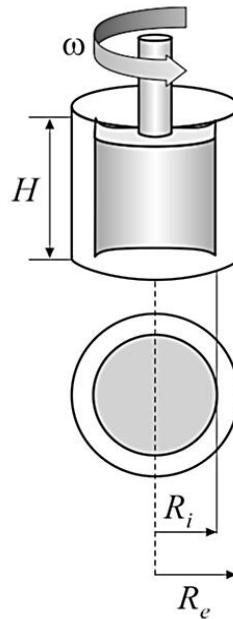
Newtonianos, devido à baixa taxa de cisalhamento durante a descarga do tubo. Sua operação é baseada no tempo necessário para o escoamento, por meio do capilar, de determinado fluido de densidade conhecida, previamente inserido nos bulbos do viscosímetro, em determinada temperatura constante. Com relação aos viscosímetros de tubos capilares que operam sobre alta pressão e altas taxas de cisalhamento, frequentemente é necessário efetuar correção da pressão durante a operação do equipamento (TELIS ROMERO; DITCHFIELD, 2016).

3.6.5.2 *Reômetro rotacional de cilindros concêntricos*

O reômetro de cilindros concêntricos é um instrumento amplamente utilizado nas pesquisas sobre reologia de alimentos, bem como pelas indústrias de alimentos. Este equipamento caracteriza-se por conter a amostra dentro de um copo cilíndrico e um segundo cilindro imerso no primeiro, de diâmetro menor e coaxial, conforme a Figura 14. Um dos cilindros é rotacionado, a uma velocidade constante, e o torque transmitido para outro cilindro é mensurado. Este tipo de reômetro apresenta duas classificações: tipo *Couette* quando o cilindro externo sofre rotação e o cilindro interno permanece em repouso; e tipo *Searle* quando o cilindro interno sofre rotação e o cilindro externo permanece em repouso (FLAUZINO, 2011).

De Castilhos, Betiol, Carvalho e Telis-Romero (2017), utilizaram este tipo de reômetro para medir as propriedades reológicas de suco de uva Cabernet Sauvignon em diferentes temperaturas e concentrações, ajustando os dados ao modelo de Ostwald-de Waele. Os autores também realizaram o mesmo estudo (2018) alternando a cultivar para Merlot, utilizando o mesmo tipo de reômetro, sendo o modelo da Lei da Potência satisfatoriamente ajustado aos dados. Ribeiro *et al.* (2017), também utilizou este modelo de reômetro para determinação dos parâmetros reológicos de diferentes óleos de oliva.

Figura 14 – Reômetro rotacional de cilindro concêntricos tipo Searle.



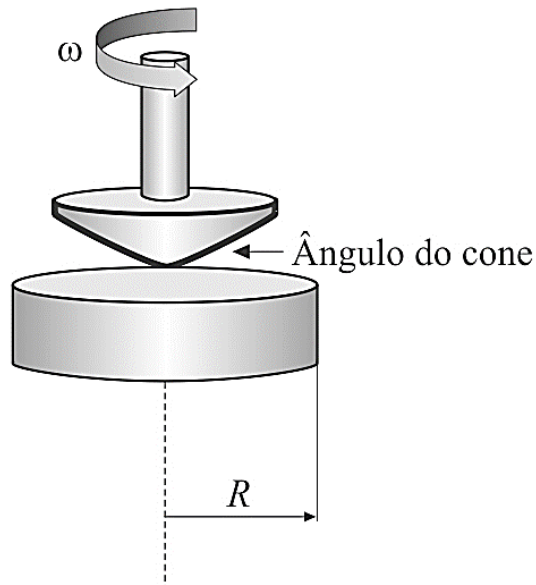
Fonte: TELIS ROMERO; DITCHFIELD, 2016.

Segundo Steffe (1996), são necessárias correções nos valores da velocidade angular e do torque devido ao escorregamento e ao efeito das bordas (*end effects*) do cilindro interno. Diversos métodos de correção são encontrados na literatura, todavia se durante as medições o problema persistir, uma solução é utilizar o reômetro tipo *Mixer* ou de cone e placa, por não necessitarem de correções em razão das características construtivas e de funcionamento.

3.6.5.3 Reômetro rotacional de cone e placa

Como o próprio nome indica, este tipo de instrumento consiste de uma placa circular e um cone que quase toca a superfície da placa (Figura 15), sendo a amostra responsável por ocupar o espaço entre o cone e a placa (RAO, 1999). O cone é rotacionado com uma velocidade angular conhecida (ω) que resulta em um torque (T) que é medido na placa ou através do cone. Segundo Steffe (1996) alguns reômetros podem ser projetados de modo que o cone seja fixo e a placa se movimentada.

Figura 15 – Reômetro rotacional de cone e placa.



Fonte: TELIS ROMERO; DITCHFIELD, 2016.

Este tipo de reômetro trabalha com taxas de deformações moderadas, portanto é inapropriado para fluidos que apresentam grandes partículas em suspensão, pois devido ao ângulo do cone ser pequeno (menor que 5°), não há espaço suficiente entre as partículas, o que pode influenciar na deformação ou comportamento do fluido. Apesar de ser inapropriado para fluidos com grandes partículas em suspensão, devido ao seu pequeno ângulo, tal fato se caracteriza por ser uma das vantagens deste instrumento, pois a taxa de deformação é constante ao longo do cone, facilitando os cálculos que utilizam este tipo de reômetro. Além disto, os efeitos de borda são desprezíveis (TABILO-MUNIZAGA & BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

Corrêa, Camargo Júnior, Ignácio e Leonardi (2005), utilizaram reômetro rotacional de cone placa para avaliar o comportamento reológico de diferentes géis hidrofílicos. Magnin e Piau (1990), utilizaram reômetro rotacional de cone e placa para avaliar o estudo reométrico de um gel físico exibindo um limite de escoamento.

3.6.5.4 *Reômetro de agitador*

Alguns viscosímetros rotacionais empregam disco rotativo, barra, pá ou pino a uma velocidade constante. É extremamente difícil obter uma tensão de cisalhamento real e a taxa de deformação geralmente varia de ponto a ponto no membro rotativo. Em particular, o campo de velocidade de uma geometria de disco rotativo pode ser consideravelmente distorcido em fluidos viscoelásticos. No entanto, por serem simples de operar e promover resultados com facilidade e seu custo ser baixo, eles são amplamente utilizados na indústria alimentícia. Embora possam ser úteis para fins de controle de qualidade, especialmente com fluidos Newtonianos, a confiabilidade de seus valores deve ser verificada por comparação com dados obtidos com geometrias bem definidas (RAO, 1999).

A técnica utilizada para este tipo de reômetro é aplicada para materiais biológicos que não reagem, porém é aplicável na reologia de cimento fresco, em estudo químico-reológicos envolvendo gelatinização de amido, em lubrificidade de maionese e em soluções de hidróxi-propil-metil celulose. Este tipo de reômetro pode ser aplicado na avaliação de fluidos de estrutura complexa que exibem escorregamento, comportamento dependente do tempo e aqueles que apresentam partículas grandes ou problemas de partículas que se sedimentam (GABAS; MENEZES; TELIS-ROMERO, 2012).

Rowe e Sadeghnejad (1987), utilizaram este tipo de reômetro para avaliar a reologia da celulose microcristalina em pó misturada de água. Em outro estudo Hancock, York e Rowe (1994), avaliaram as interações de substrato-ligante em modelos de massas úmidas utilizando reômetro de torque misturador.

3.7 Propriedades Termofísicas

Os modelos para descrição das propriedades termofísicas de alimentos líquidos são diretamente aplicados por engenheiros e projetistas engajados em processos tanto na indústria de alimentos, como no ensino e na pesquisa. As variações na composição e na estrutura são os principais fatores na avaliação das propriedades térmicas dos alimentos, os quais são geralmente substâncias não-homogêneas e cujas propriedades químicas, físicas e,

consequentemente, térmicas, variam fortemente com as condições de processo, como a temperatura. Os sucos de fruta, por exemplo, são misturas complexas de vitaminas, açúcares, aminoácidos, minerais, entre outros compostos, que podem variar de uma fruta para outra. A melhor fonte de dados de propriedades térmicas são as equações preditivas baseadas na composição química, temperatura e composição física, e que são normalmente confiáveis para a maioria dos alimentos (ASTOLFI-FILHO, 2011).

Os modelos empregados para prever as propriedades físicas são normalmente aplicados em termos de fração mássica de água ou de sólidos (LAMB, 1976). Uma série de modelos específicos, descritos em termos da temperatura e da fração de água, ou do conteúdo de sólidos solúveis, tem sido proposta para vários alimentos líquidos, como por exemplo, o caso do extrato de carne (POLACHINI *et al.*, 2016) e suco de maracujá (GRATÃO; SILVEIRA JÚNIOR; POLIZELLI; TELIS-ROMERO, 2005).

Cada material comporta-se de diferente forma quando submetido à variação de temperatura, por exemplo, alguns materiais quando submetidos ao aumento de temperatura apresentam expansão em suas dimensões, pois seu volume aumenta devido ao aquecimento, todavia há materiais que não são sensíveis às mudanças de temperatura e têm suas dimensões praticamente constantes durante as variações de temperatura (CANCIAM, 2005). Os materiais líquidos, ao contrário dos sólidos, não apresentam volume definido, enquanto que os sólidos apresentam forma e volume definidos. Diante disto, a dilatação térmica dos fluidos é avaliada somente em relação à dilatação volumétrica (CARRON; GUIMARÃES, 1997).

Densidade e viscosidade são duas propriedades físicas mais relevantes para o projeto e otimização de operações unitárias que envolvem transferência de calor e transporte de fluido, como mistura, pasteurização, concentração e desidratação. Ter o conhecimento de como a densidade varia com a temperatura e concentração ao longo dos processos é de extrema importância para indústria de alimentos (POLACHINI *et al.*, 2016). Para tal estudo o conhecimento da densidade do fluido se faz necessário, pois é através do comportamento da densidade em função da temperatura que se obtém o conhecimento do coeficiente de expansão térmica (β).

O coeficiente de expansão térmica, ou também conhecido como coeficiente de expansão volumétrica, é uma das propriedades termodinâmicas mais importantes dos materiais, pois ele representa as mudanças que a densidade sofre quando submetida à alteração de temperatura a uma pressão constante (POLACHINI *et al.*, 2016). O conhecimento do

coeficiente de expansão térmica também se faz necessário, pois através dele é possível determinar o número de Grashof (número adimensional que indica a razão entre as forças de empuxo e viscosa que atuam no fluido), o qual desempenha importante papel quando se trata de convecção natural (CANCIAM, 2005).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados apresentados nesta dissertação referem-se a dados secundários provenientes do Acordo de Cooperação entre o Instituto Tecnológico de Orizaba – ITO, México e a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Unesp do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas – Ibilce, referente ao Processo N° 2480/2006.

4.1 Material

4.1.1 Amostras de suco

O suco da uva Malbec (*Vitis vinifera*) foi produzido com uvas cultivadas na região de Caçador, no estado de Santa Catarina, Brasil. Os sucos foram obtidos diretamente dos produtores, os quais eram considerados como pronto para beber. Foi realizada avaliação visual no suco e foi possível constatar ausência de partículas estranhas. O suco inicialmente apresentou teor de sólidos solúveis de $13,0 \pm 0,6$ °Brix e foi concentrado para 13,6; 21,0; 29,0; 37,0 e 45,0 °Brix em um evaporador rotativo de baixa pressão (Marconi MA 130) a 45 °C. O conteúdo de sólidos solúveis do suco foi avaliado por um refratômetro (PAL-BX/RI-Atago). Após concentração do suco, todas as amostras permaneceram em repouso por 24 h antes de serem submetidas às análises reológicas e de densidade.

4.2 Métodos

A determinação dos parâmetros reológicos e da densidade do suco de uva Malbec foram realizadas no Laboratório de Medidas Físicas do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA), no Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (Ibilce) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

4.2.1 Caracterização reológica

Foi utilizado o reômetro rotacional modelo ARG2 (TA Instruments, New Castle, USA) para efetuar os testes reológicos no estado estacionário da tensão de cisalhamento pela taxa de deformação. O reômetro utilizado consiste de geometria cilíndrica com cilindros concêntricos que apresentam as seguintes especificações: cilindro interno – 42 mm x 28 mm; cilindro externo – 78,5 mm x 30,15 mm com *gap* entre os cilindros de 5.920 μm . Os testes reológicos foram operados sob condições controladas de taxa de deformação e temperatura, sendo a temperatura controlada pelo sistema Peltier. O software Rheology Advantage (TA Instruments, New Castle, USA) foi utilizado para operar o sistema, permitindo atingir o regime estacionário variando a taxa de cisalhamento de 0,84 a 212,1 s^{-1} em oito diferentes temperaturas (1, 10, 19, 28, 37, 46, 56 e 66 °C) e em cinco diferentes concentrações (13,6; 21,0; 29,0; 37,0 e 45,0 °Brix). A faixa de temperatura foi escolhida baseando-se no processo de pasteurização do suco de uva, uma vez que o suco de uva é pasteurizado antes de ser consumido *in natura*, enquanto a faixa de concentração foi escolhida de modo a utilizar o suco de uva concentrado como possível agente de chaptalização no processamento de vinhos. As análises reológicas foram realizadas em triplicata para cada temperatura nas concentrações descritas. Os dados estão reportados no Apêndice A.

Os modelos reológicos foram ajustados aos dados experimentais da tensão de cisalhamento pela taxa de deformação utilizando o software OriginPro 8.0 (OriginLab Corporation, Northampton, MA, USA), empregando regressões não-lineares para ajustar os modelos reológicos aos dados experimentais comumente encontrados na literatura, tais como: Lei de Newton da viscosidade (Equação 2), Lei da Potência ou Modelo Ostwald-de Waele (Equação 3), Bingham (Equação 4) e Modelo de Herschel-Bulkley (Equação 5), conforme descritos na Tabela 5. Esta abordagem permitiu determinar os parâmetros reológicos que foram correlacionados com as temperaturas e concentrações mencionadas anteriormente. O melhor modelo reológico foi selecionado de acordo com o coeficiente de determinação ajustado (R_{Adj}^2), bem como a minimização da raiz do erro médio quadrático (RQME), Equação 22, considerando coeficientes de determinação maiores que 0,98 e menores RQME como fatores de acuracidade dos ajustes dos modelos aos dados (BARRETO; POLACHINI; BARRETTO; TELIS-ROMERO, 2018).

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (2)$$

$$\tau = K \left(\dot{\gamma} \right)^n \quad (3)$$

$$\tau = \tau_0 + \mu_{pl} \dot{\gamma} \quad (4)$$

$$\tau = \tau_0 + K \left(\dot{\gamma} \right)^n \quad (5)$$

$$RQME = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{N=1}^{\infty} \left(v_{experimental} - v_{predito} \right)^2} \quad (22)$$

em que τ é a tensão de cisalhamento (Pa), μ é a viscosidade dinâmica (Pa.s), $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação, K é o índice de consistência do fluido (Pa.sⁿ), n é o índice de comportamento do fluido (adimensional), τ_0 é a tensão inicial (Pa), μ_{pl} é a viscosidade plástica (Pa.s), N é o número de pontos experimentais, $v_{experimental}$ é o valor determinado experimentalmente e $v_{predito}$ é o valor predito pelo modelo matemático.

O comportamento do fluido é determinado pelo índice de comportamento de fluxo (n), o qual diferentes valores indicam o comportamento reológico em que o fluido está descrito, por exemplo, para $n = 1$ o fluido será Newtoniano ou Plástico de Bingham (Viscoplástico), $n < 1$ para fluidos pseudoplásticos e $n > 1$ para fluidos dilatantes.

O efeito da temperatura nos parâmetros reológicos do suco concentrado de uva Malbec em diferentes concentrações foi avaliado utilizando uma relação tipo Arrhenius (Equação 17), o efeito da concentração foi avaliado utilizando as Equações 23 e 24, enquanto que o efeito combinado da temperatura e concentração foi estudado de acordo com as Equações 25 e 26 descrito por Quek; Chin e Yusof (2013), sendo selecionado o modelo que apresentou maior R_{Adj}^2 e menor RQME. Para avaliação destes efeitos foram realizadas regressões não-lineares de acordo com os modelos descritos pelas equações mencionadas, utilizando o software OriginPro 8.0. Após identificação do comportamento reológico do fluido, foi determinada a viscosidade aparente em cada concentração na faixa de temperatura estudada, para cada taxa de deformação, conforme equações apresentadas na Tabela 7 para cada modelo reológico.

$$\mu, K, n, \mu_{pl}, \tau_0 = K_{\infty} \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (17)$$

$$\mu, K, n, \mu_{pl}, \tau_0 = AC^B \quad (23)$$

$$\mu, K, n, \mu_{pl}, \tau_0 = A \exp(BC) \quad (24)$$

$$\mu, K, n, \mu_{pl}, \tau_0 = AC^B \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (25)$$

$$\mu, K, n, \mu_{pl}, \tau_0 = A \exp\left(\frac{E_a}{RT} + BC\right) \quad (26)$$

onde K_{∞} , A e B são constantes empíricas do modelo; E_a é a energia de ativação em J/mol; R é a constante universal dos gases (8,314 J/mol.K), T é a temperatura em K e C é a concentração em °Brix.

4.2.2 Determinação da densidade

A densidade do suco da uva Malbec foi determinada em triplicata utilizando um densímetro eletrônico digital (modelo DMA 4500-M, Anton Paar, Austria) na mesma faixa de temperatura e concentrações dos ensaios reológicos, os dados estão apresentados no Anexo B. As temperaturas foram controladas pelo próprio equipamento após inserir aproximadamente uma alíquota de 50 mL de suco para cada concentração para medições da densidade.

Modelos matemáticos polinomiais empíricos de primeira e segunda ordem foram ajustados aos dados experimentais da densidade como função da temperatura e concentração ($\rho(T,C)$), conforme apresentados na Tabela 8. Para isto, múltiplas regressões não-lineares foram realizadas utilizando o software OriginPro 8.0. A escolha do melhor modelo foi realizada de acordo com o maior R_{Adj}^2 , bem como a minimização RQME.

Tabela 8 – Modelos matemáticos polinomiais para descrever a densidade como função da temperatura e concentração.

Modelo	Fórmula	Equação
Polinomial 1ª ordem	$\rho = \phi_1 + \phi_2 T + \phi_3 C$	(27)
Polinomial 2ª ordem Tipo I	$\rho = \phi_1 + \phi_2 T + \phi_3 T^2 + \phi_4 C$	(28)
Polinomial 2ª ordem Tipo II	$\rho = \phi_1 + \phi_2 T + \phi_3 T^2 + \phi_4 C + \phi_5 C^2$	(29)

$\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ e Φ_5 são constantes empíricas do modelo; T é a temperatura em °C; C é a concentração de sólidos solúveis em °Brix e ρ é a densidade em kg.m⁻³.

4.2.2.1 Coeficiente de expansão térmica

Utilizando os dados experimentais da densidade nas diferentes temperaturas e concentrações e o resultado da regressão múltipla da densidade como função da temperatura e concentração (item 4.2.2), o coeficiente de expansão térmica pode ser encontrado como função da temperatura e contração de sólidos aplicando a Equação 30, conforme reportado por Costa; Silva e Vieira (2018).

$$\beta(C,T) = \rho(C,T) \left. \frac{\partial \left(\frac{1}{\rho(C,T)} \right)}{\partial T} \right|_P = - \left(\frac{1}{\rho(C,T)} \right) \left(\frac{\partial \rho(C,T)}{\partial T} \right)_P \quad (30)$$

onde $\rho(C,T)$ representa a função que melhor descreveu o comportamento da densidade como função da temperatura e concentração e $\left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_P$ a derivada desta função em relação à temperatura a pressão constante.

4.2.3 Análise estatística

Os parâmetros reológicos e a densidade foram avaliados pela Análise de Variância (ANOVA) seguido pelo teste *post-hoc* de comparação múltipla de Tukey ao nível de significância de 5%. No efeito combinado da concentração e temperatura para os parâmetros reológicos foi aplicado o teste t-Student para amostras pareadas ao nível de significância de 5% para avaliar se há diferença significativa entre as energias de ativação única propostas pelos modelos. Foi aplicada a análise de correlação de Pearson (r) para os parâmetros reológicos, densidade e coeficiente de expansão térmica com relação às variáveis concentração e temperatura, admitindo correlações inaceitáveis para $|r| < 0,50$; correlações fracas para $0,50 \leq |r| < 0,60$; correlações moderadas para $0,60 \leq |r| < 0,70$; correlações medianas para $0,70 \leq |r| < 0,80$ e fortes correlações para $|r| \geq 0,80$ (HAIR *et al.*, 2009), todas ao nível de significância de 5%. As análises estatísticas de variância, comparação múltipla, t-Student e correlação de Pearson foram realizadas pelo software Minitab 17 (Lead Technologies, State College, PA, USA).

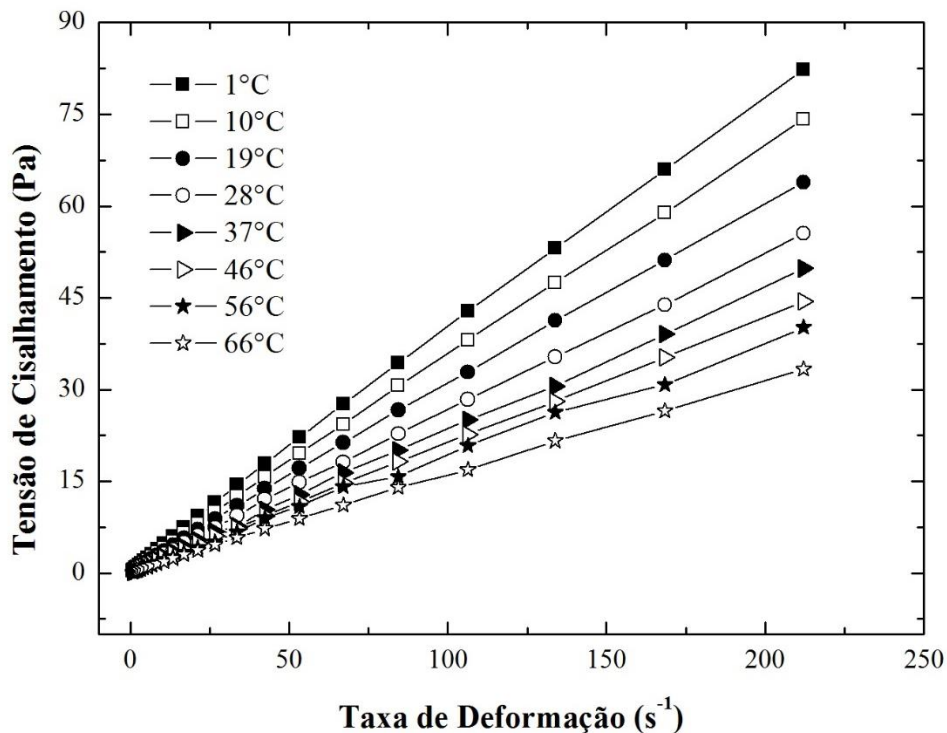
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Comportamento Reológico do Suco Concentrado da Uva Malbec

Os gráficos da tensão de cisalhamento *versus* a taxa de deformação, denominados de reogramas, foram elaborados para cada concentração do suco de uva Malbec na faixa de temperatura de 1 a 66 °C, conforme as Figuras 16 a 20.

