

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS CAMPO MOURÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS  
CURSO ENGENHARIA DE ALIMENTOS

KAMILA DE CÁSSIA SPACKI

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE SUCO DE ABACAXI  
ADICIONADO DE YACON, VITAMINA C E GOMA XANTANA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2015

KAMILA DE CÁSSIA SPACKI

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE SUCO DE ABACAXI  
ADICIONADO DE YACON, VITAMINA C E GOMA XANTANA**

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

Orientadora: Prof. Dra. Roberta de Souza Leone

CAMPO MOURÃO  
2015



---

---

## TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE SUCO DE ABACAXI  
ADICIONADO DE YACON, VITAMINA C E GOMA XANTANA

POR

KAMILA DE CÁSSIA SPACKI

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado em 27 de novembro de 2015 às 17h00 como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. O (A) candidato (a) foi arguido (a) 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  
Orientadora

---

Profa. 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.

*Dedico*

*Aos meus avós paternos e maternos,  
Brunislau e Lucia, Cesar e Delujana,  
‘In Memoriam’, que sempre foram  
exemplo de caráter e dignidade.*

*Obrigada pela existência de meus pais,  
sem o apoio e incentivo deles este  
trabalho e muitos dos meus sonhos não  
se realizariam.*

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por proporcionar essa conquista e a realização de meus sonhos.

Dedico especial agradecimento aos meus pais, Marcia e Marcos, e meu irmão Brunislau, sem vocês nada disso seria possível. Sou grata pelo carinho e apoio, pois vocês não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida. Mãe, em vários momentos, seu cuidado e dedicação me deram esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinha nessa caminhada. Bru, por mais difícil que fossem as circunstâncias de maneira carinhosa e especial você se fazia presente. Amo vocês!

Meu sincero agradecimento à minha Orientadora Prof<sup>a</sup>. Dra. Roberta de Souza Leone, pelo convívio, confiança, compreensão, amizade, paciência, incentivo e competência com que me acompanhou tornando possível a conclusão deste trabalho.

Aos membros pertencentes à banca examinadora, Prof<sup>a</sup>. Dra. Angela Maria Gozzo e Prof. Dr. Bogdan Demczuk Junior, pelas críticas, correções, sugestões e ajuda na realização deste trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e ao Departamento Acadêmico de Alimentos pela oportunidade de realizar o curso de Engenharia de Alimentos.

A todos os Professores que me acompanharam durante a graduação, que desempenharam com dedicação as aulas ministradas e foram tão importantes na minha vida acadêmica.

Às minhas amigas Isabela, Jéssica e Luana, pela amizade cultivada desde o início da faculdade, que ouviram meus desabafos e que me acompanharam dividindo as suas companhias, seus sorrisos e suas palavras. Amigas inesquecíveis, amo vocês!

Obrigada Ketlyn por contribuir com este trabalho, pelas informações e conhecimentos compartilhados, pelos momentos que passamos juntas nesta etapa tão importante de nossas vidas. Sua amizade é muito especial.

Às minhas amigas do grupo “Meninas que Oram” (Fernanda, Francini, Priscylla, Greicy e Thayse), muito obrigada pelo convívio, amizade, carinho,

orações e conversas. Vocês se fizeram essenciais na minha vida e estarão sempre em meu coração!

Meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma doaram um pouco de si para que a conclusão deste trabalho se tornasse possível.

Por fim, a todos aqueles que de alguma maneira estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

Muito Obrigada!

## RESUMO

SPACKI, K. C. **Avaliação das propriedades reológicas de suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana.** 2015. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

O abacaxi é uma fruta de aroma, sabor característico e exuberante aparência. O suco de abacaxi é um líquido límpido ou turvo extraído do abacaxi através de processos tecnológicos mantendo suas características sensoriais. O yacon é um tubérculo de origem andina que possui os frutanos como carboidratos de reserva, atuando como fibras solúveis, apresenta sabor adocicado sendo utilizado para desenvolvimento de novos produtos como substituto do açúcar. Produtos de origem vegetal tem maior facilidade de degradação, essa falha pode ser corrigida através da adição de vitamina C, aumentando a vida útil do produto. A goma xantana atua na viscosidade do suco, melhorando as propriedades reológicas. Este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento reológico do suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana na faixa de temperatura de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C e analisar os parâmetros reológicos a partir dos modelos matemáticos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Herschel-Buckley, Casson e Bingham. Para a produção do suco foi realizada a extração de polpa de yacon, seguindo processos de higienização, branqueamento, pasteurização (90 °C/1min) e armazenamento. As análises reológicas foram realizadas utilizando spindle SC4-31 com valores de taxa de deformação variando de 0 a 85 s<sup>-1</sup>. O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente do suco foi descrito mediante a equação de Arrhenius, o valor de energia de ativação encontrado foi de 8,839 kJ.mol<sup>-1</sup>, o que indica que a temperatura tem menor influência no suco estudado. O suco apresentou comportamento não newtoniano e caráter pseudoplástico para as temperaturas estudadas, e os melhores ajustes foram para os modelos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) e Herschel-Buckley.

