

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS  
CÂMPUS CAMPO MOURÃO - PARANÁ

MATHEUS RODRIGUES VICENTE

**PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE SUCO DE ABACAXI COM  
YACON**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2015

MATHEUS RODRIGUES VICENTE

**PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE SUCO DE ABACAXI COM  
YACON**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia de Alimentos do Departamento Acadêmico de Alimentos – DALIM – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, *Campus* Campo Mourão, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Roberta de Souza Leone

CAMPO MOURÃO

2015



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE SUCO DE ABACAXI COM YACON

POR

MATHEUS RODRIGUES VICENTE

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado em 26 de junho de 2015, às 16 horas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Roberta de Souza Leone  
Orientador

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ângela Maria Gozzo  
Membro da banca

---

Prof. Dr. Bogdan Demczuk Junior  
Membro da banca

---

**Nota:** O documento original e assinado pela Banca Examinadora encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Alimentos da UTFPR *Campus* Campo Mourão.

A minha mãe, Lúcia, por me incentivar a sempre buscar novos desafios, conhecimentos e conquistas.

**DEDICO**

## RESUMO

VICENTE, M. R. **Propriedades Reológicas de Suco de Abacaxi com Yacon**. 2015. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

O segmento de sucos teve um aumento de 10% nas vendas de 2013 e dessa forma, tornou-se imprescindível a pesquisa sobre diferentes processos industriais que proporcionem um melhor rendimento na produção e promovem sucos de bom aspecto, dentro dos padrões de qualidade. A reologia estuda a deformação e o escoamento dos materiais com o objetivo de projetar tubulações e equipamentos, controlar a qualidade da indústria, avaliação a textura, incluindo mudanças físico-químicas do produto. A viscosidade de um material pode ser definida como a propriedade física dos fluidos que caracteriza a sua resistência ao escoamento. Este trabalho teve como objetivo estudar as propriedades reológicas de suco de abacaxi com yacon através dos modelos de Ostwald-de-Waele, Casson e Bingham nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50, e 60 °C. Para formulação do suco, utilizou-se 60% de polpa de abacaxi, 32% de água e 8% de polpa de yacon. As medidas reológicas foram realizadas em viscosímetro rotacional. Verificou-se que o índice de comportamento ( $n$ ) em todas as temperaturas analisadas apresentou valores inferiores a um (1), indicando um comportamento não newtoniano, tipicamente pseudoplástico quanto ao escoamento e tixotrópico, quanto ao tempo. Os três modelos avaliados apresentaram altos coeficientes de determinação ( $R^2 \geq 0,99$ ). O efeito da temperatura foi significativo para o índice de consistência de tal forma que a viscosidade diminui com o aumento da temperatura.

**Palavras-chave:** *suco, abacaxi, yacon, reologia, viscosidade.*

## ABSTRACT

VICENTE, M. R. **Rheological Properties of Pineapple and Yacon Juice**. 2015. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

Juice segment had an increase in sales of 10% in 2013. Thus, now it becomes essential the researches for new industrial process that provide a better performance in production, looking good juices and within the quality standards. Rheology studies the deformation and outflow of materials in order to design piping and equipment in the industry quality control, evaluation of texture, including physical and chemical changes of the product. Materials' viscosity can be described as the physical property of fluids that characterize its flow resistance. This conclusion report has the purpose of studying the rheological properties of pineapple juice with yacon according to the models of Ostwald-de-Waelle, Casson and Bingham on temperatures of 10, 20, 30, 40, 50 and 60°C. To preparing the juice, it was used 60% of pineapple juice, 32% of water and 8% of yacon's pulp. It has been verified that the behavior index ( $n$ ) in each analyzed temperature presented values lower than one (1), indicating Non-Newtonian behavior, typically pseudoplastic as flow and thixotropic, as to time. These three assessed models showed high coefficients of determination ( $R^2 \geq 0,99$ ). The effect of temperature was meaningful to the consistency index, in a way that the viscosity decreases with the increasing of temperature.

**Keywords:** *Juice, pineapple, yacon, rheology, viscosity.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Foto Ilustrativa do Abacaxi.....	12
Figura 2. Foto ilustrativa do Yacon.....	13
Figura 3. Perfil de velocidade em placas paralelas. ....	17
Figura 4. Curva de fluxo para fluido Newtoniano. ....	17
Figura 5. Classificação dos fluidos reológicos. ....	18
Figura 6. Curva de escoamento para vários tipos de fluidos independentes do tempo. ....	19
Figura 7. Curvas de suco de abacaxi com yacon em diferentes temperaturas. ....	24
Figura 8. Curvas de viscosidade aparente do suco de abacaxi com yacon. ....	26
Figura 9. Aplicação do modelo de Arrhenius na viscosidade de suco de abacaxi com yacon.....	28
Figura 10. Histerese .....	29

## **LSITA DE TABELAS**

<b>Tabela 1. Limites de composição para suco de abacaxi (BRASIL, 2003).....</b>	<b>15</b>
<b>Tabela 2. Parâmetros do ajuste do modelo Lei da Potência para suco misto. ...</b>	<b>25</b>
<b>Tabela 3. Parâmetros do ajuste do modelo Casson para suco misto. ....</b>	<b>25</b>
<b>Tabela 4. Parâmetros do ajuste do modelo Bingham para suco misto.....</b>	<b>26</b>



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
2.1. Objetivo Geral .....	11
2.2. Objetivos Específicos .....	11
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
3.1. Abacaxi ( <i>Ananas Mill</i> ).....	12
3.2. Yacon ( <i>Smallanthus soncholiolius</i> ) .....	13
3.3. Sucos e Polpas .....	14
3.4. Reologia .....	15
3.4.1. Reologia dos fluidos .....	16
3.4.2. Efeito da Temperatura .....	20
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
4.1. Matéria-prima .....	21
4.2. Procedimento Experimental .....	21
4.3. Medidas reológicas .....	22
4.3.1. Modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência).....	22
4.3.2. Modelo de Casson.....	22
4.3.3. Modelo de Bingham.....	23
4.3.4. Efeito da Temperatura .....	23
4.3.5. Análise Estatística .....	23
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>24</b>
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>30</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>31</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A agroindústria é um dos segmentos mais importantes da economia brasileira. Até meados do século XX, a dinâmica econômica no Brasil era dada essencialmente pela sucessão de ciclos de exploração de produtos primários (FILHO; DE PAULA, 2002).

O processo de industrialização brasileira começou na década de 1950, porém o processo de modernização e industrialização da agricultura iniciou na década de 1960. Foram surgindo assim os primeiros complexos agroindustriais, graças aos incentivos e políticas governamentais, oferecendo importantes financiamentos e convenientes alternativas de linhas de crédito para as indústrias de insumo e equipamentos para a agricultura e para as agroindústrias processadoras (CARRIZO, 2005).

O clima tropical e temperado do Brasil possibilita o cultivo de grande variedade de frutas, dentre elas, destacam-se os frutos cítricos. Porém, outros frutos também têm recebido destaque como o abacaxi, a manga, o mamão, a banana e o abacate, principalmente devido à implantação de tecnologia durante sua produção (GRANADA, ZAMBIAZI; MENDONÇA, 2004).

As frutas possuem nutrientes essenciais e uma série de micronutrientes tais como minerais, fibras e vitaminas, além de componentes metabólicos secundários de natureza fenólica. O consumo de frutas tem sido associado ao menor risco de incidências e mortalidade por câncer e enfermidades coronarianas (KUSKOSKI *et al.*, 2005).

O segmento de sucos (naturais e industrializados) teve um aumento de 10% nas vendas de 2013 em comparação com o ano anterior, respondendo com uma movimentação de cerca de R\$ 2 bilhões. Além disso, o mercado de sucos representou uma parcela de 16% referente aos 60 bilhões de litros de bebidas não alcoólicas vendidos em 2012 (ABIR, 2013).