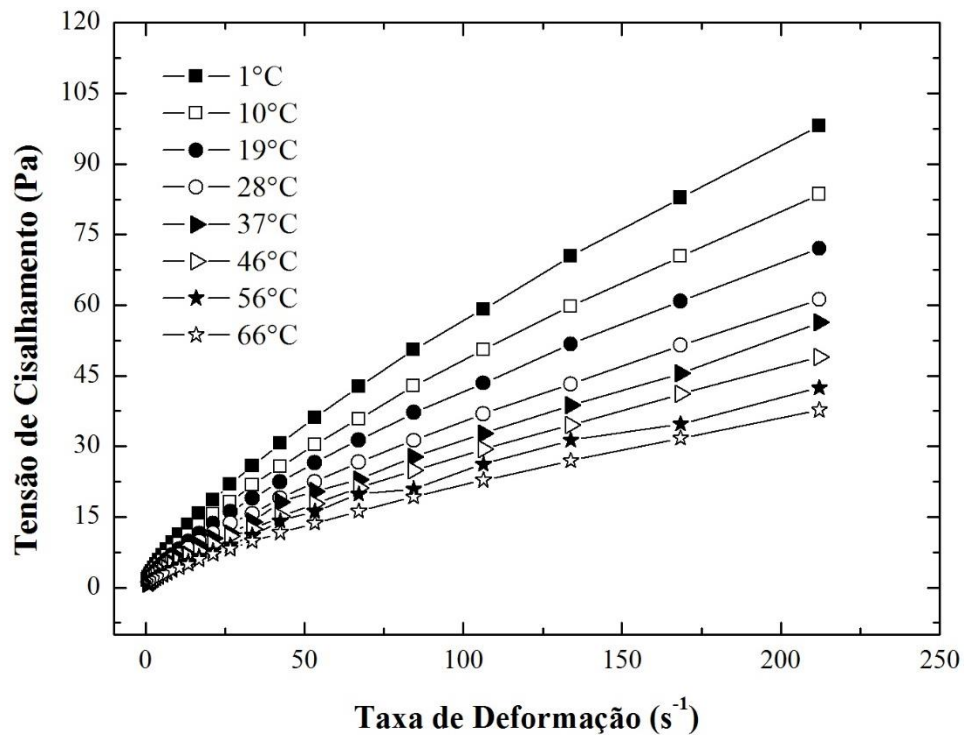
Os valores da tensão de cisalhamento foram obtidos para cada taxa de deformação, variando de 0,171 Pa até 19,053 Pa na menor taxa de deformação ($0,84 \text{ s}^{-1}$), e de 33,333 Pa até 407,759 Pa na maior taxa de deformação ($212,1 \text{ s}^{-1}$). As tensões de cisalhamento tenderam aumentar com a diminuição da temperatura e aumento da concentração de sólidos.

Figura 16 – Reogramas do suco de uva Malbec concentrado a 13,6 °Brix em diferentes temperaturas.



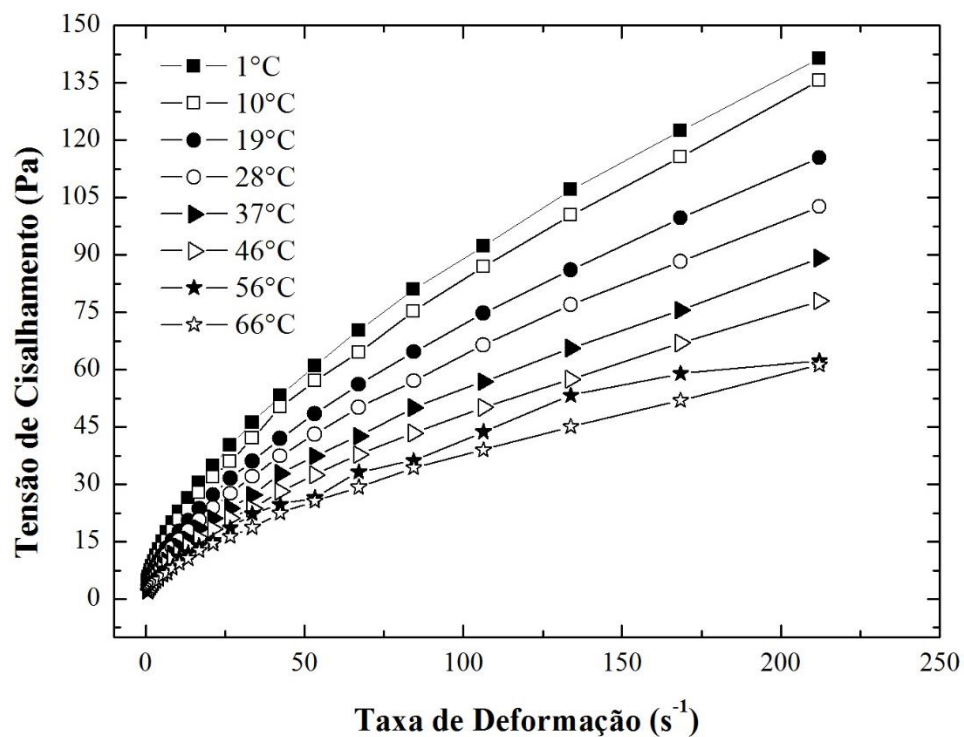
Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 17 – Reogramas do suco de uva Malbec concentrado a 21,0 °Brix em diferentes temperaturas.



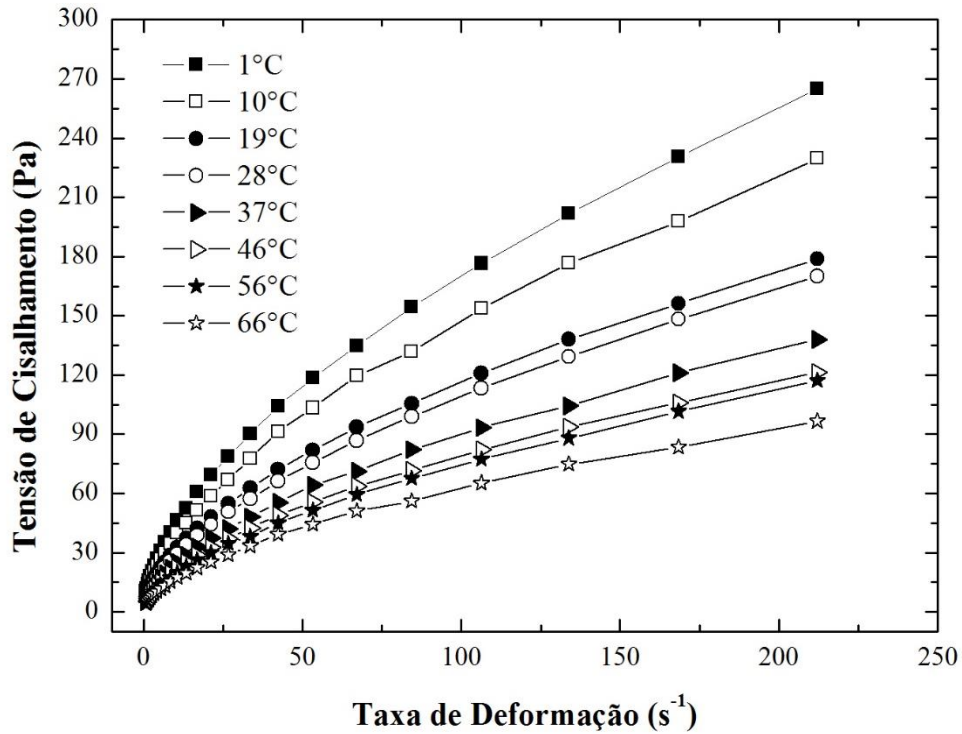
Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 18 – Reogramas do suco de uva Malbec concentrado a 29,0 °Brix em diferentes temperaturas.



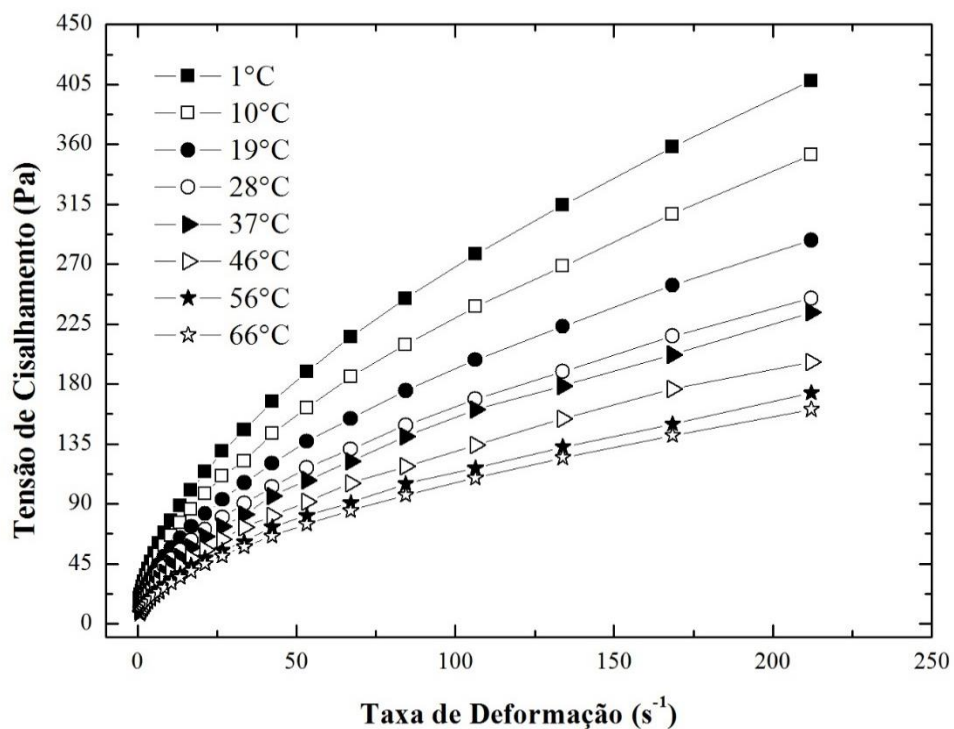
Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 19 – Reogramas do suco de uva Malbec concentrado a 37,0 °Brix em diferentes temperaturas.



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 20 – Reogramas do suco de uva Malbec concentrado a 45,0 °Brix em diferentes temperaturas.



Fonte: AUTOR, 2019.

Os modelos reológicos da Lei de Newton da Viscosidade, Lei da Potência ou Modelo de Ostwald-de Waele, Bingham e Herschel-Bulkley foram ajustados aos dados da tensão de cisalhamento *versus* a taxa de deformação para cada concentração na faixa de temperatura de 1 a 66°C.

Altos coeficientes de determinação foram obtidos nos ajustes dos modelos reológicos aos dados experimentais, exceto para o modelo da Lei de Newton da Viscosidade que apresentou baixos valores de R_{Adj}^2 variando de 0,78502 a 0,99948 e elevados valores de RQME variando de 0,27 a 48,57. Enquanto os modelos de Ostwald-de Waele, Bingham e Herschel-Bulkley apresentaram altos valores de coeficientes de determinação maiores que 0,94; entretanto os modelos Ostwald-de Waele e Herschel-Bulkley melhor descreveram os dados experimentais com $R_{Adj}^2 > 0,994$ e $RQME < 1,25$.

O modelo de Ostwald-de Waele melhor representou os dados reológicos do suco concentrado da uva Malbec, apresentando valores de R_{Adj}^2 variando de 0,99507 a 0,99999 e RQME de 0,02 a 1,25. Com relação ao modelo de Herschel-Bulkley o mesmo apresentou valores de R_{Adj}^2 entre 0,99494 a 0,99999 e RQME de 0,07 a 1,25; no entanto o modelo consiste de três parâmetros sendo um deles a tensão inicial. Esta tensão inicial obteve valores negativos em algumas temperaturas e concentrações, desta forma não conferindo significado físico ao resultado (QUEK; CHIN; YUSOF, 2013), assim descartando este modelo para descrever o comportamento reológico do suco concentrado de uva Malbec. Diante disto, o modelo de Ostwald-de Waele melhor descreveu o comportamento reológico do suco concentrado de uva Malbec. Comportamento reológico semelhante foi identificado por De Castilhos, Betiol, Carvalho e Telis Romero (2017), para diferentes concentrações e temperaturas do suco de uva Cabernet Sauvignon. Em uma segunda parte do estudo, De Castilhos, Betiol, Carvalho e Telis-Romero (2018), identificaram que suco concentrado de uva Merlot em diferentes concentrações e temperaturas também foram descritos pelo modelo de Ostwald-de Waele.

O índice de comportamento do fluido, ou índice de comportamento de fluxo, (n) apresentou valores menores que o unitário em todas as concentrações e temperaturas analisadas, desta forma indicando que o suco concentrado de uva Malbec é classificado como fluido pseudoplástico, corroborando com os autores Telis-Romero e Ditchfield (2016). Os sucos concentrados de uva Cabernet Sauvignon (DE CASTILHOS; BETIOL; CARVALHO; TELIS-ROMERO, 2017) e de uva Merlot (DE CASTILHOS; BETIOL; CARVALHO; TELIS-ROMERO, 2018), também apresentaram comportamento Não Newtoniano, sendo

caracterizados como pseudoplásticos em todas as concentrações e temperaturas estudadas. As Figuras 16 a 20 contribuem com os resultados, uma vez que fluidos pseudoplásticos apresentam curvas padrão com concavidade voltadas para baixo (QUEK; CHIN; YUSOF, 2013). Outros fluidos alimentícios como suco de acerola (DA SILVA; GUIMARÃES; GASPARETTO, 2005), suco misto com acerola, maracujá e taperebá (BEZERRA *et al.*, 2013), suco de mirtilo (CEPEDA; HERMOSA; LLORENS; VILLARÁN, 2002), suco de cenoura pasteurizado (VANDRESEN; QUADRI; SOUZA; HOTZA, 2009), suco concentrado de graviola (QUEK; CHIN; YUSOF, 2013) e suco concentrado de abacaxi (CABRAL; GUT; TELIS; TELIS-ROMERO, 2010), são alguns exemplos de fluidos que apresentam comportamento reológico como pseudoplástico.

Os sucos de frutas são soluções heterogêneas complexas de grandes partículas insolúveis, materiais coloidais, que se apresentam dispersos em um meio contínuo ricos em compostos solúveis, dentre eles açúcares, ácidos orgânicos, pectinas solúveis, compostos fenólicos e sais minerais. A matéria dispersa heterogênea é composta basicamente por fragmentos de tecidos celulares produzidos durante a elaboração do suco (DAHDOUH *et al.*, 2016). Em geral sucos de uva são soluções aquosas que apresentam em sua composição química açúcares (como glicose e frutose), ácidos (como tartárico, málico e cítrico) (RIZZON; MIELE, 1995), compostos fenólicos e pectinas (RIZZON; LINK, 2006). Tais compostos podem apresentar longas cadeias moleculares que, quando submetidos ao aumento da taxa de deformação, as cadeias tendem a se alinhar paralelamente às linhas de corrente, reduzindo a resistência ao escoamento caracterizando comportamento pseudoplástico ao fluido (HOLDSWORTH, 1971).

5.1.1 Efeito da temperatura sobre os parâmetros reológicos

Os efeitos da temperatura sobre o parâmetro índice de consistência (K) do modelo de Ostwald-de Waele estão descritos na Tabela 9.

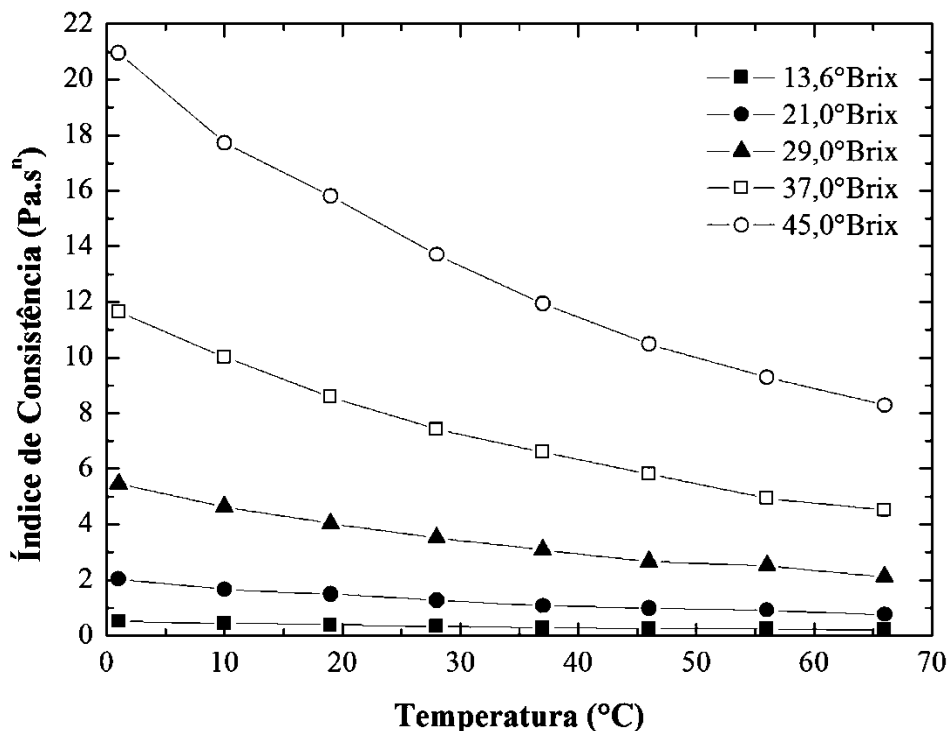
Tabela 9 – Índice de consistência do modelo de Ostwald-de Waele (média \pm desvio padrão) do suco concentrado de uva Malbec em diferentes temperaturas e concentrações.

Temperatura (°C)	Índice de consistência, K (Pa.s ⁿ)					
	Concentração (°Brix)					¹ Valor p
	13,6	21,0	29,0	37,0	45,0	
1	0,5147 \pm 0,0037 ^{aE}	2,0364 \pm 0,0082 ^{aD}	5,4572 \pm 0,0717 ^{aC}	11,6467 \pm 0,1671 ^{aB}	20,9451 \pm 0,0036 ^{aA}	< 0,001
10	0,4271 \pm 0,0070 ^{bE}	1,6623 \pm 0,0150 ^{bD}	4,6374 \pm 0,0425 ^{bC}	10,0133 \pm 0,0928 ^{bB}	17,7219 \pm 0,1505 ^{bA}	< 0,001
19	0,3887 \pm 0,0069 ^{cE}	1,4955 \pm 0,0059 ^{cD}	4,0270 \pm 0,0034 ^{cC}	8,5750 \pm 0,0274 ^{cB}	15,8038 \pm 0,0726 ^{cA}	< 0,001
28	0,3250 \pm 0,0032 ^{dE}	1,2642 \pm 0,0054 ^{dD}	3,5157 \pm 0,0151 ^{dC}	7,4227 \pm 0,0956 ^{dB}	13,7002 \pm 0,0178 ^{dA}	< 0,001
37	0,2662 \pm 0,0064 ^{eE}	1,0648 \pm 0,0055 ^{eD}	3,0838 \pm 0,0400 ^{eC}	6,5927 \pm 0,0202 ^{eB}	11,9393 \pm 0,0731 ^{eA}	< 0,001
46	0,2519 \pm 0,0032 ^{fE}	0,9844 \pm 0,0089 ^{fD}	2,6605 \pm 0,0038 ^{fC}	5,7962 \pm 0,0339 ^{fB}	10,4742 \pm 0,1271 ^{fA}	< 0,001
56	0,2419 \pm 0,0035 ^{fE}	0,9145 \pm 0,0070 ^{gD}	2,5175 \pm 0,0093 ^{gC}	4,9336 \pm 0,0055 ^{gB}	9,2843 \pm 0,0258 ^{gA}	< 0,001
66	0,2044 \pm 0,0025 ^{gE}	0,7575 \pm 0,0050 ^{hD}	2,1073 \pm 0,0284 ^{hC}	4,5166 \pm 0,0356 ^{hB}	8,2807 \pm 0,0523 ^{hA}	< 0,001
²Valor p	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	

^{1,2}Letras maiúsculas diferentes na mesma linha e letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas de acordo com Análise de Variância e o teste *post-hoc* de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Ao aplicar a análise de correlação de Pearson aos dados apresentados na Tabela 9, verificou-se que a temperatura e os índices de consistência apresentaram fortes correlações negativas e significativas ($-0,98 \leq r \leq -0,96$ e $p < 0,001$), ou seja, os índices de consistência reduziram com o aumento da temperatura de forma significativa, sendo que na temperatura de 1 °C, para cada concentração avaliada, têm-se os maiores valores do parâmetro, enquanto na maior temperatura, 66 °C, foi possível observar os menores valores para os índices de consistência em uma mesma concentração. O aumento da temperatura, em uma determinada concentração, promove aumento no grau de agitação das moléculas, conseqüentemente reduz as interações intermoleculares facilitando o escoamento do fluido. A Figura 21 apresenta um gráfico com os resultados expressos na Tabela 9, de modo a visualizar o efeito da temperatura sobre o índice de consistência. Tal efeito também foi encontrado em sucos concentrados de outras cultivares de uva como a Cabernet Sauvignon (DE CASTILHOS; BETIOL; CARVALHO; TELIS-ROMERO, 2017), uva Merlot (DE CASTILHOS; BETIOL; CARVALHO; TELIS-ROMERO, 2018), bem como em outros sucos como o estudo de suco misto realizado por Bezerra *et al.* (2013) e suco de manga (DAK; VERMA; JAAFFREY, 2007).

Figura 21 – Efeito da temperatura em diferentes concentrações de suco concentrado de uva Malbec no parâmetro índice de consistência.



Fonte: AUTOR, 2019.

A relação da temperatura com o índice de consistência do modelo de Ostwald-de Waele seguiu uma tendência exponencial, e a mesma foi verificada por uma equação tipo Arrhenius (Equação 17). Os resultados dos parâmetros da equação juntamente com os respectivos coeficientes de determinação e RQME para cada concentração estão descritos na Tabela 10.

Tabela 10 – Parâmetros da equação tipo Arrhenius para suco concentrado de uva Malbec em diferentes concentrações para o índice de consistência.

°Brix	²K_∞(Pa.sⁿ)	³Ea(kJ/mol)	R_{Adj}²	RQME
13,6	0,0039 ± 0,0006 ^c	11,14 ± 0,33 ^{ab}	0,9831	0,012
21,0	0,0127 ± 0,0005 ^d	11,54 ± 0,10 ^a	0,9915	0,034
29,0	0,0415 ± 0,0002 ^c	11,11 ± 0,02 ^{ab}	0,9969	0,049
37,0	0,0780 ± 0,0043 ^b	11,42 ± 0,15 ^{ab}	0,9990	0,058
45,0	0,1666 ± 0,0056 ^a	11,02 ± 0,07 ^b	0,9986	0,139
¹Valor p	< 0,001	0,018		

¹ Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa de acordo com a Análise de Variância e teste *post-hoc* de Tukey ($\alpha = 0,05$).

² K_∞: constante empírica do modelo.

³ Ea: energia de ativação.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 10, observou-se que a equação de Arrhenius descreveu satisfatoriamente o efeito da temperatura no parâmetro reológico, com coeficientes de determinação superiores a 0,98 e baixos resíduos. Os valores de energia de ativação apresentaram diferença significativa ($p = 0,018$) como resultado da variação da concentração do suco, indicando que a energia de ativação a 21,0 e 45,0 °Brix ($11,54 \pm 0,10$ e $11,02 \pm 0,07$ kJ/mol, respectivamente) são diferentes, enquanto nas demais concentrações não apresentaram diferença significativa, indicando uma tendência não clara com a concentração, corroborando com outros estudos que também identificaram similar efeito na mudança da energia de ativação com o aumento da concentração (QUEK; CHIN; YUSOF, 2013, DE CASTILHOS; BETIOL; CARVALHO; TELIS-ROMERO, 2017, DE CASTILHOS; BETIOL; CARVALHO; TELIS-ROMERO, 2018).

Tendo em vista que a energia de ativação indica a sensibilidade da viscosidade e dos parâmetros reológicos em relação às variações de temperatura (VANDRESEN; QUADRI;

SOUZA; HOTZA, 2009; KAYA; SÖZER, 2005), tem-se que no estudo realizado por De Castilhos, Betiol, Carvalho e Telis Romero (2017) com suco concentrado da uva Cabernet Sauvignon, apresentou maior sensibilidade à temperatura no índice de consistência quando comparado aos sucos concentrados de uva Merlot (DE CASTILHOS; BETIOL; CARVALHO; TELIS-ROMERO, 2018) e Malbec, pois foram encontradas energias de ativação maiores ou igual a 28,87 kJ/mol, enquanto para as cultivares Merlot e Malbec foram obtidos valores de energia de ativação $\geq 13,95$ kJ/mol e $\geq 11,02$ kJ/mol, respectivamente. É válido destacar que a constante empírica da equação tipo Arrhenius (K_{∞}) apresentou variações significativas ($p < 0,001$) com a concentração, sendo este efeito também observado em outros estudos (DE CASTILHOS; BETIOL; CARVALHO; TELIS-ROMERO, 2017, DE CASTILHOS; BETIOL; CARVALHO; TELIS-ROMERO, 2018, DAK; VERMA; JAAFFREY, 2007).

Um estudo do efeito da temperatura no índice de comportamento do fluido foi efetuado, observando que a temperatura não influenciou significativamente ($p > 0,05$). Quando aplicada a análise de correlação de Pearson entre o índice de comportamento com a temperatura, observou-se que não houveram correlações significativas entre este parâmetro e a variável de estudo, indicando que o índice de comportamento não se correlaciona com a temperatura. Os resultados do índice de comportamento do fluido em diferentes concentrações e temperaturas estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Índice de comportamento do fluido do modelo de Ostwald-de Waele (média \pm desvio padrão) do suco concentrado de uva Malbec em diferentes temperaturas e concentrações.

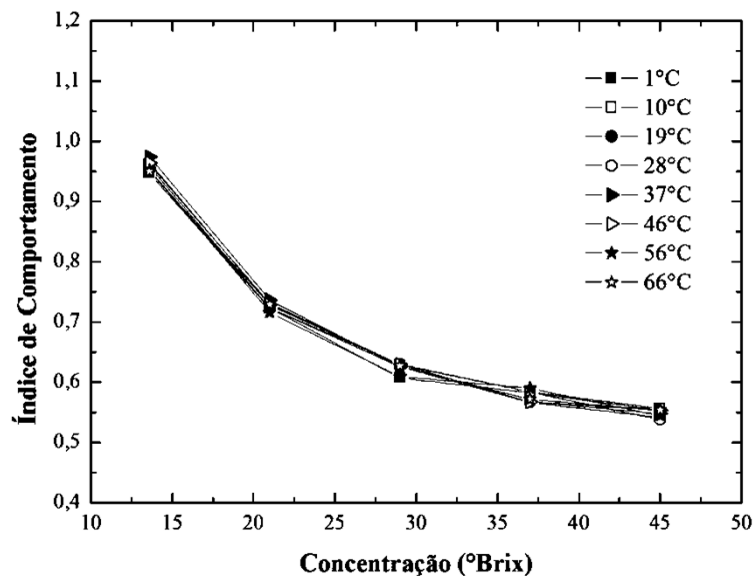
Temperatura (°C)	Índice de comportamento do fluido, n (adimensional)					¹ Valor p
	Concentração (°Brix)					
	13,6	21,0	29,0	37,0	45,0	
1	0,9471 \pm 0,0017 ^{dA}	0,7232 \pm 0,0009 ^{cB}	0,6073 \pm 0,0019 ^{bC}	0,5827 \pm 0,0020 ^{bD}	0,5538 \pm 0,0002 ^{bE}	< 0,001
10	0,9621 \pm 0,0039 ^{bA}	0,7311 \pm 0,0014 ^{bB}	0,6288 \pm 0,0023 ^{aC}	0,5844 \pm 0,0012 ^{bD}	0,5570 \pm 0,0013 ^{aE}	< 0,001
19	0,9522 \pm 0,0028 ^{cdA}	0,7232 \pm 0,0009 ^{cB}	0,6260 \pm 0,0003 ^{aC}	0,5668 \pm 0,0007 ^{dD}	0,5418 \pm 0,0005 ^{dE}	< 0,001
28	0,9584 \pm 0,0017 ^{bcA}	0,7234 \pm 0,0011 ^{cB}	0,6297 \pm 0,0004 ^{aC}	0,5842 \pm 0,0021 ^{bD}	0,5378 \pm 0,0001 ^{eE}	< 0,001
37	0,9744 \pm 0,0041 ^{aA}	0,7367 \pm 0,0007 ^{aB}	0,6260 \pm 0,0021 ^{aC}	0,5673 \pm 0,0007 ^{dD}	0,5542 \pm 0,0009 ^{abE}	< 0,001
46	0,9646 \pm 0,0021 ^{bA}	0,7284 \pm 0,0014 ^{bB}	0,6295 \pm 0,0005 ^{aC}	0,5678 \pm 0,0013 ^{cdD}	0,5483 \pm 0,0020 ^{cE}	< 0,001
56	0,9524 \pm 0,0024 ^{cdA}	0,7159 \pm 0,0021 ^{dB}	0,6091 \pm 0,0003 ^{bC}	0,5902 \pm 0,0002 ^{aD}	0,5446 \pm 0,0004 ^{dE}	< 0,001
66	0,9503 \pm 0,0021 ^{dA}	0,7291 \pm 0,0011 ^{bB}	0,6270 \pm 0,0020 ^{aC}	0,5715 \pm 0,0010 ^{cD}	0,5538 \pm 0,0014 ^{bE}	< 0,001
² Valor p	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	

^{1,2}Letras maiúsculas diferentes na mesma linha e letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas de acordo com Análise de Variância e o teste *post-hoc* de Tukey ($\alpha = 0,05$).

5.1.2 Efeito da concentração sobre os parâmetros reológicos

O efeito da concentração no índice de consistência e índice de comportamento do fluido estão apresentados nas Tabelas 9 e 11, respectivamente. Os resultados da Tabela 11 mostraram reduções significativas no índice de comportamento do fluido com o aumento da concentração ($p < 0,001$), intensificando o comportamento pseudoplástico do fluido, conforme apresentado na Figura 22. Quando aplicada a análise de correlação de Pearson entre o índice de comportamento do fluido e a concentração foram observadas fortes correlações negativas e significativas ($-0,93 \leq r \leq -0,90$ e $p \leq 0,05$). Os resultados para o índice de consistência (Tabela 9) mostraram aumento significativo do parâmetro com o aumento da concentração ($p < 0,001$) e fortes correlações positivas e significativas ($r = 0,96$ e $p \leq 0,011$), estando em acordo os resultados com outros trabalhos já publicados (DE MARIA; FERRARI; MARESCA, 2015, DE CASTILHO; BETIOL; CARVALHO; TELIS-ROMERO, 2017, DE CASTILHOS; BETIOL; CARVALHO; TELIS-ROMERO, 2018, DAK; VERMA; JAAFFREY, 2007). O aumento da concentração de sólidos pode ocasionar aumento na interação molecular e a possível formação de agregados, que quando submetidos ao aumento da taxa de deformação promove a ruptura desses agregados, liberando o dispersante intermolecular e conseqüentemente reduzindo a viscosidade aparente do fluido (POLACHINI *et al.*, 2019).

Figura 22 – Efeito da concentração em diferentes temperaturas de suco concentrado de uva Malbec no parâmetro índice de comportamento.



Fonte: AUTOR, 2019.

O efeito da concentração no índice de comportamento do modelo Ostwald-de Waele foi avaliado por equações do tipo potência e exponencial, Equações 23 e 24 respectivamente. O modelo potencial melhor descreveu os dados apresentando coeficientes de determinação maiores que 0,95 e RQME $\leq 0,028$; enquanto para o modelo exponencial foram obtidos baixos valores para o coeficiente de determinação variando de 0,83 a 0,88 e altos valores de RQME variando de 0,046 a 0,052. A Tabela 12 apresenta os dados de cada parâmetro do modelo potencial com os respectivos coeficientes de determinação e RQME em cada temperatura para o índice de comportamento. De acordo com os dados apresentados na Tabela 12, verificou-se que os valores das constantes empíricas (A e B) diferiram significativamente ($p < 0,001$) entre as temperaturas, no entanto não foi observada nenhuma tendência dos resultados obtidos com a temperatura para ambas as constantes do modelo.

Tabela 12 – Parâmetros da equação tipo potência (média \pm desvio padrão) do suco concentrado da uva Malbec em diferentes temperaturas para o índice de comportamento.

Temperatura (°C)	A	B	R _{Adj} ²	RQME
1	3,233 \pm 0,037 ^f	-0,480 \pm 0,004 ^a	0,95203	0,027
10	3,328 \pm 0,050 ^{de}	-0,484 \pm 0,004 ^a	0,96444	0,024
19	3,424 \pm 0,035 ^c	-0,498 \pm 0,003 ^{bc}	0,97442	0,021
28	3,414 \pm 0,026 ^{cd}	-0,495 \pm 0,002 ^b	0,97286	0,021
37	3,626 \pm 0,045 ^a	-0,511 \pm 0,003 ^d	0,96677	0,025
46	3,518 \pm 0,005 ^b	-0,504 \pm 0,001 ^{cd}	0,97042	0,023
56	3,301 \pm 0,025 ^{ef}	-0,486 \pm 0,002 ^a	0,95003	0,028
66	3,289 \pm 0,021 ^{ef}	-0,483 \pm 0,002 ^a	0,96997	0,022
Valor p	< 0,001	< 0,001		

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa de acordo com a Análise de Variância e teste *post-hoc* de Tukey ($\alpha = 0,05$).

O comportamento reológico de um fluido pode ser influenciado por diversos fatores, dentre eles pode-se destacar as forças intermoleculares das interações entre água e o soluto. Desta forma, o aumento de sólidos solúveis ou insolúveis no fluido ocasiona o aumento do atrito entre as moléculas devido a interação molecular, formato das partículas, efeitos eletroviscosos, entre outros os quais irão refletir nas características reológicas do fluido

conforme reportado por Adorno (1997) e Cabral (2000). Sendo assim, alterações na temperatura e concentração podem, por sua vez, tornar as forças intermoleculares significativas (SHAMSUDIN; LING; ADZAHAN; DAUD, 2013).

O conhecimento do comportamento do índice de consistência do fluido em diferentes temperaturas e concentrações apresenta grande importância em operações unitárias na indústria de sucos, principalmente no processo de pasteurização, pois o aumento deste parâmetro ocasiona a redução da taxa de escoamento devido à maior resistência ao escoamento do fluido no tubo, acarretando maiores tempos de aquecimento e de retenção durante a pasteurização (QUEK; CHIN; YUSOF, 2013). Diante disto, tem-se que o aumento do índice de consistência para o suco concentrado da uva Malbec ocasionará maior tempo no processo de pasteurização do suco (elevado consumo energético do processo) antes do mesmo ser consumido *in natura* ou para que o suco concentrado possa ser aplicado como agente de chaptalização no processamento de vinhos.

O efeito da concentração nos índices de consistência foi avaliado por uma equação tipo potência e tipo exponencial, Equações 23 e 24 respectivamente. Ambos modelos propostos descreveram satisfatoriamente os dados experimentais com coeficientes de determinação superiores a 0,98; evidenciando o melhor ajuste o modelo tipo potência para os dados de suco concentrado de uva Malbec, estando em contraste com os estudos da reologia de melão (KAYA; BELIBAĞLI, 2002) e do suco concentrado de cereja (JUSZCZAK; FORTUNA, 2004) que obtiveram bons ajustes utilizando o modelo exponencial. Os resultados dos parâmetros do modelo de potência para cada temperatura com respectivos coeficientes de determinação estão descritos na Tabela 13, sendo possível observar que com o aumento da temperatura, o parâmetro A diminuía, enquanto o parâmetro B aumentava.

Tabela 13 – Parâmetros da equação tipo potência do suco concentrado da uva Malbec em diferentes temperaturas para o índice de consistência.

Temperatura (°C)	A.10 ⁵	B	R _{Adj} ²	RQME
1	19,66 ± 0,276 ^a	3,04 ± 0,04 ^{bc}	0,99990	0,051
10	17,86 ± 1,021 ^a	3,03 ± 0,03 ^c	0,99981	0,104
19	11,36 ± 0,818 ^b	3,01 ± 0,01 ^a	0,99971	0,013
28	9,75 ± 0,783 ^{bc}	3,02 ± 0,02 ^a	0,99962	0,017
37	9,43 ± 0,226 ^{bc}	3,06 ± 0,05 ^{ab}	0,99972	0,045
46	8,34 ± 0,737 ^{bcd}	3,08 ± 0,03 ^{ab}	0,99982	0,035
56	7,91 ± 0,289 ^{cd}	3,11 ± 0,02 ^{abc}	0,99998	0,083
66	5,92 ± 0,340 ^d	3,12 ± 0,02 ^a	0,99996	0,009
Valor p	< 0,001	< 0,001		

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa de acordo com a Análise de Variância e teste post-hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$).

A e B são constantes empíricas.

5.1.3 Efeito combinado da temperatura e concentração nos parâmetros reológicos

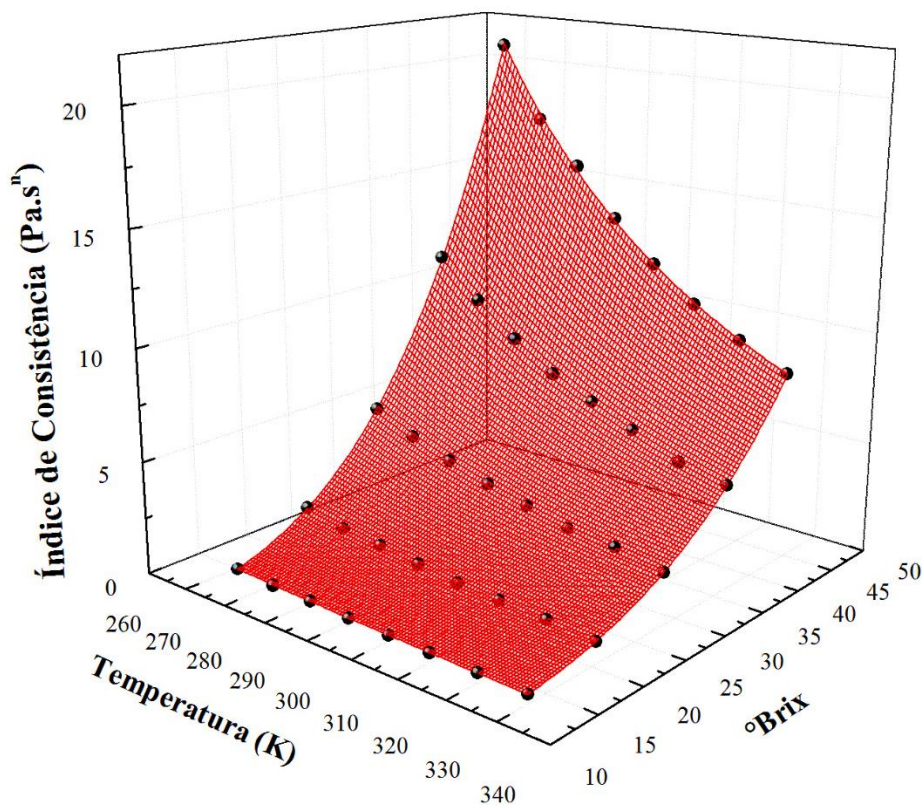
O efeito combinado das variáveis temperatura e concentração no índice de consistência foi realizado utilizando dois modelos que combinavam relações entre equações tipo Arrhenius e potencial ou relação exponencial. Análise de regressão não-linear foi realizada entre os dados do índice de consistência em diferentes temperaturas e concentração, com as Equações 25 e 26 para obter as constantes empíricas A e B, bem como a determinação da energia única de ativação para a faixa de temperatura e concentração analisada, os resultados da análise estão descritos nas Equações 31 e 32, respectivamente.

$$K = 1,40 \times 10^{-6} C^{3,0684} \exp\left(\frac{11.114}{RT}\right) \text{ com } R_{Adj}^2 = 0,99972 \text{ e } RQME = 0,083 \quad (31)$$

$$K = 3,30 \times 10^{-3} \exp\left(\frac{11.109}{RT} + 0,0864C\right) \text{ com } R_{Adj}^2 = 0,99362 \text{ e } RQME = 0,457 \quad (32)$$

O coeficiente de determinação das equações 31 e 32 apresentaram altos valores, indicando que ambos modelos descrevem de forma satisfatória os dados experimentais nas faixas de concentração e temperatura analisadas, entretanto ao avaliar os resíduos provenientes pelos modelos, verificou-se que o modelo combinado da relação Arrhenius e potencial apresentou menor valor ($RQME = 0,083$), desta forma indicando que o modelo combinado relação de Arrhenius e potencial melhor descreve os dados. A Figura 23 demonstra de forma gráfica o ajuste do modelo aos dados experimentais, cujo os pontos representam os valores de índices de consistência obtidos pelo modelo de Ostwald-de Waele e a malha vermelha indica os valores preditos pelo modelo nas faixas de temperatura e concentração estudadas. É válido destacar que a energia de ativação única encontrada por ambos modelos é similar ($p > 0,05$). No entanto, no estudo do comportamento reológico de melão (KAYA; BELIBAĞLI, 2002), suco concentrado de cereja (JUSZCZAK; FORTUNA, 2004) e suco concentrado de romã (KAYA; SÖZER, 2005) o efeito combinado da concentração e temperatura foram ajustados pelo modelo tipo Arrhenius com exponencial.

Figura 23 – Efeito combinado da concentração e temperatura no índice de consistência.



Fonte: AUTOR, 2019.

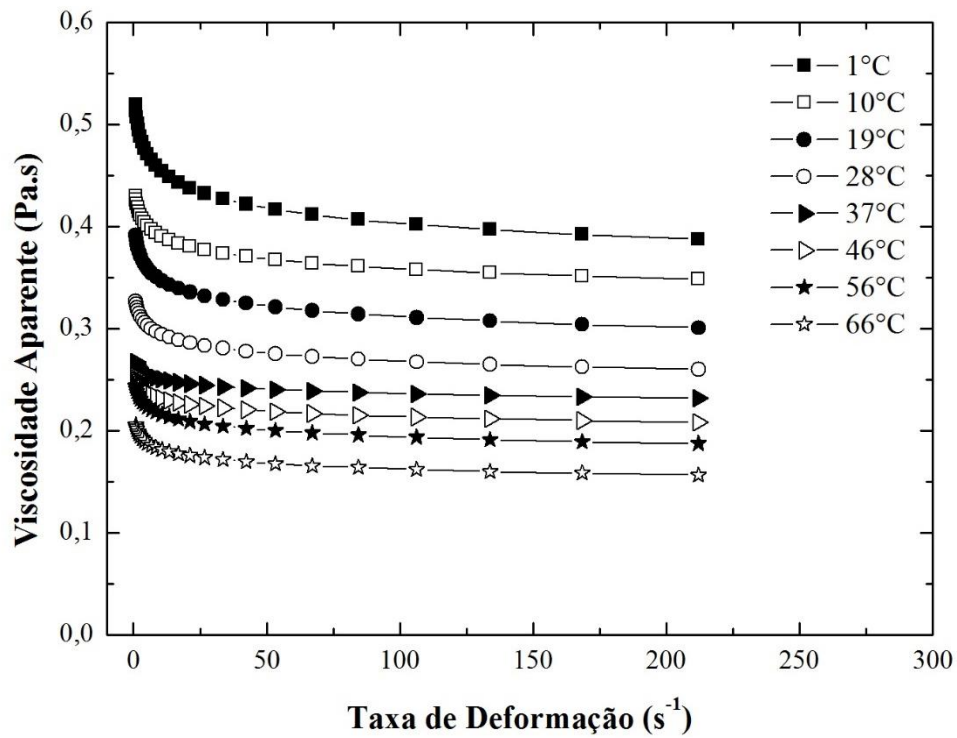
De acordo com a Figura 23 verificou-se que o aumento da temperatura proporcionou redução nos valores do índice de consistência em dada concentração, sendo esta redução ocorrendo de forma exponencial, conforme descrita pela relação de Arrhenius (Equação 17). Por outro lado, observou-se que o aumento da concentração em uma dada temperatura promoveu aumento nos valores do índice de consistência, sendo este aumento de forma potencial (Equação 23), portanto o modelo relação de Arrhenius para descrever o efeito da temperatura combinado ao efeito potencial para concentração melhor representou o comportamento dos dados, conforme resultados apresentados na Equação 31, corroborando com os resultados apresentados na análise individual de cada variável sobre o parâmetro reológico. É importante destacar que na interação entre as variáveis temperatura e concentração, 1 °C (274,15 K) e 45,0 °Brix, foi obtido o maior valor do índice de consistência, conforme representado na Figura 23 o qual observa-se uma elevação na malha proposto pelo modelo.

5.1.4 Viscosidade aparente

Como o suco concentrado da uva Malbec foi classificado como fluido pseudoplástico, a viscosidade aparente foi determinada de acordo com a Equação 13. Os resultados da viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento para cada concentração em cada temperatura estão descritos nas Figuras de 24 a 28.

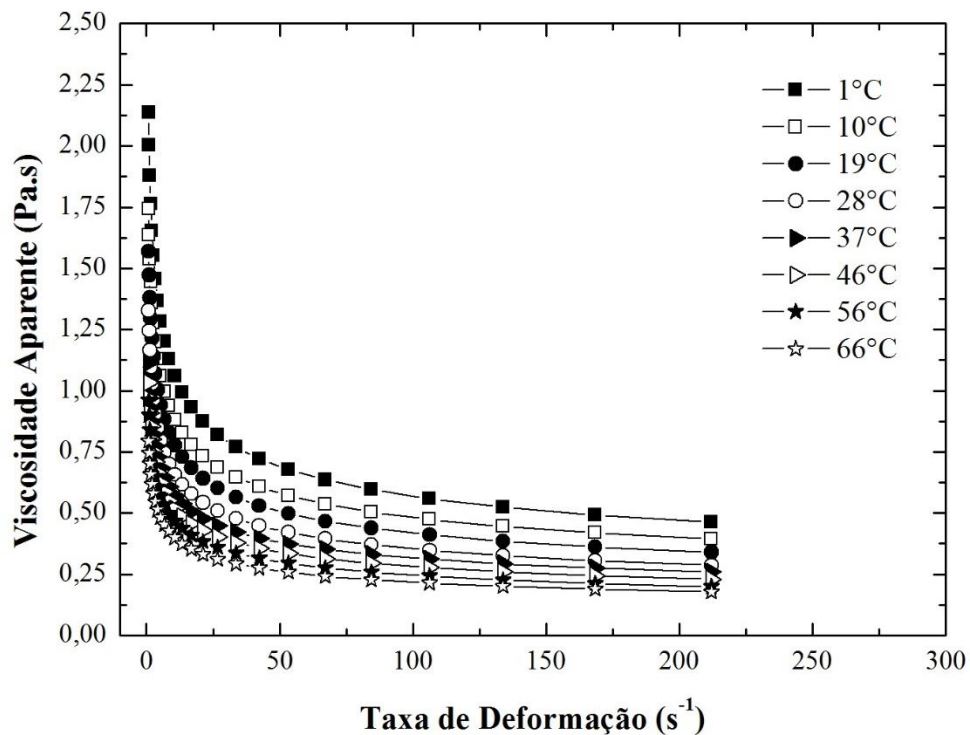
$$\mu_{ap} = K \left(\dot{\gamma} \right)^{n-1} \quad (13)$$

Figura 24 – Viscosidade aparente do suco concentrado da uva Malbec a 13,6 °Brix em diferentes temperaturas.