O processamento de frutos, quando fundamentado nas demandas do mercado, pode se tornar uma das mais fortes ferramentas para o aproveitamento das potencialidades da fruticultura, pois permite transformar produtos perecíveis em produtos armazenáveis. Além disto, proporciona a realização de negociações de

comercialização com maior poder de barganha evitando, em parte, as perdas dos frutos, que podem chegar, em alguns casos, de 25 a 30% da produção (SOUZA, 2008).

Dessa forma, tornou-se imprescindível a pesquisa sobre diferentes processos industriais que proporcionassem um melhor rendimento na produção, sucos de bom aspecto e dentro dos padrões de qualidade (BALISCH *et al.*, 2002).

Para melhorar o desenvolvimento destes produtos e diminuir as perdas na indústria, é importante o estudo tecnológico com ênfase às propriedades reológicas com o objetivo de projetar tubulações e equipamentos, no controle de qualidade da indústria, na avaliação da textura, incluindo mudanças físico-químicas que ocorrem durante seu processamento e o armazenamento, e que afetam sua qualidade. Desta maneira, seu estudo auxilia no desenvolvimento científico e tecnológico de produtos cada vez mais saudáveis, aceitos e seguros (KARWOWSKI, 2012).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Estudar as propriedades reológicas do suco de abacaxi adicionado de polpa de yacon.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Descrever o comportamento reológico;
- Descrever o comportamento das amostras em termos do modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Casson e Bingham nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C;
- Avaliar o efeito da temperatura em relação à viscosidade pela equação de Arrhenius.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Abacaxi (*Ananas Mill*)

O abacaxi ou ananás (Figura 1), nomes utilizados tanto para a fruta como para a planta, pertence à família *Bromeliaceae* e gênero *Ananas Mill*. Esse gênero é vastamente distribuído nas regiões tropicais por intermédio da espécie *Ananas comosus* (L.) Merr., a qual abrange todas as cultivares plantadas de abacaxi. O fruto é normalmente cilíndrico ou ligeiramente cônico, constituído por 100 a 200 pequenas bagas ou frutinhos fundidos entre si sobre o eixo central ou coração. A polpa apresenta cor branca, amarela ou laranja-avermelhada, sendo o peso médio dos frutos de um quilo, dos quais 25% é representado pela coroa (GRANADA; ZAMBIARI; MENDONÇA, 2004).



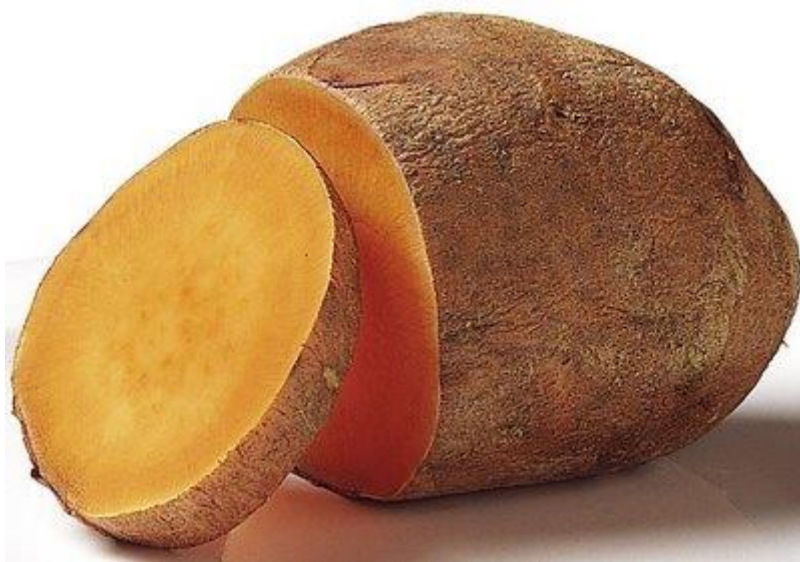
**Figura 1.** Foto Ilustrativa do Abacaxi.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), no critério produção de alimentos e *commodities* agrícolas, em 2012 o Brasil foi o 3º maior produtor mundial de abacaxi (FAO, 2013). Segundo dados do IBGE (2011), em 2011 a produção nacional de abacaxi superou em 7,3% a produção do ano de 2010.

O abacaxizeiro é cultivado em quase todos os estados brasileiros e, nos últimos anos, a área plantada com essa fruteira teve um crescimento significativo. A cultura brasileira do abacaxi destaca-se em duas cultivares: a Pérola, entre as regiões de maior cultivo está o Nordeste brasileiro, e a Smooth Cayenne, cultivada em menor escala na Região Sudeste (CUNHA, 2007).

### 3.2. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*)

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) (Figura 2), espécie da família *Asteraceae*, é originário dos vales andinos da Colômbia, Equador, Peru, Bolívia e noroeste da Argentina, em altitudes de 2000 a 3100 metros. Nessa região, é cultivado desde a antiga civilização Inca, e utilizada na alimentação humana. No Brasil, a espécie foi introduzida por volta de 1989, na região de Campo Bonito (SP), por imigrantes japoneses, que utilizam suas folhas e raízes tuberosas no tratamento contra diabetes e altas taxas de colesterol no sangue (VILHENA; CÂMARA; KAKIHARA, 2000).



**Figura 2.** Foto ilustrativa do Yacon.

Sua polpa é de gosto doce e sua textura assemelha-se à uma pêra. É considerada alimento funcional em decorrência da alta concentração de frutooligossacarídeos e inulina em sua composição. Estes componentes são designados fibras alimentares solúveis e prebióticos, devido a sua baixa

digestibilidade pelas enzimas do trato gastrointestinal humano, estímulo seletivo do crescimento e atividade de bactérias intestinais promotoras da saúde. Outros açúcares estão presentes em sua composição, incluindo frutose, glicose e sacarose. (SANTANA; CARDOSO, 2008).

O yacon tem sido alvo de atenção nas últimas décadas visto que ele apresenta compostos bioativos de importância à saúde humana. Sua composição tem como principais substâncias água e carboidratos, os quais são armazenados principalmente sob forma de frutooligossacarídeos (FOS), que são açúcares não-redutores, entre outros açúcares livres (SANTANA; CARDOSO, 2008).

Teixeira (2010) estudou o uso de yacon para elaboração de apesuntado em substituição da água para obtenção de um produto de melhor qualidade funcional.

### **3.3. Sucos e Polpas**

Consumidores mais exigentes e com maior poder de compra têm estimulado o desenvolvimento de produtos, o aperfeiçoamento dos processos e as melhorias da qualidade dos produtos agrícolas, resultando na adaptação de sistemas e equipamentos industriais (GRANJEIRO *et al.*, 2007). Dentre os principais avanços do segmento de bebidas, destaca-se o crescente interesse da sociedade pelos sucos e polpas. As frutas consistem em fonte nutricional de vitaminas, minerais e carboidratos solúveis (VANDRESEN, 2007).

Os sucos de frutas são consumidos e apreciados em todo o mundo, não só pelo seu sabor, mas, também, por serem fontes naturais de carboidratos, carotenóides, vitaminas, minerais e outros componentes importantes. Uma mudança apropriada na dieta em relação à inclusão de componentes encontrados em frutas e suco de frutas pode ser importante na prevenção de doenças e para uma vida mais saudável (PINHEIRO *et al.*, 2006)

A normatização do registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e comércio de bebidas ficam a cargo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (VENTURINI FILHO, 2005), que define o suco de fruta tropical de abacaxi pela Instrução Normativa nº 12/2003 como sendo

a “bebida não fermentada, obtida pela dissolução, em água potável, da polpa do abacaxi (*Ananas comusus, L.*), por meio de processo tecnológico adequado” (BRASIL, 2003).