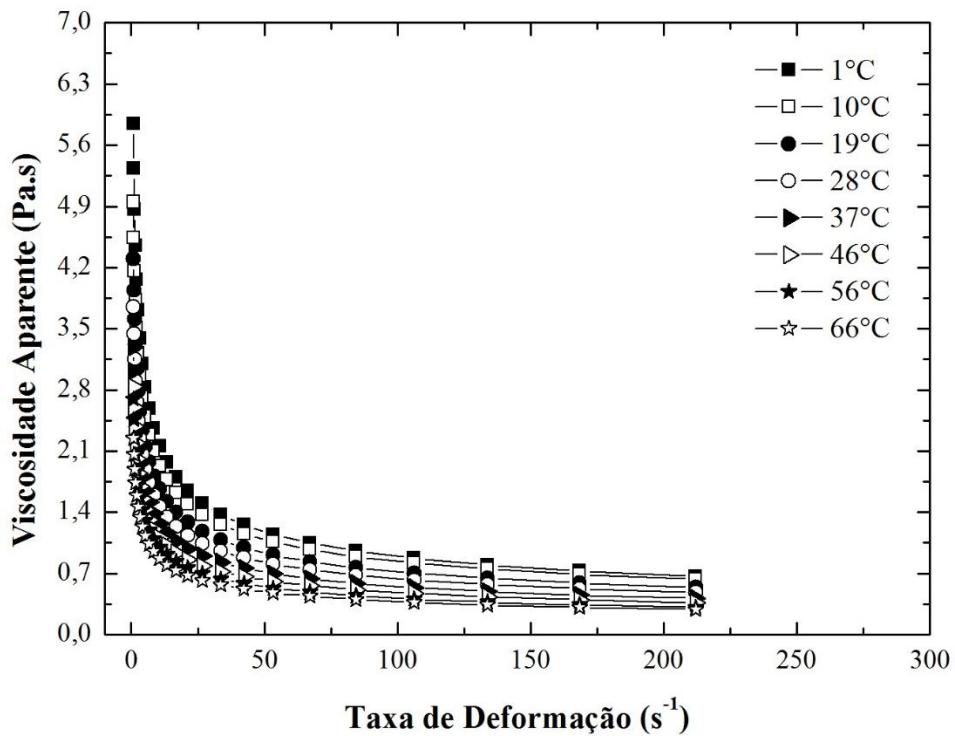
Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 25 – Viscosidade aparente do suco concentrado da uva Malbec a 21,0 °Brix em diferentes temperaturas.



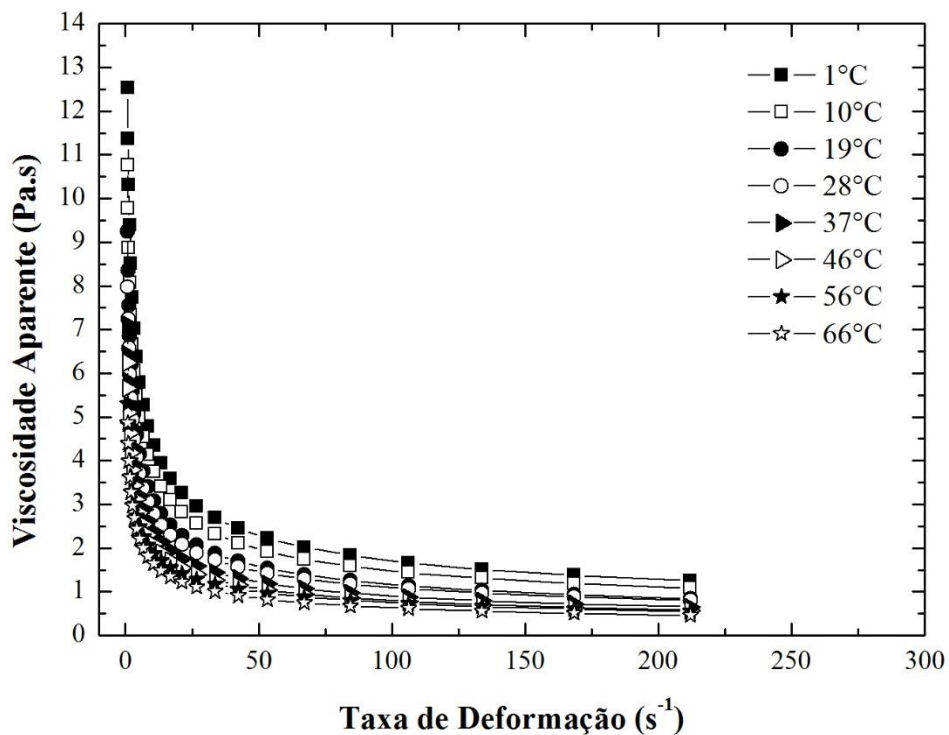
Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 26 – Viscosidade aparente do suco concentrado da uva Malbec a 29,0 °Brix em diferentes temperaturas.



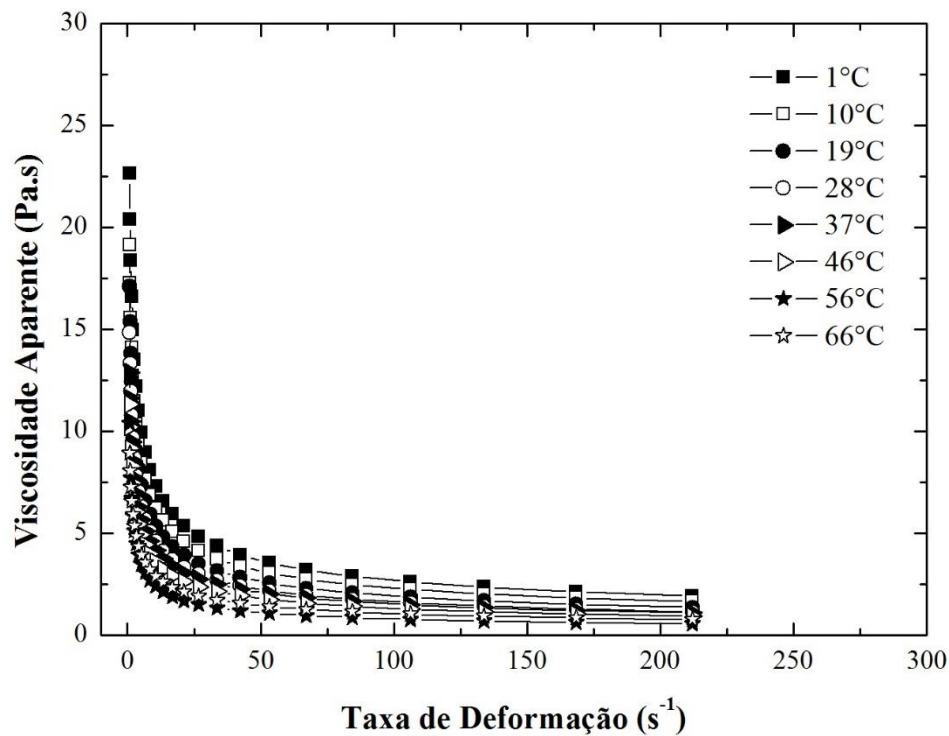
Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 27 – Viscosidade aparente do suco concentrado da uva Malbec a 37,0 °Brix em diferentes temperaturas.



Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 28 – Viscosidade aparente do suco concentrado da uva Malbec a 45,0 °Brix em diferentes temperaturas.



Fonte: AUTOR, 2019.

De acordo com as Figuras de 24 a 28 observou-se ao fixar uma temperatura e analisar o efeito da concentração, verificou-se que o aumento da concentração promoveu aumento da viscosidade aparente, diante disto na temperatura de 1°C foi possível observar a viscosidade aparente mais elevada para cada concentração, no entanto a temperatura apresentou comportamento inverso à concentração, ou seja, o aumento da temperatura reduziu os valores da viscosidade aparente em mesma concentração. É válido destacar que o aumento da taxa de deformação ocasionou redução abrupta da viscosidade aparente em todas as concentrações e temperaturas analisadas, pois com o aumento da concentração as interações partícula-partícula não são desprezíveis, uma vez que as interações geram queda da viscosidade aparente quando submetidas a altas taxas de deformação. Embora o mecanismo seja desconhecido, alguns autores sugerem que em suspensões mais concentradas, a quebra de uma rede de estruturas tridimensionais ao longo do aumento da deformação provoca a liberação da água intersticial e consequente redução da viscosidade (SATO, 1995; SEKA; VERSTRAETE, 2003; GARCÍA-OCHOA; SANTOS; CASAS; GÓMEZ, 2000).

5.2 Caracterização da Densidade

A densidade do suco de uva Malbec em diferentes concentrações e temperaturas variou de 1044,6 kg/m³ (13,6 °Brix a 66°C) a 1207,1 kg/m³ (45,0 °Brix e 10°C), estando estes resultados em acordo com outras cultivares de uvas como Cabernet Sauvignon (DE CASTILHOS; BETIOL; CARVALHO; TELIS-ROMERO, 2017) e Merlot (DE CASTILHOS; BETIOL; CARVALHO; TELIS-ROMERO, 2017) e também com suco de uva clarificado (ZURITZ *et al.*, 2005).

Os resultados da densidade nas faixas de concentração e temperatura descritas anteriormente estão apresentados na Tabela 14. De acordo com os dados apresentados na Tabela 14, foi realizada a análise de correlação de Pearson entre os valores da densidade com as variáveis temperatura e concentração, o qual foram obtidas fortes correlações negativas e significativas entre densidade e temperatura com coeficientes de correlação variando de $-0,957 \leq r \leq -0,904$ ($p < 0,001$ em todos os casos). Em relação com a concentração, a densidade apresentou forte correlação positiva e significativa $r = 0,999$ e $p < 0,001$ para todos os casos.

Verificou-se que o aumento da temperatura, em uma mesma concentração, promoveu redução significativa na densidade ($p \leq 0,007$), enquanto o aumento da concentração, em uma mesma temperatura, promoveu aumento significativo ($p < 0,001$) da densidade em todos os casos. Estes resultados foram esperados, uma vez que densidade está correlacionada forte e positivamente com a concentração de sólidos, bem como a mesma está negativamente correlacionada com a temperatura, corroborando com os resultados reportados por De Castilhos; Betiol; Carvalho e Telis-Romero (2017) para suco concentrados de uva Cabernet Sauvignon, De Castilhos; Betiol; Carvalho e Telis-Romero (2018) para suco concentrado de uva Merlot, Bon; Váquiro; Benedito e Telis-Romero (2010) para polpa de manga, Shamsudin; Mohamed e Yaman (2005) para suco de goiaba tailandesa em diferentes temperaturas e concentrações e Zutiz *et al.* (2005) para suco de uva clarificado em diferentes temperaturas e concentrações.

Tabela 14 – Densidade (média \pm desvio padrão) do suco de uva Malbec em diferentes concentrações e temperatura.

Temperatura (°C)	Densidade, ρ (kg/m ³)					¹ Valor p
	Concentração (°Brix)					
	13,6	21,0	29,0	37,0	45,0	
1	1059,3 \pm 0 ^{aE}	1094,5 \pm 3 ^{aD}	1129,3 \pm 1 ^{aC}	1167,3 \pm 5 ^{aB}	1206,8 \pm 5 ^{aA}	< 0,001
10	1058,9 \pm 1 ^{aE}	1092,8 \pm 1 ^{aD}	1128,9 \pm 1 ^{aC}	1167,0 \pm 4 ^{aB}	1207,1 \pm 2 ^{aA}	< 0,001
19	1058,0 \pm 0 ^{abE}	1092,2 \pm 2 ^{aD}	1128,0 \pm 1 ^{aC}	1166,0 \pm 4 ^{aB}	1206,6 \pm 2 ^{aA}	< 0,001
28	1056,4 \pm 1 ^{abE}	1090,7 \pm 2 ^{abD}	1127,2 \pm 3 ^{aC}	1164,4 \pm 5 ^{abB}	1205,9 \pm 2 ^{aA}	< 0,001
37	1055,0 \pm 2 ^{abcE}	1089,5 \pm 4 ^{abD}	1125,9 \pm 4 ^{abC}	1162,3 \pm 4 ^{abB}	1203,8 \pm 2 ^{abA}	< 0,001
46	1053,0 \pm 3 ^{bcE}	1086,7 \pm 4 ^{abD}	1123,1 \pm 2 ^{abC}	1161,7 \pm 3 ^{abB}	1201,0 \pm 8 ^{abA}	< 0,001
56	1049,2 \pm 3 ^{cdE}	1082,8 \pm 4 ^{bcD}	1119,3 \pm 4 ^{bcC}	1155,7 \pm 4 ^{abB}	1192,1 \pm 5 ^{bA}	< 0,001
66	1044,6 \pm 3 ^{dE}	1076,8 \pm 1 ^{cD}	1114,7 \pm 4 ^{cC}	1154,0 \pm 5 ^{bB}	1192,6 \pm 4 ^{bA}	< 0,001
²Valor p	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,007	< 0,001	

^{1,2}Letras maiúsculas diferentes na mesma linha e letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas de acordo com Análise de Variância e o teste *post-hoc* de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Foram realizadas análises de regressões múltiplas aplicando os modelos propostos na Tabela 8 utilizando os valores médios da densidade expressos na Tabela 14. Os resultados destas regressões estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados das regressões múltiplas da densidade como função da temperatura e concentração.

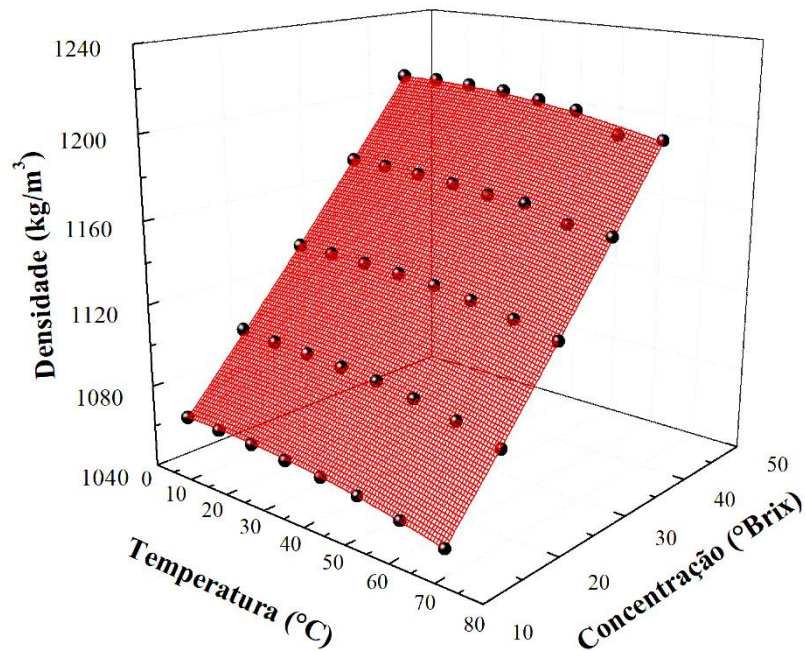
Modelo	Fórmula	R_{Adj}²	RQME
Polinomial 1ª ordem	$\rho = \phi_1 + \phi_2 T + \phi_3 C$	0,99839	2,0525
Polinomial 2ª ordem Tipo I	$\rho = \phi_1 + \phi_2 T + \phi_3 T^2 + \phi_4 C$	0,99929	1,3414
Polinomial 2ª ordem Tipo II	$\rho = \phi_1 + \phi_2 T + \phi_3 T^2 + \phi_4 C + \phi_5 C^2$	0,99959	1,0109

$\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ e Φ_5 são constantes empíricas do modelo; T é a temperatura em °C; C é a concentração de sólidos solúveis em °Brix e ρ é a densidade em kg.m⁻³.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 15 verificou-se que o modelo polinomial de 2ª ordem descreveu melhor os dados da densidade como função da temperatura e concentração, com elevado coeficiente de determinação e baixo RQME, corroborando com o modelo encontrado por Zuritz *et al.* (2005), para descrever a densidade como função da temperatura e concentração de sólidos solúveis para suco de uva clarificado. A Figura 29 apresenta de forma gráfica os dados densidade em função da temperatura e concentração, o qual os pontos representam os dados experimentais enquanto a malha em vermelho representa os valores preditos pelo modelo descrito pela equação 33.

$$\rho(C, T) = 1000,97 + 0,0321T - 0,0039T^2 + 4,19C + 0,0086C^2 \quad (33)$$

Figura 29 – Gráfico da densidade como função da concentração e temperatura.



Fonte: AUTOR, 2019.

5.2.1 Coeficiente de expansão térmica

Com a escolha do modelo que melhor representou os dados da densidade como função da temperatura e concentração (Equação 33), o mesmo foi substituído na Equação 30, desta forma o coeficiente de expansão térmica em função da temperatura e concentração será determinado conforme a Equação 34.

$$\beta(C,T) = \frac{-0,0321 + 0,0078T}{1000,97 + 0,0321T - 0,0039T^2 + 4,19C + 0,0086C^2} \quad (34)$$

Utilizando a faixa de concentração e temperatura empregadas neste estudo e aplicando à equação 34, foram obtidos valores do coeficiente de expansão térmica sendo estes valores apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Coeficiente de expansão térmica (β) de suco de uva Malbec em diferentes temperaturas e concentrações.

Temperatura (°C)	Coeficiente de expansão térmica, β (°C ⁻¹)				
	Concentração (°Brix)				
	13,6	21,0	29,0	37,0	45,0
1	-2,29.10 ⁻⁰⁵	-2,22.10 ⁻⁰⁵	-2,15.10 ⁻⁰⁵	-2,08.10 ⁻⁰⁵	-2,01.10 ⁻⁰⁵
10	4,33.10 ⁻⁰⁵	4,20.10 ⁻⁰⁵	4,06.10 ⁻⁰⁵	3,93.10 ⁻⁰⁵	3,80.10 ⁻⁰⁵
19	1,10.10 ⁻⁰⁴	1,06.10 ⁻⁰⁴	1,03.10 ⁻⁰⁴	9,95.10 ⁻⁰⁵	9,63.10 ⁻⁰⁵
28	1,76.10 ⁻⁰⁴	1,71.10 ⁻⁰⁴	1,65.10 ⁻⁰⁴	1,60.10 ⁻⁰⁴	1,55.10 ⁻⁰⁴
37	2,43.10 ⁻⁰⁴	2,36.10 ⁻⁰⁴	2,28.10 ⁻⁰⁴	2,20.10 ⁻⁰⁴	2,13.10 ⁻⁰⁴
46	3,10.10 ⁻⁰⁴	3,01.10 ⁻⁰⁴	2,91.10 ⁻⁰⁴	2,81.10 ⁻⁰⁴	2,72.10 ⁻⁰⁴
56	3,86.10 ⁻⁰⁴	3,74.10 ⁻⁰⁴	3,62.10 ⁻⁰⁴	3,50.10 ⁻⁰⁴	3,38.10 ⁻⁰⁴
66	4,62.10 ⁻⁰⁴	4,48.10 ⁻⁰⁴	4,33.10 ⁻⁰⁴	4,19.10 ⁻⁰⁴	4,05.10 ⁻⁰⁴

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 16, o coeficiente de expansão térmica variou de $-2,29.10^{-5} \text{ °C}^{-1}$ (1°C a 13,6°Brix) até $4,62.10^{-4} \text{ °C}^{-1}$ (66°C a 13,6°Brix). Poucos trabalhos tem reportado valores do coeficiente de expansão térmica em diferentes concentrações e temperaturas, no entanto Polachini *et al.* (2016) determinou para extrato de carne obtendo valor médio de $5,33.10^{-4} \text{ °C}^{-1}$ na faixa de temperatura de 2 a 98°C e concentração de sólidos de 1,5 a 60 $\text{g}_{\text{sólidos}}/\text{100g}_{\text{solução}}$, Canciam (2005;2008) determinou para óleo de algodão e óleo de soja coeficiente de expansão térmica equivalente a $7,4355.10^{-4} \text{ °C}^{-1}$ e $7,4676.10^{-4} \text{ °C}^{-1}$ na faixa de temperatura de -20 a 80°C, respectivamente, Costa, Silva e Vieira (2018) determinaram em seu estudo o coeficiente de expansão térmica para polpa de açaí na faixa de temperatura de 30 a 80°C e conteúdo de sólidos de 9 a 18% (matéria seca) obtendo valores para o coeficiente variando de $3,5.10^{-4}$ a $6,5.10^{-4} \text{ °C}^{-1}$.

O coeficiente de expansão térmica relaciona a razão entre o incremento no volume de determinado fluido quando submetido a um incremento de temperatura em processo sobre pressão constante. Portanto este coeficiente poderá apresentar valores positivos, nulo ou negativos (OLIVEIRA, 2005; SMITH; NESS; ABBOTT, 2007). De acordo com os resultados apresentados na Tabela 16, observou-se que para todas as concentrações na temperatura de 1°C, valores negativos para o coeficiente de expansão térmica foram obtidos. Este efeito ocorre devido a expansão do fluido quando submetido a baixas temperatura, ou seja, semelhantemente à água os concentrados do suco de uva Malbec apresentam expansão em seu volume quando estão em baixas temperaturas.

Ao admitir o coeficiente de expansão térmica nulo, $\beta(C,T)=0$, na Equação 34 e isolar a variável temperatura, obtém-se a temperatura o qual a densidade do suco de uva Malbec irá atingir o valor máximo da densidade em qualquer concentração. Oliveira (2005) reporta que para água pura a 1 atm de pressão, a temperatura o qual a água atinge a máxima densidade é de 4 °C, enquanto para o suco de uva Malbec nas condições descritas acima, tem-se que a máxima densidade atingida pelo suco em diferentes concentrações ocorre na temperatura de 4,12°C, ou seja, quando o suco for submetido a temperaturas inferiores a 4,12 °C valores negativos para o coeficiente de expansão térmica serão obtidos.

Foi aplicada análise de correlação de Pearson aos dados apresentados na Tabela 16, no entanto a análise foi dividida em duas partes: a primeira parte realizada com os resultados positivos do coeficiente de expansão, enquanto a segunda parte foi realizada com os valores negativos do coeficiente de expansão. Com relação aos valores positivos do coeficiente de expansão (a partir de 10°C em todas as concentrações) constatou-se forte correlação positiva e significativa com a temperatura ($0,99998 \leq r \leq 0,99999$ e $p < 0,001$), no entanto com relação a concentração foi identificada forte correlação negativa e significativa para o coeficiente de expansão ($-0,9998 \leq r \leq -0,9996$ e $p < 0,001$). Em contraste com os valores negativos do coeficiente de expansão térmica, foi identificado forte correlação positiva e significativa com a concentração ($r = 0,99999$ e $p < 0,001$).