É bem conhecido que as composições de sucos de frutas variam de acordo com o tipo da fruta, com maturidade, e com resultado de efeitos ambientais e climáticos da estação de crescimento (PINHEIRO *et al*, 2006).

Para suco tropical de abacaxi, a legislação brasileira define os seguintes limites, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1.** Limites de composição para suco de abacaxi.

	<b>Suco</b>			
	<b>Não adoçado</b>		<b>Adoçado</b>	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Polpa de abacaxi (g.100 <sup>-1</sup> )	60,00	-	50,00	-
Sólidos solúveis em °Brix, a 20 °C	6,00	-	11,00	-
Acidez total em ácido cítrico (g. 100 <sup>-1</sup> )	0,16	-	0,20	-
Açúcares totais (g. 100 <sup>-1</sup> )	-	15,00	8,00	-

Fonte: Brasil, 2003.

As indústrias de sucos de frutas têm tido a preocupação de melhorar e automatizar sua produção. Durante o processamento, os sucos de fruta apresentam variações em suas concentrações e temperaturas. Estes são submetidos a operações unitárias, tais como bombeamento, evaporação, secagem e pulverização. Para um correto dimensionamento, operação e controle do processo, o conhecimento dos parâmetros reológicos é de fundamental importância (CABRAL; QUEIROZ; FIGUEIRÊDO, 2007).

### 3.4. Reologia

A reologia é uma ciência que surgiu com estudos de Newton e Hooke no século XVII (CASTRO, 2007), mas foi somente no início do século XX que o comportamento



de materiais industriais passou a ser de interesse da física, da mecânica, da matemática e, inclusive, da química dos coloides. Tem como objetivo estudar a deformação e o escoamento dos materiais. A origem do nome vem dos radicais gregos *rheos* (fluir) e *logos* (estudo). Atualmente, reologia é agora estabelecida como a ciência da deformação e fluxo de matéria. É o estudo da maneira pela qual os materiais respondem à tensão ou deformação (STEFFE, 1996).

De uma maneira geral, é possível classificar o comportamento reológico dos materiais, através de dois extremos idealizados: sólidos perfeitos (hookeanos) e fluidos perfeitos (newtonianos). Na reologia de sólidos, a propriedade de maior interesse é a elasticidade ao passo que, em líquidos, a viscosidade é a propriedade mais importante. A viscosidade de um material pode ser definida como a propriedade física dos fluidos que caracteriza a sua resistência ao escoamento (TONELI; MURR; PARK, 2005).

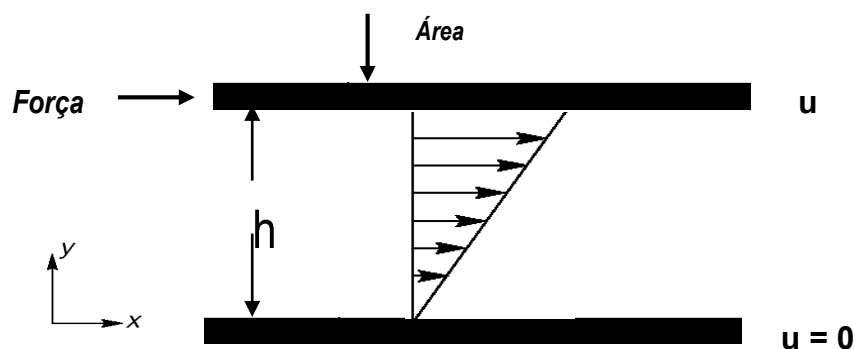
Segundo Steffe (1996) existem inúmeras áreas onde são necessários dados reológicos nas indústrias de alimentos:

- Cálculos em engenharia de processos, envolvendo uma variedade de equipamentos, como bombas, tubulações, extrusores, misturadores, trocadores de calor, dentre outros;
- Determinação da funcionalidade de ingredientes no desenvolvimento de produtos;
- Controle intermediário ou final da qualidade de produtos;
- Testes de tempo de prateleira;
- Avaliação da textura de alimentos e correlação com testes sensoriais;
- Análise de equações reológicas de estado ou de equações constitutivas.

#### **3.4.1. Reologia dos fluidos**

A medição da viscosidade de fluidos primeiro requer a definição dos parâmetros envolvidos no escoamento. O estudo da deformação em fluidos pode ser realizado submetendo-os a uma deformação contínua, a uma taxa constante. Essa condição pode ser idealizada com a utilização de duas placas paralelas com o fluido colocado

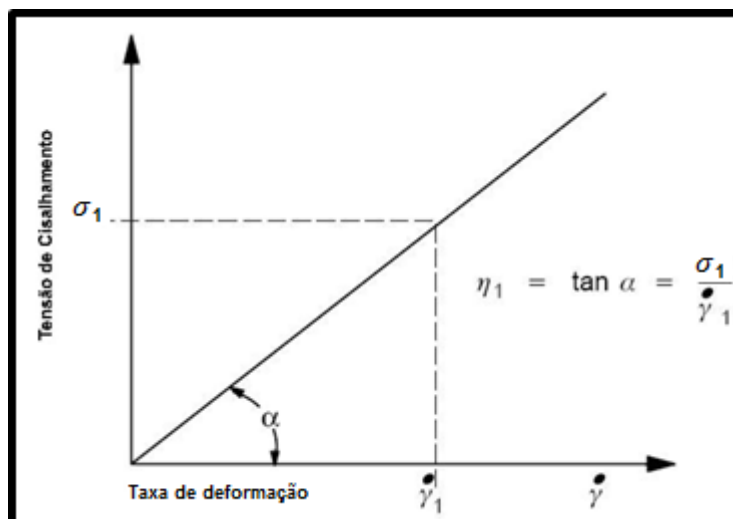
no espaço entre elas (*gap*), como mostra a Figura 3. O prato inferior é fixo ( $u = 0$ ) e o superior se move a uma velocidade constante ( $u$ ), gerando um perfil de velocidades ao longo do fluido que, por sua vez, é igual à taxa de deformação ( $\dot{\gamma}$ ) (TONELI; MURR; PARK, 2005).



**Figura 3.** Perfil de velocidade em placas paralelas.

Adaptado: Haminiuk (2007)

A correlação entre tensão e taxa de cisalhamento define o comportamento de fluxo de um fluido (Figura 4). O diagrama é chamado de curva de escoamento.