6 CONCLUSÃO

Concluiu-se que na modelagem do comportamento reológico do suco concentrado da uva Malbec foi possível obter ajuste satisfatório ao modelo de Ostwald-de Waele com elevados coeficientes de determinação e baixos resíduos, $R_{Adj}^2 \geq 0,99507$ e $RQME \leq 1,25$ respectivamente, quando comparado aos modelos de Newton, Bingham e Herschel-Bulkley. O suco de uva Malbec concentrado apresentou comportamento pseudoplástico ($n < 1$) na faixa de taxa de deformação estudada para todas temperaturas e concentrações. O índice de consistência (K) reduziu com o aumento da temperatura enquanto o índice de comportamento não foi influenciado pela temperatura. O efeito da temperatura no índice de consistência foi satisfatoriamente descrito por uma equação tipo Arrhenius e os valores de energia de ativação obtidos variaram de 11,02 kJ/mol a 11,54 kJ/mol. Os modelos que combinam os efeitos de temperatura e concentração ajustaram-se satisfatoriamente aos dados experimentais, no entanto o modelo combinado da equação tipo Arrhenius com potencial melhor descreveu os dados com $R_{Adj}^2 = 0,99972$ e $RQME = 0,083$, apresentando energia de ativação única de 11,11 kJ/mol. A viscosidade aparente do suco aumentou com aumento da concentração e reduziu com o aumento da temperatura.

Com relação à densidade do suco de uva Malbec, o mesmo diferiu significativamente com relação a temperatura e concentração, sendo o modelo polinomial de segunda ordem que melhor descreveu os dados experimentais da densidade como função da temperatura e concentração. De modo a explicar as variações da densidade em função da temperatura, foi determinado o coeficiente de expansão térmica o qual indicou que na temperatura de 4,12 °C o coeficiente apresenta valores nulos na faixa de concentração estudada, indicando que a máxima densidade será determinada nesta temperatura.

Os resultados obtidos evidenciam relevante importância aos produtores de vinhos, uma vez que os resultados referentes aos dados reológicos e de densidade irão otimizar operações unitárias envolvidas no processamento de vinhos na utilização do suco concentrado da uva Malbec como agente de chaptalização. O uso do suco concentrado de uva ao invés de sacarose como agente de chaptalização pode produzir vinhos de melhor qualidade, uma vez que o uso da sacarose pode ocasionar alterações nas características sensoriais, assim a aplicação do suco concentrado poderá ser uma medida alternativa para clássica técnica de chaptalização na produção de vinhos.

REFERÊNCIAS

- A BÍBLIA. **A cura de um lunático**. Tradução de João Ferreira Almeida. Rio de Janeiro: King Cross Publicações, 2008. 1110 p. Velho Testamento e Novo Testamento.
- ADORNO, R. A. C. **Reologia de sucos de frutas tropicais: manga, maracujá, mamão e goiaba**. 1997. 191f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, Campinas, 1997.
- ALBUQUERQUE, T. C. S. Avaliação de genótipos de uva no semi-árido brasileiro. *In: QUEIRÓZ, M. A.; GOEDERT, C. O. Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro*. Embrapa Semi-Árido, Petrolina, 1999.
- AMARANTE, J. O. A. **Vinhos do Brasil e do mundo para conhecer e beber**. São Paulo: Summus Editorial, 1983. 157p.
- ANTONIOLLI, A.; FONTANA, A. R.; PICCOLI, P.; BOTTINI, R. Characterization of polyphenols and evaluation of antioxidant capacity in grape pomace of the cv. Malbec. **Food Chemistry**, v. 178, p. 172-178, 2015.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2018. 88p. ISSN 1808-4931.
- ARAÚJO, A. J. B., DINIZ, B. C. R., BARRETO, J., OLIVEIRA, C. S., COSTA, T. R., NASCIMENTO, R. L., QUINTINO, C., ALVES, L. A., PEREIRA, G. E. Caracterização do perfil aromático de vinhos tropicais elaborados a partir de uvas Sauvignon Blanc e Chenin Blanc no Nordeste do Brasil. *In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO*, 5, 2010, Petrolina. **Anais [...]** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/25345/1/Ana-Julia-V-Jorn-de-Inic-Cient.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2019.
- ASTOLFI-FILHO, Z. **Propriedades reológicas e termofísicas de caldo de cana utilizados no processo de obtenção de bioetanol**. 2011. 143f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”. São Paulo, São José do Rio Preto, 2011.
- ASTOLFI-FILHO, Z.; TELIS, V. R. N., OLIVEIRA, E. B., COIMBRA, J. S. R.; TELIS-ROMERO, J. Rheology and fluid dynamics properties of sugarcane juice. **Biochemical Engineering Journal**, v. 53, p. 260-265, 2011.
- AUGUSTO, P. E. D.; IBARZ, A.; CRISTIANINI, M. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of a fruit juice serum model. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 474–477, 2012.
- BARRETO, T. L.; POLACHINI, T. C.; BARRETTO, A. C. S.; TELIS-ROMERO, J. Water sorption isotherms of cooked hams as affected by temperature and chemical composition. **Food Science and Technology**, v. 38, p.--, 2018.
- BARNABÉ, D.; MARZAROTTO, V. Sucos de Uva. *In: VENTURINI FILHO, W. G. (coord.). Bebidas não alcoólicas: ciência e tecnologia*. 2. ed. v. 2. São Paulo: Blucher, 2018. 524p.

BEZERRA, C. V.; SILVA, L. H. M.; COSTA, R. D. S.; MATTIETTO, R. A.; RODRIGUES, A. M. C. Comportamento reológico de suco misto elaborado com frutas tropicais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 2, p. 155-162, 2013.

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Transport phenomena**. New York: Wiley, 1960. 780p.

BIROLO, F.; ZENELLA, V. **Produção nacional**. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/24428422/producao-nacional>. Acesso em: 5 mar. 2019.

BOFO, D. C. S. **Reologia de fluidos envolvidos no processo de obtenção de bioetanol**. 2015. 168f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”. São Paulo, São José do Rio Preto, 2011.

BOFO, D. C. S.; CABRAL, R. A. F.; ANDRIETTA, S. R.; TELIS-ROMERO, J. Rheological behavior of molasses for application in industry. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 35, p. 1545-1552, 2016.

BON, J.; VÁQUIRO, J.; TELIS-ROMERO, J. Thermophysical properties of mango pulp (*Mangifera indica* L. cv. Tommy Atkins). **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 4, p. 563-568, 2010.

BRASIL. **Lei nº 7.678, de 8 de novembro de 1988**. Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ) dos vinhos e derivados da uva e do vinho, incluindo padrões do suco de uva, polpa de uva, vinagre balsâmico e alcoólico composto. MAPA 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/noticias/mapa-atualiza-padroes-de-vinho-uva-e-derivados/INMAPA142018PIQVinhoseDerivados.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2019.

BRASIL. **Altera dispositivos da Lei n. 7678 de 8 de novembro de 1988**. Brasília: Diário Oficial da União, 2005.

BUDIĆ-LETO, I.; MUCALO, A.; LJUBENKOV, I.; ZDUNIĆ, G. Anthocyanin profile of wild grape *Vitis vinifera* in the eastern Adriatic region. **Scientia Horticulturae**, v. 238, p. 32-37, 2018.

CABRAL, R. A. F. **Influência da temperatura e fração de água nos parâmetros reológicos do extrato de café**. 2000. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”. São Paulo, São José do Rio Preto, 2000.

CABRAL, R. A. F.; GUT, J. A. W.; TELIS, V. R. N.; TELIS-ROMERO, J. Non-newtonian flow and pressure drop of pineapple juice in plate heat exchanger. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 27, n. 4, p. 563-571, 2010.

CAMARGO, U. A.; MAIA, J. D. G.; RITSCHER, P. S. **Cultivares de videiras para processamento**. In: SILVEIRA, S. V.; HOFFMANN, A.; GARRIDO, L. R.; (Ed.). Produção integrada de uva para processamento: implantação do vinhedo, cultivares e manejo da planta. Brasília, DF: Embrapa, 2015. v. 3, cap. 2, p. 25-40. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1060142>. Acesso em: 7 mar. 2019.

CANCIAM, C. A. Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de algodão. **Revista Publicatio UEPG—Ciências exatas e da terra, ciências agrárias e engenharias**, v. 11, n. 3, p. 27-31, 2005.

CANCIAM, C. A. Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de soja (Glicine max). **Revista Tecnológica**, v. 17, p. 13-18, 2008.

CAPELLI, A. **Influência da faixa de taxas de deformação na precisão de caracterizações reológicas de fluidos**. 2012. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”. São Paulo, São José do Rio Preto, 2011.

CARRON, W.; GUIMARÃES, O. **As faces da física**. São Paulo: Editora Moderna, 1997. 277p.

CATALUÑA, E. **As uvas e os vinhos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1988. 207p.

CEPEDA, E.; HERMOSA, M.; LLORENS, F.; VILLARÁN, M. C. Rheological behavior of blueberry cloudy juice (*Vaccinium corymbosum* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 271-276.

COMACHIO, V. **BRS Violeta conquista os vinhedos gaúchos**. A Vindima, v. 10, n. 96, p. 5, 2017. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161094/1/Comachio-Avindima-V10-N96-P5-2017.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2019.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; TECCHIO, M. A.; MOURA, M. F.; SILVA, M. J. R. **Demanda hídrica de videiras para a produção de uvas destinadas à elaboração de suco na região noroeste de São Paulo**. Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2018. 9p. ISSN 1808-6802. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181499/1/Comunicado-Tecnico-203-2018.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2019.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; TONIETTO, J. **Condições climáticas para produção de uvas na região de Jales (SP)**. Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2014. 4p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/998757>. Acesso em: 6 mar. 2019.

CORRÊA, N. F.; CAMARGO JÚNIOR, F. B.; IGNÁCIO, R. F.; LEONARDI, G. R. Avaliação do comportamento reológico de diferentes géis hidrofílicos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 41, n. 1, p. 73-78, 2005.

COSTA, H. C. B.; SILVA, A. O.; VIEIRA, L. G. M. Physical properties of açai-berry pulp and kinetics study of its anthocyanin thermal degradation. **Journal of Food Engineering**, v. 239, p. 104-113.

DAHDOUH, L.; WISNIEWSKI, C.; RICCI, J.; VACHOUD, L.; DORNIER, M.; DELALONDE, M. Rheological study of orange juices for a better knowledge of their suspended solids interactions at low and high concentration. **Journal of Food Engineering**, v. 174, p. 15-20, 2016.

DAK, M.; VERMA, R. C.; JAAFFREY, S. N. A. Effect of temperature and concentration on rheological properties of “kesar” mango juice. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 4, p. 1011-1015, 2007.

DA SILVA, F. C.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C. A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 121-126, 2005.

DE CASTILHOS, M. B. M.; BETIOL, L. F. L.; CARVALHO, G. R.; TELIS-ROMERO, J. Experimental study of physical and rheological properties of grape juice using different temperatures and concentrations. Part I: Cabernet Sauvignon. **Food Research International**, v. 100, p. 724-730, 2017.

DE CASTILHOS, M. B. M.; BETIOL, L. F. L.; CARVALHO, G. R.; TELIS-ROMERO, J. Experimental study of physical and rheological properties of grape juice using different temperatures and concentrations. Part II: Merlot. **Food Research International**, v. 105, p. 905-912, 2018.

DE MARIA, S; FERRARI, G.; MARESCA, P. Rheological characterization and modelling of high pressure processed Bovine Serum Albumin. **Journal of Food Engineering**, v. 153, p. 39-44, 2015.

DEMIRKOL, M.; TARAKCI, Z. Effect of grape (*Vitis labrusca L.*) pomace dried by different methods on physicochemical, microbiological and bioactive properties of yoghurt. **LWT – Food Science and Technology**, v. 97, p. 770-777, 2018.

DITCHFIELD, C.; TADINI, C. C.; SINGH, R. K.; TOLEDO, R. Rheological properties of banana puree at high temperatures. **International Journal of Food Properties**, v. 7, n. 3, p. 571-584, 2004.

EMPRABA UVA E VINHO. **Viticultura Gaúcha quase dobra área plantada em 20 anos**. Agapomi, n. 278, p. 4, Jul. 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/162619/1/Embrapa-Agapomi-N278-P04-2017.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2019.

FANZONI, M.; GONZÁLEZ-MANZANO, S.; PÉREZ-ALONSO, J.; ESCRIBANO-BAILÓN, M. T.; JOFRÉ, V.; ASSOFF, M.; SANTOS-BUELGA, C. Evaluation of dihydroquercetin-3-*O*-glucoside from Malbec grapes as copigment of malvidin-3-*O*-glucoside. **Food Chemistry**, v. 175, p. 166-173, 2015.

FERREIRA, T. O., COSTA, R. R., ANDRADE NETO, E. R., LIMA, M. A. C. Qualidade das uvas "BRS Magna" associada a sistemas de condução e porta-enxertos no Submédio do Vale do São Francisco: primeiro ciclo de produção. In: JORNADA DE INTEGRAÇÃO DA PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 3, 2018, Petrolina. **Anais [...]** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2018. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/190440/1/SDC284-229-233.pdf>. Acesso em: 12 feb. 2019.

FLAUZINO, R. D. **Influência da temperatura e do teor de gordura nos parâmetros reológicos do leite condensado e creme de leite**. 2007. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”. São Paulo, São José do Rio Preto, 2011.

FREDDI, N.; VELLOSO, G.; ALVES, R. **Malbec, a uva da moda**: recentemente descoberta pelo público brasileiro, a tradicional Malbec se transformou num dos maiores sucessos dos últimos tempos. Uva em Destaque, p. 36-39. Disponível em:

<http://www.artwine.com.br/edicoes/wine-style-2-malbec-a-uva-da-moda.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2019.

GABAS, A. L.; MENEZES, R. S.; TELIS-ROMERO, J. **Reologia na indústria de biocombustíveis**. Lavras: INDI, 2012.

GARCÍA-OCHOA, F.; SANTOS, V. E.; CASAS, J. A.; GÓMEZ, E. Xanthan gum: production, recovery, and properties. **Biotechnology advances**, v. 18, n. 7, p. 549-579, 2000.

GINER, J.; IBARZ, A.; GARZA, S.; XHIAN-QUAN, S. Rheology of Clarified Cherry Juices. **Journal of Food Engineering**, v.30, p.147-154, 1996.

GOMES, D. **Efeitos da vibração na qualidade da uva “Niágara Rosada”**. 2006. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, Campinas, 2006.

GRATÃO, A. C. A.; BERTO, M. I.; SILVEIRA JÚNIOR, V. Reologia do açúcar líquido invertido: influência da temperatura na viscosidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 4, p. 652-656, 2004.

GRATÃO, A. C. A.; SILVEIRA JÚNIOR, V.; POLIZELLI, M. A., TELIS-ROMERO, J. Thermal properties of passion fruit juice as affected by temperature and water content. **Journal of Food Process Engineering**, v. 27, n. 6, p. 413-431, 2004.

GRATÃO, A. C. A.; SILVEIRA JÚNIOR, V.; TELIS-ROMERO, J. Laminar flow of soursop juice through concentric annuli: Friction factors and rheology. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 4, p. 1343-1354, 2007.

GUEDES, D. B.; RAMOS, A. M.; DINIZ, M. D. M. S. Efeito da temperatura e da concentração nas propriedades físicas de polpa de melancia. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 4, p. 279-285, 2010.

GUERRA, C.C. Vinhos finos do Brasil: diversidade de regiões, tipos e estilos de produtos. **Engarrador Moderno**, São Caetano do Sul, v. 25, n. 280, p. 30-37, 2017. 1ª Parte. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/165825/1/celito1parteartigo2017.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2019.

GUERRERO, S. N.; ALZAMORA, S. M. Effect of pH, temperature and glucose addition on flow behavior of fruit purées: I. Banana purée. **Journal of Food Engineering**, v. 33, p. 239-256, 1997.

HAIR, J. F. Jr.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009, 688p.

HANCOCK, B. C.; YORK, P.; ROWE, R. C. An assessment of substrate-binder interactions in model wet masses. 1: Mixer torque rheometry. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 102, p. 167-176, 1994.

HIDALGO, J. **Seis fatos que talvez você não saiba sobre a Argentina**. ArtWine Consultoria de Vinhos, 2015. Disponível em: <http://www.artwine.com.br/artigos-e-reportagens/382/seis-fatos-que-talvez-voce-nao-saiba-sobre-a-argentina>. Acesso em: 18 mar. 2019.

HOFF, R., FALCADE, I., BERGMANN, M., ALBERTI, R., MODENA, R. C. C., DALCIN, M. Geologia, geomorfologia e paisagem vitícola: uma abordagem da identidade regional da viticultura na região vitivinícola campanha, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio Grande do Sul, v. 19, n. 4, p. 757-776, 2018.

HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behavior of fluid food products. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 2, p. 393-418, 1971.

IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Unit Operations in Food Engineering**. Boca Raton Londres New York Washington, D.C., CRC press, 2002.

IGLEZ de SOUSA, J.S. **Uvas para o Brasil**. 2.ed. rev. atual. Piracicaba: FEALQ, 1996. 791p. il. (FEALQ. Biblioteca de Ciências Agrárias "Luiz de Queiroz", 1). Com a colaboração de: Antonio Ambrósio Amaro, Antonio Roque Dechen, Edyl de Domênico Pinheiro e outros.

INBRAVIN. **Saiba qual a diferença entre o verdadeiro suco de uva e as outras bebidas**. 100% Suco de uva do Brasil. Disponível em: http://www.sucodeuvadobrasil.com.br/view/pdf.php?i=YkCBN15dG7_-B2z5100ABzp9vzSqo8ipp25HbqxJ4ZE. Acesso em: 20 mar. 2019.

JACKSON, R. S. **Wine science: principles and applications**. 3ed. San Diego: Academic Press.

JEDIYI, H.; NAAMANI, K.; ELKOCH, A. A.; DIHAZI, A.; FELS, A. E. A. E.; ARKIZE, W. First study on technological maturity and phenols composition during the ripeness of five *Vitis vinifera* L grape varieties in Morocco. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 390-397, 2019.

JUSZCZAK, L.; FORTUNA, T. Effect of temperature and soluble solid content on the viscosity of cherry juice concentrate. **International Agrophysics**, v. 18, p. 17-21, 2004.

KAYA, A.; BELIBAĞLI, K. B. Rheology of solid Gaziantep Pekmez. **Journal of Food Engineering**, v. 54, n. 3, p. 221-226, 2002.

KAYA, A.; SÖZER, N. Rheological behaviour of sour pomegranate juice concentrates (*Punica granatum* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 40, n. 2, p. 223-227, 2005.

KING, E. S.; STOUMEN, M.; BUSCEMA, F.; HJELMELAND, A. K.; EBELER, S. E.; HEYMANN, H.; BOULTON, R. B. Regional sensory and chemical characteristics of Malbec wines from Mendoza and California. **Food Chemistry**, v. 143, p. 256–267, 2014.

LAGO-VANZELA, E. S. **Estudos bioquímicos, físico-químicos e tecnológicos de uvas paulistas**. 2011. 211f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”. São Paulo, São José do Rio Preto, 2011.

LAGO-VANZELA, E. S., BAFFI, M. A., SILVA, R. (org.). **Uvas e vinhos: química, bioquímica e microbiologia**. São Paulo: Editora Unesp; Editora Senac, 2015. 194p.

LAMB, J. Influence of water on thermal properties of foods. **Chemistry & Industry**, v. 24, p. 1046-1048, 1976.

LAZZAROTTO, J. J.; TAFFAREL, J. C.; MONTEIRO, R. **Caracterização e análise de aspectos sociais, tecnológicos e econômico-financeiros da viticultura Gaúcha e**

Catarinense. Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2016. 54p. ISSN 1808-4648. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/144833/1/Doc97.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2019.

LIU, H.F.; WU, B. H.; FAN, P. G.; LI, S. H.; LI, L. S. Sugar and acid concentrations in 98 grape cultivars analyzed by principal component analysis. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 1526-1536, 2006.

MAGNIN, A.; PIAU, J. M. Cone-and-plate rheometry of yield stress fluids. Study of an aqueous gel. **Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics**, v. 36, p. 85-108, 1990.

MANFROI, V. **Degustação de vinhos.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004. 127p.

MELLO, L. M. R. **Evolução da viticultura do Rio Grande do Sul: 1996 a 2015.** In: MELLO, L. M. R. de; MACHADO, C. A. E. (Ed.). Cadastro Vitícola do Rio Grande do Sul: 2013 a 2015. Brasília, DF: Embrapa, p. 53-74, 2017a. Capítulo 3. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176226/1/Evolucao-da-viticultura-Cap-3-ebookA4-5.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2019.

MELLO, L. M. R. **Vitivinicultura brasileira: panorama 2017.** Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2018. 11p. ISSN 1808-6802. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/187913/1/Comunicado-Tecnico-207.pdf>. Acesso em: 12 feb. 2019.

MELLO, L. M. R. **Vitivinicultura brasileira: panorama 2016.** Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2017b. 7p. ISSN 1808-6802. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/179393/1/Comunicado-Tecnico-199-versao-2018-06-21.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2019.

MELLO, L. M. R.; MACHADO, C. A. E. **Cadastro Vitícola do Rio Grande do Sul: 2013 a 2015.** Brasília, DF: Embrapa, 2017. 85p. ISBN 978-85-7035-732-8. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176223/1/ebookA4-5.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2019.

MIZRAHI, S.; BERK, Z. Flow Behaviour of Concentrated Orange Juice: Mathematical Treatment. **Journal of Texture Studies**, v.3, n.1, p. 69-79, 1972.

MOURA, M. F. C. **Embrapa lança cultivares de uvas produtivas e adaptadas à Região Sul.** Embrapa Uva e Vinho. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/41413580/embrapa-lanca-cultivares-de-uvas-produtivas-e-adaptadas-a-regiao-sul>. Acesso em: 6 mar. 2019.

NARDUZZI, L.; STANSTRUP, J.; MATTIVI, F. Comparing wild American grapes with *Vitis vinifera*: A metabolomics study of grape composition. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, n. 30, p. 6823-6834, 2015.

NASH, V.; RANADHEERA, C. S.; GEORGOSOPOULOU, E. N.; MELLOR, D. D.; PANAGIOTAKOS, D. B.; MCKUNE, A. J.; KELLETT, J.; NAUMOVSKI, N. The effects of grape and red wines polyphenols on gut microbiota – A systematic review. **Food Research International**, v. 113, p. 277-287, 2018.

OLIVEIRA, M. J. **Termodinâmica.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005. 365p.

PAGÁN, J.; IBARZ, A. Extraction and rheological properties of pectin from fresh peach pomace. **Journal of Food Engineering**, v.39, p.193-201, 1999.

PEREIRA, G. E.; GUERRA, C. C.; AMORIM, F. M.; NASCIMENTO, A. M. S.; SOUZA, J. F.; LIMA, L. L. A.; LIMA, L. M. S.; PADILHA, C. V. S.; PROTAS, J. F. S.; ZANUS, M. C.; TONIETTO, J. Vinhos tropicais do semiárido do Brasil: desvendando o potencial vitivinícola desta nova fronteira geográfica do vinho. **Territoires du Vin**, v. 9, p. 1-13, 2018. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1103067>. Acesso em: 7 mar. 2019.

POLACHINI, T. C.; SATO, A. C. K.; CUNHA, R. L.; TELIS-ROMERO, J. Density and rheology of acid suspensions of peanut waste in different conditions: An engineering basis for bioethanol production. **Powder Technology**, v. 294, p. 168-176, 2016.

POLACHINI, T. C.; BETIOL, L. F. L.; BASTOS, M. G.; TELIS, V. R. N.; SOUZA, A. C.; TELIS-ROMERO, J. Density, thermal expansion coefficient, and rheological behavior of meat extract under different temperature and solids concentrations. **Canadian Journal Chemical Engineering**, v. 94, p. 988-994, 2016.

POLACHINI, T. C.; MULET, A.; CÁRCCEL, J. A.; TELIS-ROMERO, J. Rheology of acid suspensions containing cassava bagasse: Effect of biomass loading, acid content and temperature. **Powder Technology**, v. 354, p. 271-280, 2019.

PONI, S.; GATTI, M.; PALLIOTTI, A.; DAI, Z.; DUCHÊNE, E.; TRUONG, T. T.; FERRARA, G.; MATARRESE, A. M. S.; GALLOTTA, A.; BELLINCONTRO, A.; MENCARELLI, F.; TOMBESI, S. Grapevine quality: A multiple choice issue. **Scientia Horticulturae**, v. 86, p. 445-462, 2018.

PROTAS, J. F. S., CAMARGO, U. A. **Viticultura brasileira: panorama setorial 2010**. Brasília, Distrito Federal: SEBRAE; Bento Gonçalves: IBRAVIN: Embrapa Uva e Vinho, 2011. 109p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58339/1/PROTAS-panoramaviticultura2010.pdf>. Acesso em: 12 feb. 2019.

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

RAO, M. A. **Rheology of Fluids and Semisolid Foods: principles and applications**. Food Engineering Series, 1 ed., Aspen Publishers, Inc., 1999.

RIBEIRO, E. F.; POLACHINI, T. C.; CARVALHO, G. R.; TELIS ROMERO, J.; CABRAL, R. A. F. Thermophysical and properties of different olive oils: evaluating density and rheology through a fluid dynamic approach. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 1, p. 1600316, 2017.

RITSCHHEL, P. S., MAIA, J. D. G., CAMARGO, U. A., ZANUS, M. C., SOUZA, R. T., FAJARDO, T. V. M. **'BRS Magna' Nova cultivar de uva para suco com ampla adaptação climática**. Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2012. 12p. ISSN 1516-8093. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/71803/1/cot125.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2019.

- RIZZON, L. A.; LINK, M. Composição do suco de uva caseiro de diferentes cultivares. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 689-692, 2006.
- RIZZON, L. A.; MIELE, A. Características analíticas de sucos de uvas elaboradas no Rio Grande do Sul. **Boletim Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 129-133, 1995.
- ROWE, R. C.; SADEGHNEJAD, G. R. The rheology of microcrystalline cellulose powder/water mixes – measurement using a mixer torque rheometer. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 38, p. 227-229; 1987.
- RUOCCO, S.; STEFANINI, M.; STANSTRUP, J.; PERENZONI, D.; MATTIVI, F.; VRHOVESK, U. The metabolomic profile of red non-V. *vinifera* genotypes. **Food Research International**, v. 98, p. 10-19, 2017.
- SATO, A. C. K.; CUNHA, R. L. Influência da temperatura no comportamento reológico da polpa de jabuticaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 890-896, 2007.
- SATO, T. Rheology of suspensions. **Journal of coatings technology**, v. 67, n. 847, p. 69-79, 1995.
- SCHARAMM, G. **Reologia e reometria: fundamentos teóricos e práticos**. 2. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2006.
- SEKA, M. A.; VERSTRAETE, W. Test for assessing shear sensitivity of activated sludge flocs: a feasibility study. **Water Research**, v. 37, n. 14, p. 3327-3334, 2003.
- SHAMSUDIN, R.; MOHAMED, I. O.; YAMAN, N. K. M. Thermophysical properties of Thai seedless guava juice as affected by temperature and concentration. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 3, p. 395-399, 2005.
- SHAMSUDIN, R.; LING, C. S.; ADZAHAN, N. M.; DAUD, W. R. W. Rheological properties of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurized Yankee pineapple juice. **Journal of Food Engineering**, v. 116, n. 2, p. 548-553, 2013.
- SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M. **Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, p. 626, 2007.
- STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**. 2. ed., Freeman Press, p. 418, 1996.
- TABILO-MUNIZAGA, G., BARBOSA-CÁNOVAS, G.V., Rheology for the food industry. **Journal of Food Engineering**, v.67, p.147-156, 2005.
- TELIS-ROMERO, J.; DITCHFIELD, C. Reologia de produtos alimentícios. *In: TADINI et al. Operações Unitárias na Indústria de Alimentos*. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 1, cap. 3, p.562.
- TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N.; YAMASHITA, F. Friction factors and rheological properties of orange juice. **Journal of Food Engineering**, v. 40, p. 101-106, p. 1999.
- URVIETA, R.; BUSCEMA, F.; BOTTINI, R.; COSTE, B.; FONTANA, A. Phenolic and sensory profiles discriminate geographical indication for Malbec wines from different regions of Mendoza, Argentina. **Food Chemistry**, v. 265, p. 120-127, 2018.

VANDRESEN, S.; QUADRI, M. G. N.; SOUZA, J. A. R., HOTZA, D. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juice. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 3, p. 269-274, 2009.

VÉLEZ-RUIZ, J. F.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Effects of concentration and temperature on the rheology of concentrated milk. **American Society of Agriculture Engineers**, v. 40, p. 1113-1118, 1997.

VIDAL, J. R. M. B. **Estudo Reológico do suco de manga - Efeito dos sólidos insolúveis**. 1997. 81p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas - Unicamp. São Paulo, Campinas. 1997.

ZANELLA, V.; MOURA, M. F. C. **Novidades para vitivinicultura na Serra Gaúcha**. Embrapa Uva e Vinho. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/40988824/novidades-para-a-vitivinicultura-na-serra-gaucha>. Acesso em: 6 mar. 2019.

ZURITZ, C. A.; MUÑOZ PUNTES, E.; MATHEY, H. H.; PÉREZ, E. H.; GASCÓN, A.; RUBIO, L. A.; CARULLO, C. A.; CHERNIKOFF, R. E.; CABEZA, C. A. Density, viscosity and coefficient thermal expansion of clear grape juice at different soluble solid concentrations and temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 71, n. 2, p. 143-149, 2005.

APÊNDICE A – Dados reológicos do suco de uva Malbec (*Vitis vinífera*) em diferentes temperaturas e concentração.

Tabela A 1 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 1°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	0,439	0,439	0,442	0,440	0,002
1,060	0,552	0,552	0,540	0,548	0,007
1,340	0,674	0,674	0,692	0,680	0,010
1,680	0,846	0,846	0,849	0,847	0,002
2,120	1,043	1,043	1,070	1,052	0,016
2,670	1,312	1,312	1,310	1,311	0,001
3,360	1,631	1,631	1,629	1,630	0,001
4,230	2,014	2,014	2,039	2,022	0,014
5,330	2,520	2,520	2,502	2,514	0,010
6,710	3,132	3,132	3,109	3,124	0,013
8,440	3,903	3,903	3,887	3,898	0,009
10,630	4,814	4,814	4,863	4,830	0,028
13,380	6,012	6,012	5,981	6,002	0,018
16,840	7,486	7,486	7,465	7,479	0,012
21,210	9,321	9,321	9,266	9,303	0,032
26,700	11,554	11,554	11,472	11,527	0,047
33,610	14,400	14,400	14,347	14,382	0,031
42,320	17,929	17,929	17,782	17,880	0,085
53,280	22,222	22,222	22,161	22,202	0,035
67,070	27,626	27,626	27,549	27,600	0,044
84,430	34,596	34,596	34,014	34,402	0,336
106,300	42,406	42,406	43,442	42,751	0,598
133,830	53,273	53,273	52,910	53,152	0,210
168,440	65,750	65,750	66,411	65,970	0,382
212,100	82,305	82,305	82,248	82,286	0,033

Tabela A 2 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 10°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	0,364	0,367	0,371	0,367	0,004
1,060	0,457	0,461	0,464	0,461	0,004
1,340	0,565	0,565	0,580	0,570	0,009
1,680	0,711	0,717	0,720	0,716	0,005
2,120	0,890	0,896	0,884	0,890	0,006
2,670	1,125	1,126	1,105	1,119	0,012
3,360	1,396	1,398	1,387	1,394	0,006
4,230	1,708	1,726	1,740	1,725	0,016
5,330	2,151	2,151	2,145	2,149	0,003
6,710	2,651	2,675	2,698	2,675	0,024
8,440	3,345	3,345	3,434	3,375	0,051
10,630	4,173	4,182	4,122	4,159	0,032
13,380	5,139	5,178	5,205	5,174	0,033
16,840	6,510	6,510	6,495	6,505	0,009
21,210	8,126	8,073	8,156	8,118	0,042
26,700	9,939	10,014	10,065	10,006	0,063
33,610	12,503	12,696	12,679	12,626	0,107
42,320	15,747	15,747	15,709	15,734	0,022
53,280	19,462	19,368	19,753	19,528	0,201
67,070	24,219	24,381	24,421	24,340	0,107
84,430	30,636	30,442	30,745	30,608	0,153
106,300	38,209	38,092	37,961	38,087	0,124
133,830	47,251	47,811	47,387	47,483	0,292
168,440	58,511	58,972	59,141	58,875	0,326
212,100	74,186	73,510	74,862	74,186	0,676

Tabela A 3 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 19°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	0,326	0,325	0,336	0,329	0,006
1,060	0,409	0,409	0,420	0,413	0,006
1,340	0,503	0,502	0,518	0,508	0,009
1,680	0,632	0,631	0,646	0,636	0,008
2,120	0,788	0,781	0,795	0,788	0,007
2,670	0,994	0,982	0,988	0,988	0,006
3,360	1,232	1,223	1,236	1,230	0,007
4,230	1,512	1,514	1,555	1,527	0,024
5,330	1,913	1,895	1,926	1,911	0,016
6,710	2,359	2,360	2,422	2,380	0,036
8,440	2,936	2,950	3,001	2,962	0,034
10,630	3,687	3,645	3,693	3,675	0,026
13,380	4,565	4,556	4,667	4,596	0,062
16,840	5,723	5,688	5,745	5,719	0,029
21,210	7,136	7,094	7,158	7,129	0,033
26,700	8,821	8,803	9,017	8,880	0,119
33,610	10,942	11,004	11,204	11,050	0,137
42,320	13,789	13,721	13,824	13,778	0,052
53,280	17,077	17,039	17,288	17,135	0,134
67,070	21,231	21,222	21,559	21,337	0,192
84,430	26,699	26,619	26,705	26,674	0,048
106,300	32,962	32,774	32,836	32,857	0,096
133,830	41,061	41,166	41,560	41,262	0,263
168,440	50,830	50,940	51,668	51,146	0,455
212,100	63,890	63,890	63,890	63,890	0,000

Tabela A 4 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 28°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	0,286	0,287	0,287	0,287	0,001
1,060	0,349	0,344	0,347	0,347	0,003
1,340	0,441	0,445	0,448	0,445	0,004
1,680	0,551	0,552	0,552	0,552	0,001
2,120	0,684	0,690	0,694	0,689	0,005
2,670	0,839	0,833	0,844	0,839	0,006
3,360	1,045	1,038	1,052	1,045	0,007
4,230	1,288	1,282	1,310	1,293	0,015
5,330	1,615	1,597	1,621	1,611	0,012
6,710	2,011	1,988	2,019	2,006	0,016
8,440	2,529	2,513	2,534	2,525	0,011
10,630	3,182	3,194	3,202	3,193	0,010
13,380	3,882	3,841	3,903	3,875	0,032
16,840	4,971	4,975	4,954	4,967	0,011
21,210	6,168	6,154	6,145	6,156	0,012
26,700	7,502	7,417	7,532	7,484	0,060
33,610	9,433	9,375	9,457	9,422	0,042
42,320	12,158	12,208	12,008	12,125	0,104
53,280	14,863	14,861	14,823	14,849	0,023
67,070	18,155	18,026	18,233	18,138	0,105
84,430	22,926	22,732	22,734	22,797	0,111
106,300	28,127	28,261	28,679	28,356	0,288
133,830	35,415	35,224	35,364	35,334	0,099
168,440	43,725	43,690	44,200	43,872	0,285
212,100	55,531	55,606	55,417	55,518	0,095

Tabela A 5 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 37°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	0,233	0,236	0,238	0,236	0,003
1,060	0,300	0,300	0,308	0,303	0,005
1,340	0,372	0,377	0,380	0,376	0,004
1,680	0,465	0,469	0,472	0,469	0,004
2,120	0,581	0,587	0,591	0,586	0,005
2,670	0,734	0,734	0,748	0,739	0,008
3,360	0,926	0,925	0,943	0,931	0,010
4,230	1,120	1,119	1,149	1,129	0,017
5,330	1,431	1,431	1,468	1,443	0,021
6,710	1,807	1,807	1,855	1,823	0,028
8,440	2,226	2,225	2,256	2,236	0,018
10,630	2,706	2,730	2,750	2,729	0,022
13,380	3,491	3,490	3,583	3,521	0,053
16,840	4,310	4,340	4,350	4,333	0,021
21,210	5,362	5,387	5,416	5,388	0,027
26,700	6,704	6,703	6,883	6,763	0,104
33,610	7,625	7,619	7,727	7,657	0,061
42,320	10,361	10,476	10,376	10,404	0,063
53,280	12,795	12,877	12,928	12,867	0,067
67,070	16,345	16,332	16,624	16,434	0,165
84,430	20,082	20,066	20,223	20,124	0,086
106,300	24,981	24,962	25,192	25,045	0,128
133,830	30,498	30,473	30,736	30,569	0,145
168,440	38,910	38,905	39,386	39,067	0,276
212,100	49,816	49,895	49,736	49,816	0,080

Tabela A 6 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 46°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	0,217	0,215	0,220	0,217	0,003
1,060	0,276	0,272	0,273	0,274	0,002
1,340	0,338	0,339	0,346	0,341	0,004
1,680	0,424	0,422	0,428	0,425	0,003
2,120	0,526	0,528	0,538	0,531	0,006
2,670	0,664	0,661	0,666	0,664	0,003
3,360	0,831	0,829	0,833	0,831	0,002
4,230	1,022	1,020	1,037	1,026	0,009
5,330	1,294	1,288	1,292	1,291	0,003
6,710	1,621	1,616	1,615	1,617	0,003
8,440	2,008	2,000	2,009	2,006	0,005
10,630	2,475	2,469	2,505	2,483	0,019
13,380	3,139	3,130	3,132	3,134	0,005
16,840	3,893	3,879	3,897	3,890	0,009
21,210	4,857	4,832	4,852	4,847	0,013
26,700	6,073	6,046	6,056	6,058	0,014
33,610	7,318	7,207	7,402	7,309	0,098
42,320	9,415	9,359	9,393	9,389	0,028
53,280	11,687	11,628	11,714	11,676	0,044
67,070	14,695	14,666	14,684	14,682	0,015
84,430	18,300	18,139	18,153	18,197	0,089
106,300	22,497	22,604	22,940	22,680	0,231
133,830	28,143	27,913	28,181	28,079	0,145
168,440	35,194	35,215	35,526	35,312	0,186
212,100	44,394	44,389	44,367	44,383	0,014

Tabela A 7 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 56°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	0,195	0,198	0,199	0,197	0,002
1,060	0,243	0,245	0,247	0,245	0,002
1,340	0,309	0,311	0,318	0,313	0,005
1,680	0,383	0,383	0,392	0,386	0,005
2,120	0,484	0,486	0,496	0,489	0,006
2,670	0,651	0,652	0,661	0,655	0,006
3,360	0,749	0,751	0,760	0,753	0,006
4,230	0,939	0,941	0,962	0,947	0,013
5,330	1,159	1,170	1,176	1,168	0,009
6,710	1,368	1,376	1,396	1,380	0,014
8,440	1,751	1,761	1,763	1,758	0,006
10,630	2,215	2,235	2,250	2,233	0,018
13,380	2,659	2,675	2,714	2,683	0,028
16,840	3,329	3,352	3,360	3,347	0,016
21,210	4,157	4,184	4,192	4,178	0,018
26,700	5,078	5,108	5,182	5,123	0,054
33,610	6,640	6,649	6,715	6,668	0,041
42,320	9,019	9,071	9,080	9,057	0,033
53,280	10,841	10,977	10,887	10,902	0,069
67,070	14,084	14,122	14,274	14,160	0,101
84,430	15,748	15,806	15,788	15,781	0,030
106,300	20,776	20,845	20,865	20,829	0,047
133,830	26,213	26,098	26,512	26,274	0,214
168,440	30,674	30,801	30,918	30,798	0,122
212,100	40,143	40,143	40,143	40,143	0,000

Tabela A 8 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 13,6°Brix e 66°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	0,169	0,171	0,172	0,171	0,002
1,060	0,217	0,218	0,220	0,218	0,002
1,340	0,259	0,261	0,261	0,260	0,001
1,680	0,329	0,331	0,332	0,331	0,002
2,120	0,402	0,405	0,405	0,404	0,002
2,670	0,514	0,522	0,512	0,516	0,005
3,360	0,640	0,643	0,643	0,642	0,002
4,230	0,785	0,792	0,793	0,790	0,004
5,330	0,999	1,002	1,003	1,001	0,002
6,710	1,246	1,240	1,256	1,247	0,008
8,440	1,544	1,544	1,559	1,549	0,009
10,630	1,893	1,902	1,917	1,904	0,012
13,380	2,402	2,391	2,422	2,405	0,016
16,840	2,979	2,970	3,013	2,987	0,023
21,210	3,721	3,710	3,766	3,732	0,030
26,700	4,643	4,615	4,700	4,653	0,043
33,610	5,696	5,760	5,873	5,776	0,090
42,320	7,200	7,279	7,191	7,223	0,048
53,280	8,915	8,980	8,960	8,952	0,033
67,070	11,135	11,239	11,067	11,147	0,087
84,430	14,019	13,981	14,192	14,064	0,112
106,300	16,809	16,883	16,904	16,865	0,050
133,830	21,486	21,665	21,690	21,614	0,111
168,440	26,426	26,356	26,714	26,499	0,190
212,100	33,337	33,333	33,329	33,333	0,004

Tabela A 9 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 1°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	1,787	1,776	1,812	1,792	0,018
1,060	2,148	2,114	2,137	2,133	0,017
1,340	2,466	2,488	2,510	2,488	0,022
1,680	2,952	2,937	2,980	2,956	0,022
2,120	3,444	3,498	3,479	3,474	0,027
2,670	4,136	4,136	4,128	4,133	0,005
3,360	4,883	4,916	4,847	4,882	0,035
4,230	5,725	5,692	5,827	5,748	0,070
5,330	6,842	6,859	6,777	6,826	0,043
6,710	8,083	7,992	8,116	8,064	0,064
8,440	9,532	9,520	9,505	9,519	0,014
10,630	11,166	11,229	11,216	11,204	0,033
13,380	13,314	13,201	13,356	13,290	0,080
16,840	15,703	15,775	15,588	15,689	0,094
21,210	18,590	18,568	18,501	18,553	0,046
26,700	21,976	21,777	22,018	21,924	0,129
33,610	25,911	25,626	26,098	25,878	0,238
42,320	30,694	30,779	30,358	30,610	0,223
53,280	36,145	36,128	36,063	36,112	0,043
67,070	42,699	42,447	42,834	42,660	0,196
84,430	50,876	50,671	50,225	50,591	0,333
106,300	58,638	58,827	59,882	59,116	0,670
133,830	70,585	70,081	70,608	70,425	0,298
168,440	82,537	82,302	83,602	82,814	0,693
212,100	98,154	98,287	97,952	98,131	0,169

Tabela A 10 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 10°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	1,463	1,454	1,484	1,467	0,015
1,060	1,758	1,736	1,743	1,746	0,011
1,340	2,033	2,038	2,081	2,051	0,026
1,680	2,440	2,429	2,461	2,443	0,016
2,120	2,857	2,866	2,921	2,881	0,035
2,670	3,438	3,423	3,448	3,436	0,013
3,360	4,064	4,052	4,072	4,063	0,010
4,230	4,751	4,742	4,817	4,770	0,041
5,330	5,653	5,624	5,641	5,639	0,015
6,710	6,676	6,653	6,652	6,660	0,014
8,440	7,985	7,950	7,987	7,974	0,021
10,630	9,292	9,272	9,407	9,324	0,073
13,380	11,025	10,993	11,000	11,006	0,017
16,840	13,142	13,094	13,154	13,130	0,032
21,210	15,579	15,501	15,564	15,548	0,041
26,700	18,227	18,146	18,178	18,184	0,041
33,610	21,798	21,468	22,047	21,771	0,290
42,320	25,813	25,660	25,755	25,743	0,077
53,280	30,343	30,189	30,413	30,315	0,115
67,070	35,887	35,817	35,859	35,854	0,035
84,430	43,021	42,643	42,676	42,780	0,209
106,300	50,103	50,342	51,089	50,511	0,514
133,830	59,887	59,398	59,968	59,751	0,308
168,440	70,065	70,107	70,727	70,300	0,371
212,100	83,590	83,581	83,541	83,571	0,026

Tabela A 11 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 19°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	1,314	1,312	1,321	1,316	0,005
1,060	1,565	1,577	1,557	1,566	0,010
1,340	1,825	1,811	1,845	1,827	0,017
1,680	2,170	2,168	2,176	2,171	0,004
2,120	2,549	2,530	2,575	2,551	0,023
2,670	3,034	3,037	3,035	3,035	0,002
3,360	3,583	3,586	3,587	3,585	0,002
4,230	4,218	4,204	4,242	4,221	0,019
5,330	5,009	5,025	5,005	5,013	0,011
6,710	5,917	5,936	5,913	5,922	0,012
8,440	6,988	7,001	6,984	6,991	0,009
10,630	8,221	8,200	8,262	8,228	0,032
13,380	9,752	9,777	9,752	9,760	0,014
16,840	11,516	11,532	11,517	11,522	0,009
21,210	13,619	13,653	13,605	13,626	0,025
26,700	16,087	16,139	16,076	16,101	0,034
33,610	18,997	19,029	18,989	19,005	0,021
42,320	22,471	22,542	22,428	22,480	0,058
53,280	26,506	26,545	26,511	26,521	0,021
67,070	31,312	31,358	31,317	31,329	0,025
84,430	37,146	37,363	36,952	37,154	0,206
106,300	43,403	43,064	43,776	43,414	0,356
133,830	51,708	51,838	51,614	51,720	0,112
168,440	60,794	60,615	61,046	60,818	0,217
212,100	72,052	72,084	72,065	72,067	0,016