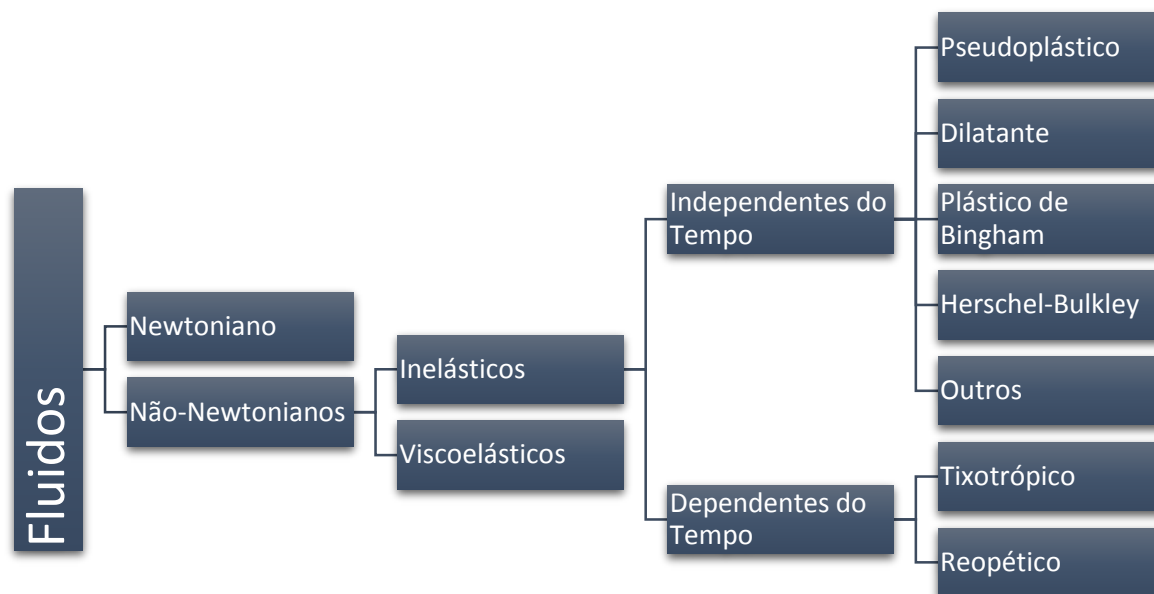


**Figura 4.** Esboço de curva de fluxo para fluido Newtoniano.

Fonte: HAMINIUK, 2007.

Os fluidos podem ser divididos em newtonianos e não newtonianos, conforme a Figura 5. Os newtonianos apresentam relação linear entre a tensão de cisalhamento

e a taxa de deformação, sendo a viscosidade constante. Os fluidos não newtonianos classificam-se com relação ao tempo (reopéticos e tixotrópicos) e com relação ao escoamento (pseudoplásticos e dilatantes), nos quais a viscosidade varia com o aumento da taxa de deformação (LAGO; BERNSTEIN; BRANDELLI, 2011).



**Figura 5.** Classificação dos fluidos reológicos.

Fonte: STEFFE, 1999.

Quando fluidos newtonianos são deformados, a tensão de cisalhamento gerada é, diretamente, proporcional à taxa de deformação. A resistência que o fluido oferece ao escoamento é caracterizada como a sua viscosidade newtoniana ( $\mu$ ), como mostra a Equação (1). Os fluidos newtonianos, por definição, possuem uma relação, estritamente, linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação, com a linha passando pela origem (STEFFE, 1996).

$$\sigma = \mu \dot{\gamma} \quad (1)$$

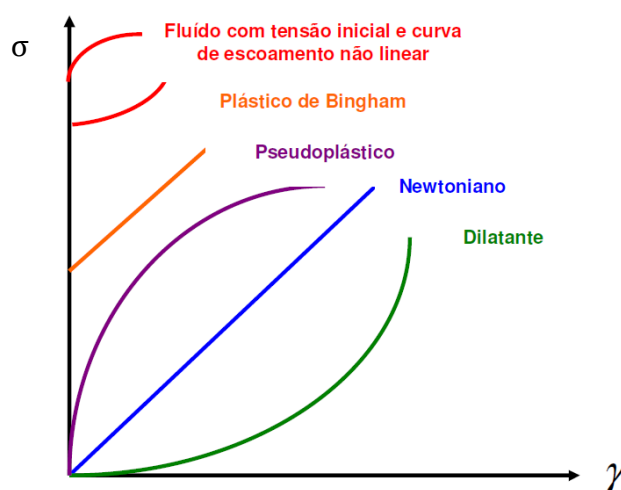
onde:  $\sigma$  = Tensão de cisalhamento (Pa);  $\mu$  = Viscosidade Newtoniana (Pa.s) e  $\dot{\gamma}$  = Taxa de deformação ( $s^{-1}$ ).

Sucos e polpas de frutas fazem parte, na maioria dos casos, do grupo de alimentos fluidos que não tem comportamento reológico do tipo newtoniano, ou seja, apresentam viscosidades independentes da taxa de deformação e da tensão de cisalhamento e variáveis com a temperatura (PELEGRINE; SILVA; GASPARETTO,

2002). Estudos de Cabral, Queiroz e Figueirêdo (2002); Sugai, Tadini e Tribess (2002), Silva, Guimarães e Gasparetto (2005) e Vidal *et al.* (2006) relatam a predominância de comportamentos não newtonianos, com a resistência ao escoamento expressa em termos de viscosidade aparente, definida como a relação instantânea entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, ou seja, a derivada da função viscosidade em cada ponto. Parcela significativa de derivados de frutas apresenta comportamento não-newtoniano (GRANJEIRO *et al.*, 2007).

O dimensionamento de equipamentos para processamento de derivados de frutas, sejam sucos ou polpas, envolve problemas relativos ao seu escoamento (QUEIROZ; BEZERA; GASPARETTO, 2000).

Os fluidos newtonianos e não-newtonianos classificados quanto ao escoamento são representados na Figura 6.



**Figura 6.** Curva de escoamento para vários tipos de fluidos.

**Fonte:** Adaptado Karwowski (2012)

Os fluidos não-newtonianos dependentes do tempo podem ser do tipo tixotrópicos e reopéticos. Um fluido tixotrópico é aquele no qual a viscosidade aparente diminui com o tempo quando o fluido é submetido a uma taxa de cisalhamento constante. Exemplos desse fluido são géis de alginato, clara de ovo, leite condensado açucarado, maionese, gelatinas, cremes, manteigas, molhos para saladas, suco de maçã com polpas, sucos concentrados de maracujá e laranja. E m fluidos reopéticos a viscosidade aparente do fluido aumenta com o tempo quando sujeito a uma taxa constante de cisalhamento. Este tipo de comportamento não é comum em alimentos, mas pode ocorrer em soluções de amido altamente

concentradas ou em casos de formação de estruturas como na preparação de “creme de chantilly” e de clara em neve. (KARWOWSKI, 2012).

### **3.4.2. Efeito da Temperatura**

A temperatura é um dos fatores que mais afeta a viscosidade das polpas de frutas, pois a maioria destas apresenta-se na forma de sólidos dispersos em meios líquidos. Um aumento da temperatura faz com que a viscosidade da fase líquida diminua, aumentando o movimento das partículas em suspensão, causando um decréscimo na viscosidade da polpa (PELEGRINE; VIDAL; GASPARETTO, 2000).

A viscosidade aparente representa a resistência do material ao escoamento, ou seja, quanto maior for a viscosidade aparente de um fluido, maior será a energia necessária para bombeá-la durante o transporte através de dutos (BARBATO, 2011).

Como a maioria das suspensões concentradas não possui comportamento newtoniano, a viscosidade aparente também sofre variação com a taxa de cisalhamento, o que significa que a viscosidade aparente varia com a vazão aplicada no bombeamento. Consequentemente, a determinação do perfil da curva de viscosidade aparente deve ser feita dentro de uma faixa de taxas de cisalhamento que inclua as taxas usualmente aplicadas no processo de bombeamento, que são em torno de  $100 \text{ s}^{-1}$  (SAMPAIO; NASCIMENTO, 2006).

Desta forma este trabalho estudou as propriedades reológicas do suco de abacaxi com yacon ajustando nos modelos de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Casson e Bingham e avaliou o efeito da temperatura sobre o comportamento da viscosidade do suco.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Matéria-prima

A polpa de abacaxi congelada em pacotes individuais de 100 g foi adquirida da cooperativa Coaprocor no município de Corumbataí do Sul (PR).

As raízes de yacon (*Smallanthus sonchifolius*), provenientes do estado do Paraná foram adquiridas na cidade de Maringá (PR). Os frutos foram selecionados considerando a ausência de injúrias.