Tabela A 12 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 28°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	1,123	1,123	1,122	1,123	0,001
1,060	1,338	1,339	1,339	1,339	0,001
1,340	1,581	1,576	1,575	1,577	0,003
1,680	1,863	1,860	1,861	1,861	0,002
2,120	2,206	2,198	2,195	2,200	0,006
2,670	2,636	2,604	2,576	2,605	0,030
3,360	3,091	3,086	3,084	3,087	0,004
4,230	3,618	3,607	3,603	3,609	0,008
5,330	4,301	4,298	4,292	4,297	0,005
6,710	5,064	5,092	5,125	5,094	0,031
8,440	5,959	5,980	5,998	5,979	0,020
10,630	6,998	7,006	7,013	7,006	0,008
13,380	8,318	8,365	8,419	8,367	0,051
16,840	9,773	9,833	9,888	9,831	0,058
21,210	11,525	11,596	11,661	11,594	0,068
26,700	13,605	13,712	13,830	13,716	0,113
33,610	15,617	15,657	15,711	15,662	0,047
42,320	19,187	19,043	18,890	19,040	0,149
53,280	22,482	22,427	22,324	22,411	0,080
67,070	26,890	26,664	26,460	26,671	0,215
84,430	31,102	31,292	31,467	31,287	0,183
106,300	36,946	36,910	36,866	36,907	0,040
133,830	43,349	43,217	43,171	43,246	0,092
168,440	51,198	51,476	51,752	51,475	0,277
212,100	61,158	61,196	61,342	61,232	0,097

Tabela A 13 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 37°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	1,013	1,004	1,022	1,013	0,009
1,060	1,101	1,092	1,111	1,101	0,010
1,340	1,415	1,404	1,430	1,416	0,013
1,680	1,659	1,648	1,670	1,659	0,011
2,120	1,981	1,980	1,978	1,980	0,002
2,670	2,191	2,201	2,176	2,189	0,013
3,360	2,589	2,592	2,583	2,588	0,005
4,230	3,007	2,978	3,036	3,007	0,029
5,330	3,555	3,558	3,552	3,555	0,003
6,710	4,202	4,165	4,240	4,202	0,038
8,440	5,122	5,081	5,176	5,126	0,048
10,630	6,335	6,353	6,307	6,332	0,023
13,380	6,945	6,898	6,990	6,944	0,046
16,840	8,931	8,937	8,922	8,930	0,008
21,210	10,400	10,416	10,403	10,406	0,009
26,700	11,474	11,396	11,549	11,473	0,077
33,610	14,004	13,860	14,125	13,996	0,133
42,320	18,205	18,218	18,187	18,203	0,016
53,280	20,478	20,426	20,580	20,495	0,078
67,070	22,909	22,791	23,016	22,905	0,113
84,430	27,799	27,840	27,803	27,814	0,023
106,300	32,758	32,862	32,653	32,758	0,105
133,830	38,820	38,604	38,956	38,793	0,178
168,440	45,488	45,199	45,753	45,480	0,277
212,100	56,260	56,364	56,311	56,312	0,052

Tabela A 14 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 46°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	0,866	0,874	0,881	0,874	0,008
1,060	1,037	1,042	1,049	1,043	0,006
1,340	1,223	1,233	1,235	1,230	0,006
1,680	1,445	1,455	1,461	1,454	0,008
2,120	1,710	1,724	1,724	1,719	0,008
2,670	2,031	2,063	2,024	2,039	0,021
3,360	2,413	2,422	2,422	2,419	0,005
4,230	2,815	2,838	2,841	2,831	0,014
5,330	3,365	3,378	3,381	3,375	0,009
6,710	4,001	3,981	4,033	4,005	0,026
8,440	4,692	4,691	4,736	4,706	0,026
10,630	5,490	5,515	5,558	5,521	0,034
13,380	6,594	6,563	6,649	6,602	0,044
16,840	7,744	7,720	7,833	7,766	0,060
21,210	9,141	9,114	9,250	9,168	0,072
26,700	10,836	10,771	10,969	10,859	0,101
33,610	12,241	12,378	12,622	12,414	0,193
42,320	15,061	15,226	15,041	15,109	0,102
53,280	17,731	17,861	17,822	17,805	0,067
67,070	21,191	21,388	21,062	21,214	0,164
84,430	24,834	24,766	25,141	24,914	0,200
106,300	29,324	29,453	29,491	29,423	0,088
133,830	34,311	34,598	34,637	34,515	0,178
168,440	41,018	40,909	41,465	41,131	0,295
212,100	48,990	48,924	49,036	48,983	0,056

Tabela A 15 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 56°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	0,778	0,786	0,792	0,785	0,007
1,060	0,913	0,922	0,929	0,921	0,008
1,340	1,114	1,105	1,124	1,114	0,010
1,680	1,293	1,303	1,310	1,302	0,009
2,120	1,572	1,572	1,539	1,561	0,019
2,670	1,981	1,992	1,965	1,979	0,014
3,360	2,170	2,162	2,134	2,155	0,019
4,230	2,542	2,569	2,590	2,567	0,024
5,330	3,012	3,000	2,980	2,997	0,016
6,710	3,322	3,352	3,381	3,352	0,030
8,440	4,042	4,006	4,077	4,042	0,036
10,630	4,871	4,887	4,822	4,860	0,034
13,380	5,490	5,531	5,559	5,527	0,035
16,840	6,564	6,533	6,487	6,528	0,039
21,210	7,720	7,670	7,750	7,713	0,040
26,700	8,894	8,961	9,007	8,954	0,057
33,610	10,926	11,094	11,080	11,033	0,093
42,320	14,264	14,198	14,097	14,186	0,084
53,280	16,173	16,033	16,291	16,166	0,129
67,070	19,779	19,911	19,944	19,878	0,087
84,430	21,005	20,858	21,052	20,972	0,101
106,300	26,075	26,207	26,328	26,203	0,127
133,830	31,139	31,508	31,228	31,292	0,193
168,440	34,509	34,782	34,881	34,724	0,193
212,100	42,500	42,045	42,751	42,432	0,358

Tabela A 16 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 21,0°Brix e 66°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	0,667	0,670	0,669	0,669	0,002
1,060	0,801	0,788	0,797	0,795	0,007
1,340	0,926	0,935	0,941	0,934	0,008
1,680	1,111	1,113	1,113	1,112	0,001
2,120	1,300	1,313	1,320	1,311	0,010
2,670	1,564	1,552	1,572	1,563	0,010
3,360	1,847	1,835	1,859	1,847	0,012
4,230	2,159	2,148	2,195	2,167	0,025
5,330	2,567	2,539	2,578	2,561	0,020
6,710	3,031	2,997	3,043	3,024	0,024
8,440	3,623	3,600	3,631	3,618	0,016
10,630	4,215	4,231	4,241	4,229	0,013
13,380	4,998	4,945	5,025	4,989	0,041
16,840	5,955	5,959	5,935	5,950	0,013
21,210	7,056	7,041	7,030	7,042	0,013
26,700	8,252	8,159	8,286	8,232	0,066
33,610	9,864	9,803	9,889	9,852	0,044
42,320	11,676	11,724	11,531	11,644	0,100
53,280	13,718	13,716	13,682	13,705	0,020
67,070	16,217	16,102	16,288	16,202	0,094
84,430	19,432	19,268	19,269	19,323	0,094
106,300	22,621	22,729	23,065	22,805	0,232
133,830	27,025	26,880	26,987	26,964	0,075
168,440	31,604	31,578	31,947	31,710	0,206
212,100	37,687	37,738	37,610	37,678	0,064

Tabela A 17 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 1°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	4,906	4,853	4,935	4,898	0,042
1,060	5,627	5,647	5,759	5,678	0,071
1,340	6,459	6,411	6,477	6,449	0,034
1,680	7,464	7,417	7,502	7,461	0,043
2,120	8,548	8,489	8,567	8,535	0,041
2,670	9,822	9,848	9,994	9,888	0,093
3,360	11,295	11,342	11,476	11,371	0,094
4,230	12,920	12,958	13,228	13,035	0,168
5,330	14,938	15,031	15,247	15,072	0,159
6,710	17,182	17,318	17,508	17,336	0,164
8,440	19,826	19,866	20,085	19,926	0,139
10,630	22,843	22,706	22,950	22,833	0,122
13,380	26,138	26,340	26,638	26,372	0,252
16,840	30,360	30,229	30,346	30,312	0,072
21,210	34,893	34,796	35,013	34,901	0,109
26,700	39,798	40,071	40,593	40,154	0,404
33,610	45,918	45,505	47,021	46,148	0,784
42,320	53,514	52,976	52,951	53,147	0,318
53,280	61,095	60,793	61,251	61,046	0,233
67,070	69,782	70,142	70,723	70,216	0,475
84,430	80,842	80,813	81,566	81,074	0,427
106,300	91,931	91,929	92,856	92,239	0,535
133,830	106,653	106,355	107,954	106,987	0,850
168,440	121,988	122,161	123,339	122,496	0,735
212,100	141,548	141,341	141,081	141,323	0,234

Tabela A 18 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 10°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	4,256	4,267	4,277	4,267	0,011
1,060	4,822	4,792	4,750	4,788	0,036
1,340	5,643	5,643	5,792	5,693	0,086
1,680	6,545	6,559	6,558	6,554	0,008
2,120	7,531	7,648	7,605	7,595	0,059
2,670	8,578	8,627	8,514	8,573	0,057
3,360	9,905	9,935	9,868	9,903	0,034
4,230	11,324	11,379	11,406	11,370	0,042
5,330	13,164	13,143	13,091	13,133	0,038
6,710	15,204	15,170	15,130	15,168	0,037
8,440	17,734	17,554	17,840	17,709	0,145
10,630	20,696	20,881	20,720	20,766	0,101
13,380	23,416	23,394	23,316	23,375	0,053
16,840	27,813	27,810	27,740	27,788	0,041
21,210	32,004	31,762	32,054	31,940	0,156
26,700	36,103	36,046	35,902	36,017	0,104
33,610	42,106	42,285	41,769	42,053	0,262
42,320	50,329	50,232	50,015	50,192	0,161
53,280	57,063	56,543	57,426	57,011	0,444
67,070	64,649	64,697	64,423	64,590	0,146
84,430	75,719	74,886	75,278	75,294	0,417
106,300	86,155	86,868	87,548	86,857	0,697
133,830	100,612	101,077	99,461	100,383	0,832
168,440	115,220	115,797	115,800	115,606	0,334
212,100	135,707	134,439	136,881	135,676	1,221

Tabela A 19 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 19°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	3,622	3,622	3,620	3,621	0,001
1,060	4,196	4,192	4,197	4,195	0,003
1,340	4,839	4,853	4,835	4,842	0,009
1,680	5,587	5,596	5,590	5,591	0,005
2,120	6,456	6,478	6,446	6,460	0,016
2,670	7,464	7,554	7,384	7,467	0,085
3,360	8,631	8,646	8,625	8,634	0,011
4,230	9,937	9,967	9,926	9,943	0,021
5,330	11,514	11,523	11,500	11,512	0,012
6,710	13,308	13,233	13,394	13,312	0,081
8,440	15,350	15,296	15,397	15,348	0,051
10,630	17,689	17,667	17,707	17,688	0,020
13,380	20,491	20,376	20,624	20,497	0,124
16,840	23,641	23,498	23,774	23,638	0,138
21,210	27,298	27,132	27,451	27,294	0,160
26,700	31,530	31,284	31,803	31,539	0,260
33,610	36,065	35,972	36,188	36,075	0,108
42,320	42,029	42,347	41,692	42,023	0,328
53,280	48,525	48,646	48,304	48,492	0,173
67,070	56,118	56,594	55,688	56,133	0,453
84,430	64,721	64,328	65,083	64,711	0,378
106,300	74,727	74,799	74,637	74,721	0,081
133,830	86,051	86,315	85,961	86,109	0,184
168,440	99,681	99,142	100,215	99,679	0,537
212,100	115,386	115,386	115,386	115,386	0,000

Tabela A 20 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 28°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	3,130	3,158	3,186	3,158	0,028
1,060	3,616	3,648	3,680	3,648	0,032
1,340	4,192	4,231	4,266	4,230	0,037
1,680	4,850	4,883	4,915	4,883	0,033
2,120	5,657	5,657	5,654	5,656	0,002
2,670	6,632	6,604	6,552	6,596	0,041
3,360	7,561	7,550	7,536	7,549	0,013
4,230	8,651	8,739	8,820	8,737	0,085
5,330	10,094	10,087	10,077	10,086	0,009
6,710	11,477	11,573	11,690	11,580	0,107
8,440	13,304	13,418	13,546	13,423	0,121
10,630	15,604	15,551	15,503	15,553	0,051
13,380	17,775	17,885	18,026	17,895	0,126
16,840	20,703	20,674	20,682	20,686	0,015
21,210	23,941	23,904	23,911	23,919	0,020
26,700	27,405	27,568	27,797	27,590	0,197
33,610	31,754	32,057	32,388	32,066	0,317
42,320	37,496	37,495	37,408	37,466	0,051
53,280	42,977	43,136	43,253	43,122	0,139
67,070	49,850	50,141	50,309	50,100	0,232
84,430	57,164	57,077	57,093	57,111	0,046
106,300	66,704	66,499	66,273	66,492	0,216
133,830	76,599	76,994	77,333	76,975	0,367
168,440	87,745	88,243	88,884	88,291	0,571
212,100	102,638	102,638	102,638	102,638	0,000

Tabela A 21 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 37°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	2,722	2,694	2,757	2,724	0,032
1,060	3,144	3,119	3,177	3,147	0,029
1,340	3,722	3,685	3,770	3,726	0,043
1,680	4,220	4,188	4,260	4,223	0,036
2,120	5,064	5,018	5,110	5,064	0,046
2,670	5,755	5,718	5,783	5,752	0,033
3,360	6,757	6,716	6,795	6,756	0,040
4,230	7,446	7,391	7,524	7,454	0,067
5,330	8,963	8,887	9,037	8,962	0,075
6,710	9,959	9,881	10,064	9,968	0,092
8,440	11,793	11,754	11,863	11,803	0,055
10,630	13,719	13,602	13,822	13,714	0,110
13,380	15,444	15,319	15,600	15,454	0,141
16,840	18,460	18,359	18,558	18,459	0,100
21,210	21,051	20,946	21,150	21,049	0,102
26,700	23,797	23,604	24,037	23,813	0,217
33,610	27,248	27,160	27,416	27,275	0,130
42,320	32,861	32,722	32,992	32,858	0,135
53,280	37,418	37,222	37,652	37,431	0,215
67,070	42,566	42,358	42,838	42,587	0,241
84,430	50,097	49,989	50,192	50,093	0,102
106,300	56,855	56,693	56,964	56,837	0,136
133,830	65,618	65,497	65,835	65,650	0,171
168,440	75,501	75,244	75,899	75,548	0,330
212,100	89,164	89,164	89,164	89,164	0,000

Tabela A 22 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 46°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	2,392	2,395	2,387	2,391	0,004
1,060	2,789	2,795	2,788	2,791	0,004
1,340	3,226	3,197	3,233	3,219	0,019
1,680	3,721	3,692	3,739	3,717	0,024
2,120	4,312	4,274	4,315	4,300	0,023
2,670	5,043	4,965	4,948	4,985	0,051
3,360	5,790	5,763	5,793	5,782	0,017
4,230	6,633	6,573	6,645	6,617	0,039
5,330	7,718	7,723	7,691	7,711	0,017
6,710	8,894	8,923	9,024	8,947	0,068
8,440	10,244	10,295	10,297	10,279	0,030
10,630	11,775	11,798	11,793	11,789	0,012
13,380	13,701	13,743	13,903	13,782	0,107
16,840	15,756	15,875	15,919	15,850	0,084
21,210	18,188	18,325	18,375	18,296	0,097
26,700	21,015	21,125	21,418	21,186	0,208
33,610	23,611	23,611	23,815	23,679	0,118
42,320	28,395	28,222	27,915	28,177	0,243
53,280	32,566	32,687	32,135	32,463	0,290
67,070	38,126	37,714	37,608	37,816	0,274
84,430	43,164	43,490	43,608	43,421	0,230
106,300	50,187	50,175	50,042	50,135	0,080
133,830	57,637	57,115	57,748	57,500	0,338
168,440	66,632	67,000	67,347	66,993	0,358
212,100	78,002	78,002	78,002	78,002	0,000

Tabela A 23 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 56°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	2,141	2,159	2,181	2,160	0,020
1,060	2,484	2,511	2,524	2,506	0,020
1,340	2,654	2,671	2,708	2,678	0,028
1,680	3,315	3,336	3,361	3,337	0,023
2,120	4,049	4,039	4,057	4,048	0,009
2,670	4,670	4,645	4,618	4,644	0,026
3,360	5,239	5,231	5,222	5,231	0,009
4,230	5,861	5,912	5,983	5,919	0,061
5,330	6,836	6,835	6,820	6,830	0,009
6,710	7,770	7,844	7,903	7,839	0,067
8,440	8,347	8,424	8,493	8,421	0,073
10,630	10,940	10,894	10,878	10,904	0,032
13,380	12,031	12,118	12,188	12,112	0,079
16,840	13,987	13,979	13,961	13,976	0,013
21,210	15,339	15,333	15,302	15,325	0,020
26,700	18,487	18,624	18,724	18,612	0,119
33,610	22,086	22,311	22,513	22,303	0,214
42,320	24,806	24,805	24,748	24,786	0,033
53,280	26,517	26,613	26,689	26,606	0,086
67,070	33,069	33,243	33,392	33,235	0,162
84,430	36,266	36,288	36,143	36,232	0,078
106,300	43,860	43,624	43,679	43,721	0,123
133,830	53,006	53,300	53,493	53,266	0,245
168,440	58,570	58,880	59,353	58,934	0,394
212,100	62,365	62,369	62,361	62,365	0,004

Tabela A 24 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 29,0°Brix e 66°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	1,864	1,844	1,875	1,861	0,016
1,060	2,131	2,139	2,181	2,150	0,027
1,340	2,551	2,532	2,558	2,547	0,013
1,680	2,888	2,870	2,903	2,887	0,017
2,120	3,469	3,445	3,477	3,464	0,017
2,670	3,908	3,919	3,977	3,935	0,037
3,360	4,592	4,611	4,665	4,623	0,038
4,230	5,056	5,071	5,176	5,101	0,065
5,330	6,081	6,118	6,206	6,135	0,064
6,710	6,764	6,818	6,892	6,825	0,064
8,440	8,043	8,059	8,148	8,083	0,057
10,630	9,398	9,342	9,442	9,394	0,050
13,380	10,494	10,575	10,695	10,588	0,101
16,840	12,670	12,615	12,664	12,650	0,030
21,210	14,425	14,385	14,475	14,428	0,045
26,700	16,181	16,292	16,505	16,326	0,165
33,610	18,611	18,444	19,058	18,704	0,317
42,320	22,695	22,466	22,455	22,539	0,136
53,280	25,701	25,574	25,767	25,681	0,098
67,070	29,045	29,195	29,437	29,226	0,198
84,430	34,285	34,273	34,593	34,384	0,181
106,300	38,892	38,891	39,283	39,022	0,226
133,830	44,942	44,817	45,490	45,083	0,358
168,440	51,677	51,750	52,249	51,892	0,311
212,100	61,356	61,266	61,153	61,258	0,102

Tabela A 25 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 1°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	10,524	10,524	10,814	10,621	0,167
1,060	11,977	11,977	12,173	12,042	0,113
1,340	13,804	13,804	14,050	13,886	0,142
1,680	15,767	15,767	16,048	15,861	0,162
2,120	18,056	18,056	18,349	18,154	0,169
2,670	20,534	20,534	20,783	20,617	0,144
3,360	23,515	23,515	23,695	23,575	0,104
4,230	26,750	26,750	27,228	26,909	0,276
5,330	30,685	30,685	30,937	30,769	0,145
6,710	35,142	35,142	35,253	35,179	0,064
8,440	40,230	40,230	40,593	40,351	0,210
10,630	46,084	46,084	46,858	46,342	0,447
13,380	52,528	52,528	52,718	52,591	0,110
16,840	60,469	60,469	60,966	60,635	0,287
21,210	69,029	69,029	69,652	69,237	0,360
26,700	78,447	78,447	78,934	78,609	0,281
33,610	88,913	88,913	92,679	90,168	2,174
42,320	103,755	103,755	104,758	104,089	0,579
53,280	117,947	117,947	119,421	118,438	0,851
67,070	134,516	134,516	134,941	134,658	0,245
84,430	153,888	153,888	155,375	154,384	0,859
106,300	175,869	175,869	177,646	176,461	1,026
133,830	200,609	200,609	204,188	201,802	2,066
168,440	229,894	229,894	231,786	230,525	1,092
212,100	264,862	264,862	264,762	264,829	0,058

Tabela A 26 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 10°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	9,078	8,983	9,129	9,063	0,074
1,060	10,254	10,254	10,529	10,346	0,159
1,340	11,952	11,827	12,019	11,933	0,097
1,680	13,607	13,510	13,686	13,601	0,088
2,120	15,667	15,644	15,615	15,642	0,026
2,670	18,213	18,436	18,357	18,335	0,113
3,360	20,265	20,435	20,506	20,402	0,124
4,230	23,201	23,180	23,844	23,408	0,377
5,330	26,440	26,698	26,892	26,677	0,227
6,710	29,685	29,685	30,482	29,951	0,460
8,440	34,341	34,207	34,992	34,513	0,420
10,630	39,748	39,862	39,581	39,730	0,141
13,380	44,470	44,567	45,566	44,868	0,607
16,840	51,413	51,372	51,209	51,331	0,108
21,210	58,726	58,793	58,698	58,739	0,049
26,700	66,209	66,354	67,841	66,801	0,903
33,610	77,162	76,794	78,692	77,549	1,007
42,320	91,981	91,422	90,645	91,349	0,671
53,280	103,318	102,890	103,500	103,236	0,313
67,070	119,011	119,154	121,088	119,751	1,160
84,430	131,423	131,922	132,056	131,800	0,334
106,300	153,223	154,226	153,759	153,736	0,502
133,830	176,003	175,693	177,969	176,555	1,234
168,440	196,883	196,482	199,745	197,703	1,779
212,100	229,991	229,626	229,260	229,626	0,366

Tabela A 27 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 19°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	7,791	7,770	7,809	7,790	0,020
1,060	8,872	8,933	8,806	8,870	0,064
1,340	10,130	10,042	10,221	10,131	0,090
1,680	11,535	11,514	11,541	11,530	0,014
2,120	13,144	13,048	13,283	13,158	0,118
2,670	15,083	15,107	15,106	15,099	0,014
3,360	17,076	17,070	17,051	17,066	0,013
4,230	19,472	19,383	19,529	19,461	0,074
5,330	22,131	22,203	22,117	22,150	0,046
6,710	25,103	25,160	25,036	25,100	0,062
8,440	28,648	28,700	28,632	28,660	0,036
10,630	32,725	32,605	32,814	32,715	0,105
13,380	37,155	37,200	37,052	37,136	0,076
16,840	42,317	42,349	42,264	42,310	0,043
21,210	48,192	48,312	48,143	48,216	0,087
26,700	54,842	54,971	54,706	54,840	0,133
33,610	62,789	62,832	62,640	62,754	0,101
42,320	72,072	72,312	71,960	72,115	0,180
53,280	81,806	81,953	81,874	81,878	0,074
67,070	93,707	93,752	93,539	93,666	0,112
84,430	105,444	106,125	105,020	105,530	0,557
106,300	120,845	119,949	121,984	120,926	1,020
133,830	137,989	138,254	137,576	137,940	0,342
168,440	156,405	155,659	156,478	156,181	0,453
212,100	178,676	178,794	178,788	178,753	0,066