### 4.2. Procedimento Experimental

A higienização da raiz yacon e extração de sua polpa foram realizadas de acordo com Leone (2014). A raízes foram lavadas e higienizadas com hipoclorito de sódio a 200 ppm por 10 minutos, em seguida, descascadas e cortadas com faca em fatias de 5 cm de espessura. As fatias foram branqueadas em solução de 500 mg/l de metabissulfito de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) por 1 hora a temperatura ambiente (25 °C) para inativar as enzimas causadoras de escurecimento.

A extração da polpa foi realizada a partir das fatias branqueadas através de Centrifuga Juicer (700W Philips Walita, BR). A polpa foi pasteurizada em temperatura de 90°C por 1 minuto (LEONE; RAMOS; ROCHA 2011), envasado a na mesma temperatura de pasteurização em embalagens plásticas de 1l, previamente higienizadas com hipoclorito de sódio (200 mg/l) e acondicionada sob refrigeração em temperatura de 10 °C.

Em seguida, para formulação do suco, que foi definida a partir de testes sensoriais preliminares, utilizou-se 60 % de polpa de abacaxi, 32 % de água e 8 % de polpa de yacon. O suco foi pasteurizado em temperatura de 90 °C por 1 minuto, envasado na mesma temperatura de pasteurização em embalagens plásticas de 1l, higienizadas com hipoclorito de sódio (200 mg/l), e acondicionado sob refrigeração em temperatura de 10 °C (LEONE; RAMOS; ROCHA, 2011).

### 4.3. Medidas reológicas

As medidas reológicas foram realizadas em viscosímetro rotacional, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C, marca Brookfield, modelo DVIII ultra, conectado a um sistema computadorizado de aquisição de dados Rheocalc (versão V3.1-1, Brookfield Engineering Laboratories, EUA) para registrar a viscosidade aparente ( $\eta_{ap}$ ), tensão de cisalhamento ( $\sigma$ ) e taxa de cisalhamento ( $\dot{\gamma}$ ). O rotor (spindle) utilizado foi SC4-31 com adaptador para pequena quantidade de amostra, com taxas de deformação variando de 0 a 85 s<sup>-1</sup>, sendo que essa faixa de valores foi escolhida de acordo com as características de cada amostra, obedecendo aos valores do torque permitido pelo equipamento, que devem ficar entre 10 e 90%. As medidas, a cada cinco segundos, foram realizadas de ida e volta, em duplicata. Os dados experimentais de tensão de cisalhamento e taxa de deformação foram ajustados aos modelos da Lei da Potência, Casson e Bingham, empregando o software Origin 8.0.

#### 4.3.1. Modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência)

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n \quad (2)$$

Onde:

$\sigma$  = Tensão de cisalhamento (Pa),  $\dot{\gamma}$  = Taxa de deformação (s<sup>-1</sup>),  $K$  = Índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>),  $n$  = Índice de comportamento de fluxo (adimensional).

#### 4.3.2. Modelo de Casson

$$\sigma^{0,5} = K_{0C} + K_c \dot{\gamma}^{0,5} \quad (3)$$

Onde:

$K_{0C}^2 = \sigma_{0C}$  = Tensão de cisalhamento inicial (Pa),  $K_c$  = Viscosidade plástica de Casson (Pa.s)<sup>0,5</sup>.

### 4.3.3. Modelo de Bingham

$$\sigma = \sigma_0 + \eta_a \dot{\gamma} \quad (4)$$

Onde:

$\sigma_0$  = tensão de cisalhamento inicial (Pa),  $\eta_a$  = Viscosidade plástica de Bingham (Pa.s).

### 4.3.4. Efeito da Temperatura

A equação de Arrhenius (Equação 5) envolve a temperatura (T), a constante universal dos gases (R), o fator pré-exponencial ( $\eta_0$ ) e a energia de ativação para viscosidade ( $E_a$ ), (STEFFE, 1996). Uma análise de regressão linear foi usada nesta equação, a fim de determinar os parâmetros da relação (viscosidade/temperatura).

$$\ln \eta_a = \ln \eta_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (5)$$

onde:

$\eta_0$  = constante,  $E_a$  = energia de ativação (kJ.mol<sup>-1</sup>),  $R$  = constante dos gases (kJ.mol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>),  $T$  = temperatura (K).

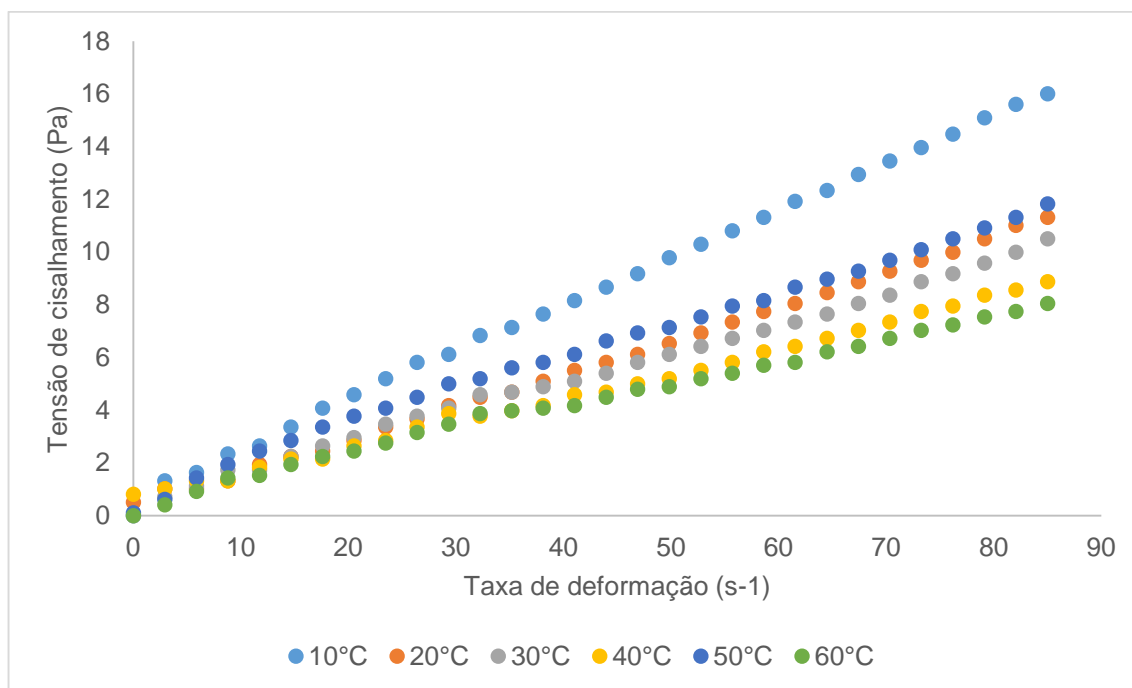
### 4.3.5. Análise Estatística

Os valores de  $R^2$  e  $\chi^2$  foram utilizados para avaliar a qualidade do ajuste dos dados experimentais obtidos através do modelo reológico Ostwald-De-Waele (Lei da Potência), Casson e Bingham.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 7 mostra o efeito da temperatura no comportamento reológico do suco de abacaxi com yacon. São apresentados pontos experimentais medidos a uma faixa de temperatura de 10 a 60 °C.



**Figura 7.** Curvas de escoamento de suco de abacaxi com yacon em diferentes temperaturas.

Na curva de escoamento, observa-se que, para cada taxa de deformação, a tensão de cisalhamento diminui com o aumento da temperatura, exceto para amostra avaliada à 50 °C. A curva de temperatura 50°C apresentou uma tensão inferior à observada para a amostra avaliada à 10 °C e superior às demais temperaturas. Tal comportamento não é comum, necessitando assim de mais estudos afim da adequação dessa curva

De acordo com Hassan e Hobani (1998), com o aumento da temperatura, a energia térmica e as distâncias moleculares aumentam em função da redução das forças intermoleculares. Associado ao aumento da temperatura, observa-se também que a inclinação das curvas diminui com o aumento da taxa de deformação. Isto evidencia uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação (BEZERRA *et al.*, 2013).