Tabela A 28 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 28°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	6,645	6,713	6,799	6,719	0,077
1,060	7,646	7,709	7,785	7,713	0,070
1,340	8,720	8,812	8,919	8,817	0,100
1,680	10,000	10,076	10,171	10,082	0,086
2,120	11,433	11,532	11,649	11,538	0,108
2,670	13,135	13,207	13,296	13,213	0,081
3,360	15,045	15,130	15,227	15,134	0,091
4,230	17,105	17,240	17,406	17,250	0,151
5,330	19,626	19,787	19,964	19,792	0,169
6,710	22,474	22,670	22,873	22,672	0,200
8,440	25,771	25,872	25,996	25,880	0,113
10,630	29,281	29,506	29,781	29,523	0,250
13,380	33,616	33,908	34,213	33,912	0,299
16,840	38,511	38,710	38,941	38,721	0,215
21,210	44,060	44,263	44,506	44,276	0,223
26,700	50,238	50,671	51,135	50,681	0,449
33,610	57,036	57,196	57,597	57,276	0,289
42,320	65,944	66,197	66,514	66,218	0,286
53,280	75,241	75,631	76,115	75,662	0,438
67,070	86,329	86,787	87,273	86,796	0,472
84,430	98,849	99,022	99,290	99,054	0,222
106,300	112,984	113,234	113,598	113,272	0,309
133,830	128,913	129,138	129,592	129,214	0,346
168,440	147,637	148,193	148,870	148,233	0,617
212,100	170,033	170,036	170,031	170,033	0,003

Tabela A 29 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 37°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	6,000	5,991	6,029	6,007	0,020
1,060	6,840	6,894	6,804	6,846	0,045
1,340	7,617	7,559	7,701	7,626	0,071
1,680	8,683	8,678	8,709	8,690	0,017
2,120	9,911	9,836	10,013	9,920	0,089
2,670	11,362	11,375	11,369	11,369	0,007
3,360	12,979	12,990	12,991	12,987	0,007
4,230	14,652	14,606	14,736	14,665	0,066
5,330	17,087	17,142	17,075	17,101	0,036
6,710	19,243	19,306	19,231	19,260	0,040
8,440	22,204	22,244	22,192	22,213	0,027
10,630	25,242	25,178	25,368	25,263	0,097
13,380	28,479	28,553	28,479	28,504	0,043
16,840	32,866	32,914	32,871	32,884	0,026
21,210	37,464	37,557	37,426	37,482	0,067
26,700	42,158	42,296	42,131	42,195	0,089
33,610	48,072	48,153	48,053	48,093	0,053
42,320	55,467	55,642	55,362	55,490	0,141
53,280	64,139	64,234	64,152	64,175	0,052
67,070	71,192	71,296	71,203	71,230	0,057
84,430	82,134	82,614	81,705	82,151	0,455
106,300	93,404	92,673	94,206	93,428	0,767
133,830	104,275	104,537	104,086	104,299	0,226
168,440	121,068	120,712	121,570	121,117	0,431
212,100	138,013	138,045	137,981	138,013	0,032

Tabela A 30 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 46°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	5,273	5,270	5,250	5,264	0,013
1,060	6,005	6,005	5,976	5,995	0,017
1,340	6,807	6,845	6,906	6,853	0,050
1,680	7,746	7,834	7,816	7,799	0,046
2,120	8,850	8,810	9,055	8,905	0,131
2,670	10,196	10,130	10,390	10,239	0,135
3,360	11,513	11,625	11,518	11,552	0,063
4,230	13,091	13,253	13,194	13,179	0,082
5,330	15,023	14,866	15,108	14,999	0,123
6,710	16,931	16,999	17,001	16,977	0,040
8,440	19,430	19,319	19,449	19,399	0,070
10,630	22,177	22,230	22,071	22,159	0,081
13,380	25,064	25,269	25,075	25,136	0,115
16,840	28,690	28,690	28,554	28,645	0,079
21,210	32,702	32,491	32,758	32,650	0,141
26,700	37,022	37,145	37,218	37,128	0,099
33,610	42,419	42,780	42,423	42,541	0,207
42,320	49,078	48,710	49,212	49,000	0,260
53,280	55,981	55,110	55,700	55,597	0,445
67,070	63,507	63,957	63,572	63,679	0,243
84,430	71,675	70,983	72,025	71,561	0,530
106,300	82,199	81,583	82,619	82,134	0,521
133,830	93,107	94,069	94,031	93,736	0,545
168,440	106,003	107,524	104,449	105,992	1,538
212,100	121,468	120,948	121,989	121,468	0,521

Tabela A 31 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 56°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	4,446	4,454	4,471	4,457	0,013
1,060	5,142	5,164	5,157	5,154	0,011
1,340	5,878	5,878	5,921	5,892	0,025
1,680	6,732	6,742	6,760	6,745	0,014
2,120	7,733	7,715	7,750	7,733	0,018
2,670	8,898	8,886	8,870	8,885	0,014
3,360	10,217	10,213	10,207	10,212	0,005
4,230	11,551	11,569	11,626	11,582	0,039
5,330	13,379	13,384	13,364	13,376	0,010
6,710	15,344	15,392	15,409	15,382	0,034
8,440	17,471	17,520	17,550	17,514	0,040
10,630	19,925	19,889	19,907	19,907	0,018
13,380	23,022	23,076	23,096	23,065	0,038
16,840	26,294	26,295	26,276	26,288	0,011
21,210	30,082	30,091	30,050	30,074	0,022
26,700	34,449	34,535	34,554	34,513	0,056
33,610	38,126	38,242	38,319	38,229	0,097
42,320	45,095	45,119	45,041	45,085	0,040
53,280	51,430	51,491	51,512	51,478	0,043
67,070	59,348	59,445	59,497	59,430	0,076
84,430	67,645	67,733	67,506	67,628	0,114
106,300	77,455	77,214	77,492	77,387	0,151
133,830	87,844	88,018	88,026	87,963	0,103
168,440	101,396	101,476	101,836	101,569	0,234
212,100	117,202	117,209	117,194	117,202	0,008

Tabela A 32 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 37,0°Brix e 66°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	4,061	4,099	4,135	4,098	0,037
1,060	4,639	4,662	4,693	4,665	0,027
1,340	5,332	5,376	5,383	5,364	0,028
1,680	6,060	6,101	6,126	6,096	0,033
2,120	6,952	7,008	7,008	6,989	0,032
2,670	8,135	8,263	8,106	8,168	0,084
3,360	9,039	9,074	9,072	9,062	0,020
4,230	10,305	10,391	10,402	10,366	0,053
5,330	11,746	11,789	11,799	11,778	0,028
6,710	13,170	13,106	13,276	13,184	0,086
8,440	15,102	15,096	15,243	15,147	0,083
10,630	17,288	17,364	17,502	17,385	0,108
13,380	19,550	19,458	19,713	19,574	0,129
16,840	22,266	22,195	22,520	22,327	0,171
21,210	25,396	25,322	25,699	25,472	0,200
26,700	28,822	28,648	29,175	28,882	0,269
33,610	32,963	33,333	33,990	33,429	0,520
42,320	39,133	39,562	39,083	39,259	0,263
53,280	44,052	44,376	44,278	44,235	0,166
67,070	51,105	51,579	50,793	51,159	0,396
84,430	55,958	55,806	56,650	56,138	0,450
106,300	65,066	65,353	65,436	65,285	0,194
133,830	74,309	74,930	75,015	74,751	0,385
168,440	83,227	83,006	84,133	83,455	0,597
212,100	96,653	96,641	96,629	96,641	0,012

Tabela A 33 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 1°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	19,057	19,061	19,040	19,053	0,011
1,060	21,692	21,715	21,710	21,706	0,012
1,340	24,699	24,598	24,633	24,643	0,051
1,680	28,012	27,935	28,013	27,987	0,045
2,120	31,891	31,749	31,771	31,804	0,076
2,670	36,579	36,118	35,781	36,159	0,401
3,360	41,178	41,083	41,101	41,121	0,050
4,230	46,690	46,493	46,554	46,579	0,101
5,330	53,090	53,064	52,969	53,041	0,064
6,710	59,965	60,277	60,723	60,322	0,381
8,440	68,178	68,437	68,607	68,407	0,216
10,630	77,448	77,556	77,612	77,539	0,083
13,380	87,856	88,308	88,970	88,378	0,560
16,840	99,653	100,289	100,794	100,245	0,572
21,210	113,172	113,895	114,468	113,845	0,649
26,700	128,347	129,290	130,539	129,392	1,100
33,610	145,150	145,451	146,097	145,566	0,484
42,320	168,063	166,850	165,417	166,777	1,325
53,280	189,889	189,645	188,323	189,286	0,843
67,070	217,283	215,353	213,905	215,514	1,695
84,430	242,915	244,466	245,697	244,359	1,394
106,300	277,809	277,580	277,168	277,519	0,325
133,830	315,309	313,975	314,388	314,557	0,683
168,440	356,219	358,159	360,068	358,149	1,925
212,100	407,759	407,759	407,759	407,759	0,000

Tabela A 34 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 10°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	16,106	16,031	16,104	16,080	0,043
1,060	18,293	18,412	18,665	18,457	0,190
1,340	20,973	20,876	20,970	20,940	0,055
1,680	23,796	23,732	23,829	23,786	0,049
2,120	27,107	26,996	27,089	27,064	0,060
2,670	30,653	30,810	31,117	30,860	0,236
3,360	34,968	35,146	35,497	35,204	0,269
4,230	39,272	39,532	40,067	39,624	0,405
5,330	45,010	45,307	45,921	45,413	0,465
6,710	51,370	51,704	52,414	51,829	0,533
8,440	58,274	58,499	58,926	58,566	0,331
10,630	66,095	65,916	66,186	66,066	0,137
13,380	75,291	75,781	76,822	75,965	0,782
16,840	86,065	85,799	85,920	85,928	0,133
21,210	97,536	97,426	97,710	97,557	0,143
26,700	110,123	110,840	112,362	111,108	1,143
33,610	121,533	122,001	122,893	122,142	0,691
42,320	143,943	142,792	142,131	142,955	0,917
53,280	162,118	161,740	162,109	161,989	0,216
67,070	184,452	185,323	187,021	185,599	1,306
84,430	209,002	209,482	210,320	209,601	0,667
106,300	237,238	237,865	238,993	238,032	0,889
133,830	267,674	268,341	269,525	268,513	0,937
168,440	306,428	307,363	309,322	307,704	1,477
212,100	352,934	352,373	351,812	352,373	0,561

Tabela A 35 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 19°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	14,419	14,304	14,573	14,432	0,135
1,060	16,336	16,206	16,511	16,351	0,153
1,340	18,385	18,238	18,581	18,401	0,172
1,680	20,831	20,705	20,999	20,845	0,147
2,120	23,628	23,631	23,625	23,628	0,003
2,670	26,825	26,958	26,648	26,810	0,156
3,360	30,400	30,444	30,342	30,395	0,051
4,230	34,310	34,009	34,711	34,343	0,352
5,330	39,173	39,201	39,135	39,170	0,033
6,710	44,181	43,829	44,652	44,221	0,413
8,440	50,228	49,827	50,763	50,273	0,470
10,630	56,939	57,109	56,713	56,920	0,199
13,380	64,254	63,867	64,772	64,298	0,454
16,840	73,103	73,155	73,033	73,097	0,061
21,210	82,829	82,898	82,737	82,821	0,081
26,700	93,426	92,862	94,178	93,489	0,660
33,610	105,816	104,887	107,055	105,919	1,088
42,320	120,440	120,527	120,325	120,431	0,101
53,280	136,977	136,563	137,529	137,023	0,485
67,070	153,960	153,269	154,883	154,037	0,810
84,430	175,134	175,279	174,941	175,118	0,170
106,300	198,338	198,907	197,580	198,275	0,666
133,830	223,171	222,190	224,480	223,280	1,149
168,440	254,164	252,750	256,050	254,321	1,656
212,100	288,130	288,130	288,130	288,130	0,000

Tabela A 36 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 28°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	12,493	12,512	12,565	12,523	0,037
1,060	14,140	14,163	14,223	14,175	0,043
1,340	15,873	15,912	15,951	15,912	0,039
1,680	17,975	17,996	18,054	18,008	0,041
2,120	20,397	20,410	20,381	20,396	0,015
2,670	23,166	23,133	23,094	23,131	0,036
3,360	26,216	26,222	26,175	26,204	0,026
4,230	29,481	29,532	29,669	29,561	0,097
5,330	33,746	33,755	33,715	33,739	0,021
6,710	37,929	37,989	38,150	38,023	0,114
8,440	43,117	43,224	43,329	43,223	0,106
10,630	48,931	48,897	48,831	48,886	0,051
13,380	55,029	55,094	55,270	55,131	0,125
16,840	62,687	62,708	62,626	62,674	0,043
21,210	70,964	70,951	70,922	70,946	0,022
26,700	79,792	79,886	80,141	79,940	0,181
33,610	90,241	90,397	90,817	90,485	0,298
42,320	102,900	102,934	102,799	102,878	0,070
53,280	116,958	117,072	117,170	117,067	0,106
67,070	131,052	131,167	131,479	131,233	0,221
84,430	149,220	149,206	149,120	149,182	0,054
106,300	168,875	168,644	168,662	168,727	0,128
133,830	189,293	189,456	189,897	189,549	0,312
168,440	215,625	215,860	216,496	215,994	0,451
212,100	244,476	244,515	244,437	244,476	0,039

Tabela A 37 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 37°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	10,736	10,753	10,718	10,736	0,018
1,060	12,193	12,086	12,303	12,194	0,109
1,340	13,853	13,872	13,824	13,850	0,024
1,680	15,825	15,830	15,815	15,823	0,008
2,120	18,321	18,345	18,282	18,316	0,032
2,670	21,136	20,970	21,229	21,112	0,131
3,360	23,727	23,565	23,880	23,724	0,158
4,230	26,120	25,882	26,339	26,114	0,229
5,330	30,541	30,267	30,806	30,538	0,270
6,710	33,749	33,469	34,088	33,769	0,310
8,440	38,342	38,164	38,559	38,355	0,198
10,630	45,050	45,076	45,041	45,056	0,018
13,380	49,750	49,338	50,250	49,779	0,457
16,840	57,682	57,808	57,658	57,716	0,081
21,210	65,543	65,568	65,636	65,582	0,048
26,700	72,871	72,284	73,636	72,930	0,678
33,610	82,117	81,731	82,574	82,141	0,422
42,320	96,132	96,722	95,320	96,058	0,704
53,280	107,897	107,948	107,742	107,862	0,107
67,070	122,050	121,197	122,604	121,950	0,709
84,430	140,708	140,389	141,278	140,792	0,450
106,300	160,931	160,377	161,434	160,914	0,529
133,830	178,788	178,187	179,261	178,745	0,538
168,440	202,160	201,430	203,218	202,269	0,899
212,100	233,715	234,087	233,343	233,715	0,372

Tabela A 38 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 46°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	9,613	9,507	9,719	9,613	0,106
1,060	10,909	10,814	11,004	10,909	0,095
1,340	12,338	12,205	12,480	12,341	0,138
1,680	14,074	13,958	14,188	14,073	0,115
2,120	15,726	15,580	15,863	15,723	0,142
2,670	17,835	17,727	17,935	17,832	0,104
3,360	20,575	20,452	20,693	20,573	0,121
4,230	23,319	23,122	23,514	23,318	0,196
5,330	26,070	25,850	26,288	26,069	0,219
6,710	29,870	29,609	30,131	29,870	0,261
8,440	33,687	33,554	33,845	33,695	0,146
10,630	38,507	38,186	38,811	38,501	0,313
13,380	43,762	43,378	44,142	43,761	0,382
16,840	49,448	49,179	49,714	49,447	0,268
21,210	55,718	55,455	56,007	55,727	0,276
26,700	63,542	62,985	64,095	63,541	0,555
33,610	72,456	72,141	72,738	72,445	0,299
42,320	81,231	80,892	81,564	81,229	0,336
53,280	91,849	91,358	92,402	91,870	0,522
67,070	105,581	105,007	106,140	105,576	0,567
84,430	118,247	118,021	118,527	118,265	0,253
106,300	134,330	133,988	134,671	134,330	0,342
133,830	153,964	153,575	154,264	153,934	0,345
168,440	176,482	175,764	177,176	176,474	0,706
212,100	196,433	196,482	196,532	196,482	0,050

Tabela A 39 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 56°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	8,291	8,277	8,326	8,298	0,025
1,060	9,401	9,394	9,429	9,408	0,019
1,340	10,924	10,916	10,962	10,934	0,025
1,680	12,156	12,144	12,191	12,164	0,024
2,120	14,308	14,297	14,350	14,318	0,028
2,670	15,954	15,943	15,987	15,961	0,023
3,360	18,393	18,389	18,424	18,402	0,019
4,230	19,913	19,894	19,972	19,926	0,041
5,330	23,502	23,500	23,552	23,518	0,029
6,710	25,655	25,665	25,698	25,673	0,023
8,440	29,827	29,813	29,872	29,837	0,031
10,630	34,005	33,975	34,102	34,027	0,066
13,380	37,610	37,624	37,675	37,636	0,034
16,840	44,105	44,091	44,177	44,124	0,046
21,210	49,366	49,344	49,445	49,385	0,053
26,700	54,798	54,805	54,906	54,836	0,060
33,610	61,627	61,410	61,906	61,648	0,249
42,320	72,873	72,833	72,986	72,897	0,079
53,280	81,469	81,413	81,636	81,506	0,116
67,070	90,982	90,995	91,087	91,021	0,057
84,430	105,067	104,991	105,195	105,084	0,103
106,300	117,005	116,921	117,161	117,029	0,122
133,830	132,652	132,460	132,918	132,677	0,230
168,440	149,813	149,749	150,023	149,862	0,143
212,100	173,599	173,605	173,593	173,599	0,006

Tabela A 40 – Dados reológicos do suco de uva Malbec a 45,0°Brix e 66°C.

Taxa (s⁻¹)	Tensão 1 (Pa)	Tensão 2 (Pa)	Tensão 3 (Pa)	Média	DP
0,840	7,520	7,535	7,525	7,527	0,008
1,060	8,569	8,587	8,564	8,573	0,012
1,340	9,692	9,687	9,714	9,698	0,014
1,680	11,032	11,088	10,995	11,038	0,047
2,120	12,510	12,384	12,657	12,517	0,137
2,670	14,249	14,102	14,412	14,254	0,155
3,360	16,189	16,295	16,095	16,193	0,100
4,230	18,364	18,477	18,283	18,375	0,097
5,330	20,906	20,727	21,103	20,912	0,188
6,710	23,754	23,787	23,728	23,756	0,030
8,440	26,973	26,870	27,101	26,981	0,116
10,630	30,596	30,711	30,533	30,613	0,090
13,380	34,823	35,011	34,648	34,827	0,182
16,840	39,542	39,616	39,501	39,553	0,058
21,210	44,938	44,732	45,185	44,952	0,227
26,700	51,059	51,093	51,057	51,070	0,020
33,610	57,921	58,328	57,758	58,002	0,294
42,320	65,901	65,532	66,333	65,922	0,401
53,280	74,825	74,200	75,543	74,856	0,672
67,070	85,026	85,407	84,672	85,035	0,368
84,430	96,701	95,951	97,545	96,732	0,797
106,300	109,445	108,748	110,252	109,482	0,753
133,830	124,661	125,178	124,365	124,735	0,411
168,440	141,432	143,516	139,464	141,471	2,026
212,100	160,895	160,203	161,581	160,893	0,689

APÊNDICE B – Dados da densidade do suco de uva Malbec (*Vitis vinífera*) em diferentes temperaturas e concentração.

Tabela B 1 – Densidade do suco de uva Malbec a 13,6°Brix em diferentes temperaturas.

T (°C)	ρ (kg/m³)	ρ (kg/m³)	ρ (kg/m³)	ρ_M (kg/m³)	DP
1	1059,5	1059,3	1059,1	1059,3	0,00
10	1059,1	1059,3	1058,3	1058,9	1,00
19	1058,2	1058,3	1057,4	1058,0	0,00
28	1057,2	1056,8	1055,3	1056,4	1,00
37	1056,3	1055,9	1052,7	1055,0	2,00
46	1054,3	1054,9	1049,7	1053,0	3,00
56	1050,5	1051,5	1045,5	1049,2	3,00
66	1046,0	1046,9	1041,0	1044,6	3,00

Tabela B 2 – Densidade do suco de uva Malbec a 21,0°Brix em diferentes temperaturas.

T (°C)	ρ (kg/m³)	ρ (kg/m³)	ρ (kg/m³)	ρ_M (kg/m³)	DP
1	1095,6	1096,9	1091,0	1094,5	3,00
10	1093,9	1093,4	1091,1	1092,8	1,00
19	1093,6	1093,0	1090,1	1092,2	2,00
28	1092,1	1091,4	1088,6	1090,7	2,00
37	1092,6	1091,1	1084,7	1089,5	4,00
46	1089,5	1088,1	1082,4	1086,7	4,00
56	1085,6	1084,3	1078,6	1082,8	4,00
66	1077,2	1077,0	1076,1	1076,8	1,00

Tabela B 3 – Densidade do suco de uva Malbec a 29,0°Brix em diferentes temperaturas.

T (°C)	ρ (kg/m³)	ρ (kg/m³)	ρ (kg/m³)	ρ_M (kg/m³)	DP
1	1129,7	1129,5	1128,6	1129,3	1,00
10	1129,4	1129,2	1128,2	1128,9	1,00
19	1129,0	1128,6	1126,3	1128,0	1,00
28	1129,5	1128,5	1123,7	1127,2	3,00
37	1128,8	1127,4	1121,5	1125,9	4,00
46	1123,1	1124,6	1121,6	1123,1	2,00
56	1122,1	1120,8	1114,9	1119,3	4,00
66	1117,9	1116,4	1109,8	1114,7	4,00

Tabela B 4 – Densidade do suco de uva Malbec a 37,0°Brix em diferentes temperaturas.

T (°C)	ρ (kg/m³)	ρ (kg/m³)	ρ (kg/m³)	ρ_M (kg/m³)	DP
1	1170,7	1169,1	1162,2	1167,3	5,00
10	1170,0	1168,5	1162,4	1167,0	4,00
19	1169,1	1167,6	1161,4	1166,0	4,00
28	1167,8	1166,2	1159,3	1164,4	5,00
37	1165,6	1164,1	1157,2	1162,3	4,00
46	1161,7	1164,2	1159,1	1161,7	3,00
56	1159,0	1157,5	1150,6	1155,7	4,00
66	1157,8	1155,4	1148,9	1154,0	5,00

Tabela B 5 – Densidade do suco de uva Malbec a 45,0°Brix em diferentes temperaturas.

T (°C)	ρ (kg/m³)	ρ (kg/m³)	ρ (kg/m³)	ρ_M (kg/m³)	DP
1	1211,0	1208,4	1200,9	1206,8	5,00
10	1207,1	1209,2	1205,1	1207,1	2,00
19	1206,6	1208,8	1204,5	1206,6	2,00
28	1205,9	1208,3	1203,6	1205,9	2,00
37	1203,8	1206,1	1201,4	1203,8	2,00
46	1207,1	1203,3	1192,5	1201,0	8,00
56	1195,5	1193,9	1186,9	1192,1	5,00
66	1192,6	1188,9	1196,2	1192,6	4,00