Os parâmetros relativos aos modelos da Lei da Potência, Casson e Bingham, obtidos por meio de ajustes aos dados experimentais do suco misto, estão nas Tabelas de 2, 3 e 4, respectivamente.

Todos os modelos utilizados para descrever o comportamento reológico do suco misto adequaram-se satisfatoriamente em toda a faixa de temperatura estudada, apresentando baixos valores de SSR e  $\chi^2$ , e valores elevados para o coeficiente de determinação  $R^2$ , superiores a 0,99. Verifica-se que o índice de comportamento ( $n$ ) em todas as temperaturas analisadas apresentou valores inferiores a um (1), indicando um comportamento não newtoniano e tipicamente pseudoplástico para as amostras de suco misto. Comportamento semelhante foi observado em outros estudos de caracterização reológica de fluidos derivados de frutas: Silva, Guimarães e Gasparetto (2005), estudando suco de acerola; Pelegrine, Silva e Gasparetto (2002), avaliando o comportamento reológico de polpa de manga e abacaxi, Dak, Verma e Jaaffrey. (2007), avaliando suco de manga, e Faraoni *et al.* (2013), avaliando suco misto de acerola, manga e goiaba.

**Tabela 2.** Parâmetros do ajuste do modelo Lei da Potência para suco misto.

Parâmetro	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
k	0,30708	0,16128	0,22261	0,25813	0,21378	0,23217
n	0,88843	0,95294	0,88104	0,8654	0,86374	0,87509
$\chi^2$	0,02725	0,02756	0,04255	0,04286	0,02973	0,01789
$R^2$	0,99865	0,99728	0,99566	0,99621	0,99748	0,99698

**Tabela 3.** Parâmetros do ajuste do modelo Casson para suco misto.

Parâmetro	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
$k_{oc}$	0,32453	0,1326	0,29724	0,34248	0,31131	0,31135
$K_c$	0,3984	0,34734	0,33083	0,34077	0,30897	0,33227
$\chi^2$	0,0132	0,02171	0,02884	0,02868	0,02272	0,01789
$R^2$	0,99935	0,99786	0,99705	0,99745	0,99843	0,99827

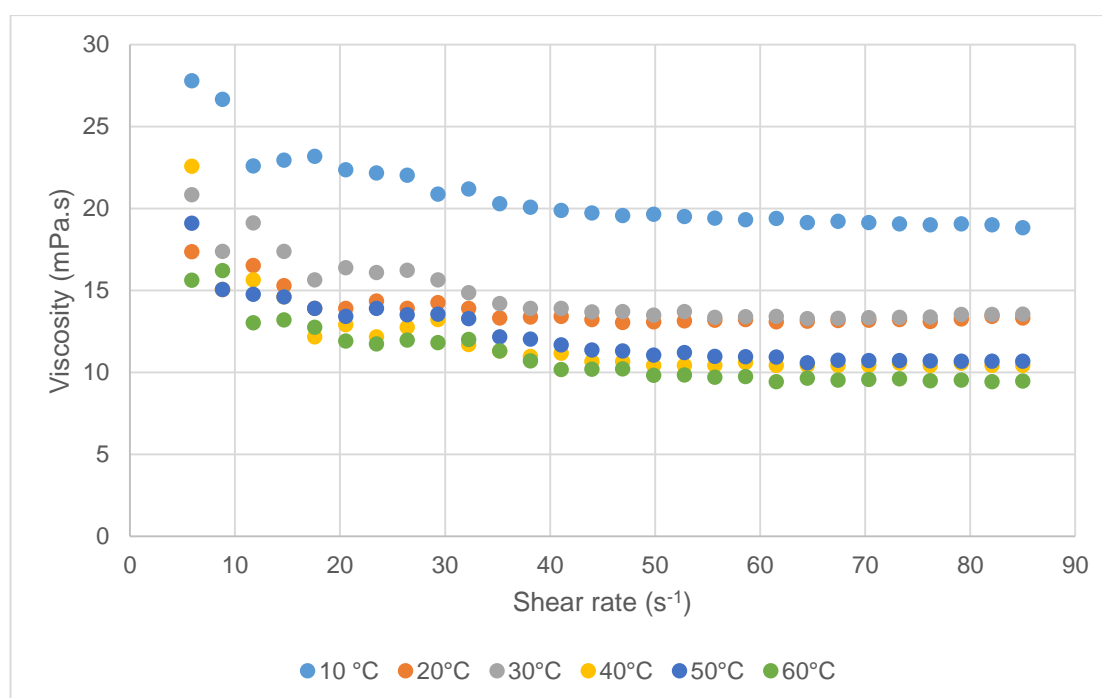
**Tabela 4.** Parâmetros do ajuste do modelo Bingham para suco misto.

Parâmetro	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
$\sigma_0$	0,80302	0,31158	0,62986	0,74027	0,6065	0,65815
$\eta_a$	0,17999	0,12743	0,12545	0,013544	0,11145	0,12738
$\chi^2$	0,01244	0,01468	0,02421	0,02868	0,04204	0,02919
R <sup>2</sup>	0,9994	0,99856	0,99753	0,99731	0,99809	0,99848

Os valores do índice de consistência do modelo da lei da Potência,  $k$ , são importantes no processamento de suco especialmente durante a pasteurização. Por exemplo, o aumento do coeficiente de consistência fará com que a taxa de fluxo no tubo diminua devido a uma maior resistência ao escoamento (EARLE, 1985). Isto levará a maior tempo de aquecimento e permanência do suco na etapa de pasteurização, por exemplo.

Karwowski (2012) apresentou em seu trabalho valores de  $k$  decrescente com relação a temperatura, com sua tensão residual dependendo da temperatura.

A Figura 8 apresenta a relação entre viscosidade aparente ( $\eta_{ap}$ ) e a taxa de deformação para o suco misto.

**Figura 8.** Curvas de viscosidade aparente do suco de abacaxi com yacon.

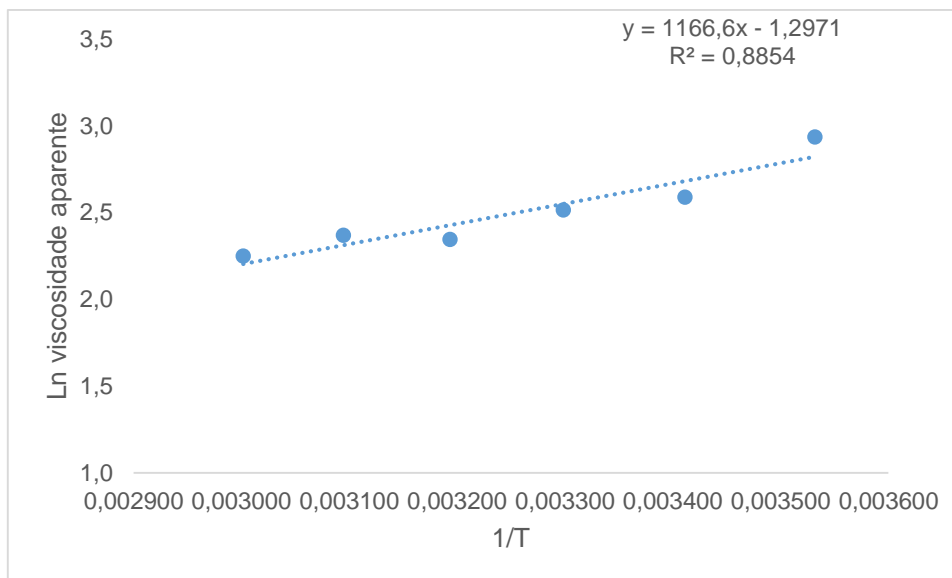
Verifica-se o decréscimo da viscosidade aparente, considerando-se isoladamente os aumentos de temperatura e taxa de deformação. Além disso, verifica-se para que as inclinações das curvas de escoamento diminuem com o aumento da taxa de deformação, evidenciando o decréscimo da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, confirmando o comportamento pseudoplástico. Esse comportamento é comum para polpas e sucos de frutas, uma vez que a maioria destes produtos apresenta-se na forma de sólidos dispersos em meio líquido e um aumento da temperatura causa uma diminuição da viscosidade da fase fluida, aumentando a mobilidade das partículas em suspensão, diminuindo a viscosidade destes produtos (PELEGRINE, 1999).

Do ponto de vista industrial, a diminuição da viscosidade aparente facilita o escoamento da polpa e a troca de calor durante o processamento. Quanto menor a viscosidade de um fluido, menor será a perda de carga durante o escoamento (BEZERRA *et al.*, 2013)

A equação de Arrhenius (Equação 5) apresentou uma boa descrição do efeito da temperatura na viscosidade aparente do suco de abacaxi com yacon. Assim, pode-se calcular a energia de ativação ( $E_a$ ) indicando a sensibilidade da viscosidade às mudanças de temperatura. De acordo com Holdsworth (1971), quanto maior for a energia de ativação, maior será o efeito da temperatura na propriedade considerada.

A Figura 9 apresenta a regressão linear do Ln da viscosidade com o inverso da temperatura.

O valor calculado para  $E_a$  para o suco de abacaxi com yacon foi 9,693 kJ.mol<sup>-1</sup>. Suco de toranja apresentou valor  $E_a$  42,06 kJ.mol<sup>-1</sup> (CHIN *et al.*, 2009), suco de mirtilo e framboesa foi de 39,1 e 41,2 kJ.mol<sup>-1</sup>, respectivamente (NINDO, *et al.*, 2005) e 30,48 kJ.mol<sup>-1</sup> à suco de graviola (QUEK *et al.*, 2013).

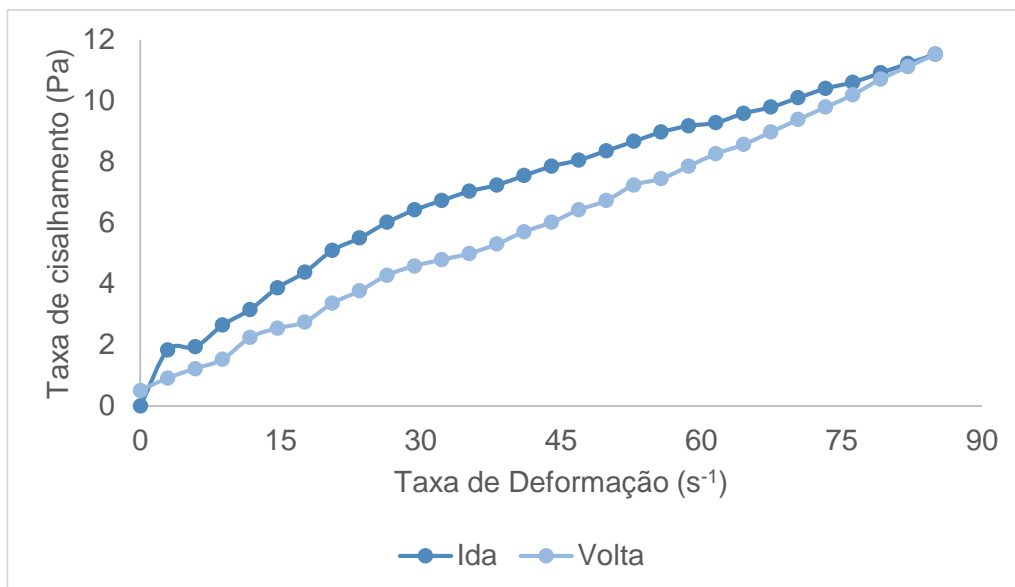


**Figura 9.** Efeito da temperatura na viscosidade aparente de suco de abacaxi com yacon ajustado pela Equação de Arrhenius.

A diferença entre as curvas ascendentes e descendentes da relação cisalhamento/deformação, com a formação de uma curva de histerese é a medida da extensão da quebra estrutural causada pelo cisalhamento. Este comportamento é típico de fluido tixotrópico, quanto maior a área sob a curva, maior o efeito tixotrópico (HOLDSWORTH, 1993).

Podem-se citar como exemplos de fluidos reopéticos as suspensões de amido e de bentonita, além de alguns tipos de sóis. No entanto, esse tipo de comportamento não é muito comum em alimentos (TONELI; MURR; PARK, 2005).

O efeito da histerese (Figura 10) foi observado em todas as temperaturas. Sato e Cunha (2007) também ressaltou o efeito em seu trabalho com polpa de jabuticaba.



**Figura 10.** Histerese para suco de abacaxi com yacon à 30 °C.

Esta redução da tensão com o tempo de cisalhamento, indicado pela histerese entre as curvas da subida e descida, é um indício de que o suco de abacaxi com yacon apresenta comportamento tixotrópico. Nas maiores temperaturas a área formada pelas curvas foi menor o que indica que aumentando-se a temperatura a tixotropia do produto diminuiu, resultado apresentado por Sato e Cunha (2007) em polpa de jabuticada, Branco e Gasparetto (2003) em suco de laranja concentrado congelado.

## 6. CONCLUSÕES

Os três modelos avaliados apresentaram altos coeficientes de determinação ( $R^2 \geq 0,99$ ), indicando que qualquer um deles pode ser utilizado para descrever o comportamento reológico do suco em estudo. O modelo de Ostwald-de-Waele seria o mais indicado por bastante utilizado para descrever o comportamento reológico de sucos e néctares. Além disso, a tensão de cisalhamento limite para que o fluido comece a escoar é menor que 1 Pa, demonstrando comportamento mais adequado à fluido pseudoplástico que comportamento de plástico de Bingham.

Avaliando o comportamento de histerese, pudemos observar comportamento tixotrópico do suco avaliado.

A modelagem do comportamento reológico do suco de abacaxi com yacon mostrou que o fluido é não-newtoniano, e que este possui características pseudoplásticas. O efeito da temperatura foi significativo de tal forma que a viscosidade diminuiu com o aumento da temperatura.

## 7. REFERÊNCIAS

- ABIR- Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas não Alcoólicas, 2013 in:<<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/Como-montar-uma-casa-de-sucos>> acesso em 30 maio de 2015.
- ASHLEY, L. G.; WIBUR, W. W.; GARY, L.; RANDALL, G. C. Characterization of concentrated orange juice. **Food Hydrocolloids**, vol. 42, pp. 28-32, 2015.
- BALISCHI, L.; PEREIRA, N. C.; LIMA, O. C. M.; BARROS, S. T. D.; DAMASCENO, J. W.; MENDES, E. S. Influência do tratamento enzimático sobre as características reológicas e microscópicas da polpa de acerola. **Acta Scientiarum**, Maringá v. 24, n. 6, 2002.
- BARBATO, C. N. Estudo reológico de suspensão de bauxita. 152 p. **Tese (Doutorado em Ciências)** – Setor de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- BEZERRA, C. V.; SILVA, L. H. M.; COSTA, R. D. S.; MATTIETTO, R. A.; RODRIGUEZ, A. M. C. Comportamento reológico de suco misto elaborado com frutas tropicais. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas v. 16, n. 2, abril/junho, 2013.
- BRANCO, I. G.; GASPARETTO, C.A. Comportamento reológico de suco de laranja concentrado congelado. **Revista brasileira de produtos agroindustriais**. Campina Grande v. 2, n. 173 – 178, 2003
- BRASIL. Leis, Decretos, etc. Instrução Normativa nº 12, de 4 setembro 2003, do Ministério da Agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, 9 de setembro de 2003. [Aprova os Regulamentos Técnicos para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpas e sucos de frutas e néctar].
- CABRAL, M. F. P.; QUEIROZ, A. J. M; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) peneirada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, 2002.
- CARIZZO, A. Proposta para integrar o sistema de gestão da qualidade, das boas práticas de fabricação e da APPCC em uma pequena empresa de frutas. 146 p.



**Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)** – Setor de Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

CASTRO, A. L. Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho. 334 p. **Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais)** – Setor Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CHIN, N.L.; CHAN, S.M.; YUSOF, Y.A.; CHUAH, T.G.; TALIB, R.A. Modelling of rheological behaviour of pummelo juice concentrates using master-curve, **Journal of Food Engineering**, v. 93, p. 134–140, 2009.

CUNHA, G. A. P. da Equipe Técnica de Abacaxi comemora 30 anos de atividades e realizações. **Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**, 2007.

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, 2007.

EARLE, R.L. **Unit Operations in Food Processing**, 2 ed. Pergamon Press, London, 1985.

FAO. **Agricultural Production Domain** <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 1 junho 2015.

FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; GUEDES, D. B.; MOACIR, M. R., PINTO, R. Propriedades reológicas de sucos mistos de manga, goiaba e acerola adicionados de fitoquímicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas v. 16, n. 1, janeiro/março, 2013.

FILHO, P. F., PAULA, S. **BNDES – 50 Anos. Histórias Setoriais: A Agroindústria**. 2002. <

[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro\\_setorial/setorial05.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro_setorial/setorial05.pdf)> Acesso em: 2 de junho de 2015.

GRANADA, G. G.; ZAMBIAZI, R. C.; MENDONÇA, C. R. B. Abacaxi: produção, mercado e subprodutos. **B. CEPPA**, Curitiba, v. 22 n. 2, julho/dezembro, 2004.

GRANJEIRO, A. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F.; MATA, M. E. R. M. C. Viscosidade de polpas concentradas de figo-da-Índia. **Revista Brasileira de Agrociências**, Pelotas, v. 13, n. 2, abril/junho, 2007.

HASSAN, B. H.; HOBANI, A. I. Flow properties of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 35, n. 4, 1998.

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

HOLDSWORTH, S. D. Rheological models used for the prediction of the flow properties of food products: a literature review. **Transaction of Institute of Chemical Engineering**, London, v. 71, part C, p. 139-179, 1993

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Culturas temporárias e permanentes 2011**. Prod. agric. munic., Rio de Janeiro, v. 38, p.1-97, 2011

KARWOWSKI, M. S. M. Estudo da estabilidade, comportamento reológico e dos compostos fenólicos de frutas da Mata Atlântica. 88 p. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)** – Setor de Tecnologia, Universidade Federal de Curitiba, 2012).

KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; TRONCOSO, A. M.; MANCINI-FILHO, J. FETT, R. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante em pulpa de frutos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25 n. 1, outubro/dezembro, 2005.

LAGO, C. C.; BERNSTEIN, A., BRANDELLI, A. Estudo do comportamento reológico, da atividade de água e do ponto de início de congelamento do suco de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) a diferentes concentrações. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas v. 14, n. 1, janeiro/março, 2011.

LEONE, R. S. Estudo do processo de incorporação de *Lactobacillus casei* LC-01 em yacon (*Smallanthus sonchifolius*) desidratado em flocos. **Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos)** – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

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

NINDO, C.I.; TANG, J.; POWERS, J.R.; SINGH, P. Viscosity of blueberry and raspberry juices for processing applications. **Journal of Food Engineering**, v. 69, p. 343–350, 2005.

PELEGRINE, D. H. Comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi. 115 p. **Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos)** – FEA, UNICAMP, Campinas, 1999.

PELEGRINE, D. H.; SILVA, F. C.; GASPARETO, C. A. Rheological Behavior of pineapple and mango pulps. **Elsevier Science Ltd.** v. 35, n. 8, 2002.

PELEGRINE, D. H.; VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETO, C. A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, abril, 2000.

PINHEIRO, A. M.; FERNANDES, A. G.; FAI, A. E. C., PRADO; G. M., SOUSA, P. H. M, MAIA, G. A. Avaliação química, físico-química e microbiológica de sucos de frutas integrais: abacaxi, caju e maracujá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas v. 26, n. 1, janeiro/março, 2006.

QUEIROZ, A. J. M.; BEZERRA, J. R. M. V.; GASPARETTO, C. A. Armazenamento e processamento de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, 2000.

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

ROGÉRIO, M. C. P.; BORGES, I.; NEIVA, J. N. M.; RODRIGUEZ, N. M.; PIMENTEL, J. C. M.; MARTINS, G. A.; RIBEIRO, T. R.; COSTA, J. B.; SANTOS, S. F.; CARVALHO, F. C. Valor nutritivo do resíduo da indústria processadora de abacaxi (*Ananas comosus L.*) em dietas para ovinos. 1. Consumo, digestibilidade aparente e balanços energético e nitrogenado. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. Fortaleza, v. 59, n. 3, 2007.

SAMPAIO, L. C.; NASCIMENTO, C. R. Propriedades reológicas da polpa de bauxita – I. estudo da influência da concentração e da distribuição granulométrica. In: XIV Jornada de Iniciação Científica – CETEM, Rio de Janeiro, 2006. **Anais do XIV JIC**, Rio de Janeiro: CETEM, 2006.

SANTANA, I.; CARDOSO, M. H. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, maio/junho, 2008.

SATO, A. C. K.; CUNHA, R. S. Influência da temperatura no comportamento reológico da polpa de jaboticaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas v. 27, n. 4, outubro/dezembro, 2007

SILVA, F. C.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C. A. Reologia em suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas v. 25, n. 1, janeiro/março, 2005.

SOUZA, D. Estudo das propriedades físicas de polpas e néctares de pequenos frutos. 191 p. **Teses (Mestrado em Engenharia de Química)** – Setor de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

STEFFE, J. F. **Rheological Methods in food process engineering**. Michigan: Freeman Press, 2. ed., 1996.

SUGAI, A. Y.; TADINI, C. C.; TRIBESS, T. B. Influência da temperatura do tratamento térmico sobre os parâmetros reológicos do purê de manga (*Mangifera indica* L.) variedade Haden. In: XVIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2002, Porto Alegre, RS. **Anais do XVIII CBCTA**. Porto Alegre: SBCTA, 2002.

TEIXIERA, J. T. Elaboração de apresuntado formulado com farinha e extrato de yacon (*Smallanthus sonchifolius*). 115 p. **Tese (Mestrado em Ciência dos Alimentos)** – Setor Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

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

VANDERSEN, S. Caracterização físico-química e comportamento reológico de sucos de cenoura e laranja e suas misturas. 134 p. **Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos)** – Setor Tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

VENTURINI FILHO, W. G. (Coord). **Tecnologia de bebidas: matéria prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado**. São Paulo, SP: E. Blücher, 550 p, 2005.

VIDAL, J. R. M. B.; SIERAKOWSKI, M. R.; HAMINIUK, C. W. I.; MASSON, M. L. Propriedades reológicas da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) centrifugada. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 30, n. 5, setembro/outubro, 2006.

VILHENA, S. M. C.; CÂMARA, F. L. A.; KAKIHARA, S. O cultivo de yacon no Brasil. **Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 1, março, 2000.