**Palavras-chave:** *Ananas comosus*, *Smallanthus sonchifolius*, Suco de abacaxi, Goma xantana, Reologia.

## ABSTRACT

SPACKI, K. C. **Evaluation of the rheological properties of pineapple juice added yacon, vitamin C and xanthan gum.** 2015. 54p. Term paper (Food Engineering), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

The pineapple is a fruit of flavor, characteristic taste and lush appearance. Pineapple juice is a clear or cloudy liquid extracted through rheological processes, keeping its sensory characteristics. Yacon is a tuber with andine origin, possessing fructans as reserve carbohydrates, acting as soluble fibers, it presents a sweetish taste, being used to develop new products as replacements for sugar. Vegetable origin products have a greater degrading rate, and that flaw can be corrected through the addition of vitamin C, heightening the product lifespan. The xanthan gum acts in the juice's viscosity, improving the rheological properties. This work aimed to study the rheological behavior of pineapple juice added yacon, vitamin C and xanthan gum in the temperature range of 10, 20, 30, 40, 50 and 60°C and analyze the rheological parameters from Ostwald-de-Waele (Potency Law), Herschel-Buckley, Casson and Bingham mathematical models. For the juice production, it was realized the extraction of yacon pulp, following the cleaning process, bleaching, pasteurization (90°C/1min) and storage. The rheological analyzes were realized using the spindle SC4-31 with a deformation tax rate varying from 0 to 85 s<sup>-1</sup>. The temperature effect on the juice's apparent viscosity was described by the Arrhenius equation, the activation energy value found was 8,839 kJ.mol<sup>-1</sup>, which indicates that the temperature have a minor influence on the studied juice. The juice presented a Non-Newtonian behavior and a pseudo-plastic character for all the studied temperatures, therefore, Ostwald-de-Waele (Potency Law) and Herschel-Buckley models were the ones that better adjusted to the rheological data.

**Key-words:** *Ananas comosus*, *Smallanthus sonchifolius*, Pineapple juice, Xanthan gum, Rheology.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cultivar de Abacaxi..	18
Figura 2. Raiz de Yacon <i>in natura</i> .	20
Figura 3. Curva de fluxo e de viscosidade de um fluido Newtoniano.	23
Figura 4. Classificação dos tipos de fluidos segundo comportamento reológico..	25
Figura 5. Curva de escoamento para vários tipos de fluidos independentes do tempo.	26
Figura 6. Reograma típico dos fluidos dependentes do tempo.	27
Figura 7. Fluxograma da produção de polpa de yacon..	30
Figura 8. Curvas de fluxo em diferentes temperaturas para suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana.	34
Figura 9. Curvas de Viscosidade aparente para suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana .	38
Figura 10. Efeito da temperatura na Viscosidade aparente de suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana ajustado pela Equação de Arrhenius.	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites máximos e mínimos da composição do Suco de Abacaxi. ..	19
Tabela 2. Modelos reológicos utilizados.....	28
Tabela 3. Formulação de Suco de Abacaxi adicionado de polpa de Yacon.....	31
Tabela 4. Parâmetros reológicos do modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) para suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana. ....	34
Tabela 5. Parâmetros reológicos do modelo de Herschel-Buckley para suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana.....	35
Tabela 6. Parâmetros reológicos do modelo de Casson para suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana. ....	35
Tabela 7. Parâmetros reológicos do modelo de Bingham para suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana. ....	36

## NOMENCLATURA

$E_a$  – Energia de ativação ( $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )

$K$  – Índice de consistência para Ostwald-de-Waele ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ );

$K_B$  – Índice de consistência para Bingham ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ );

$K_H$  – Índice de consistência para Herschel-Buckley ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ );

$K_{0C}$  – Tensão inicial (Pa);

$K_C$  – Índice de consistência ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^{0,5}$ )

$R$  – Constante dos gases ( $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )

$T$  – Temperatura (K)

$\chi^2$  – Qui-quadrado

## LETRAS GREGAS

$n$  – Índice de comportamento (adimensional)

$n$  – Índice de comportamento do fluido para Ostwald-de-Waele (adimensional)

$n_H$  – Índice de comportamento do fluido para Ostwald-de-Waele (adimensional)

$\eta_{ap}$  – Viscosidade aparente (Pa.s)

$\eta_0$  – Viscosidade de referência (Pa.s)

$\tau$  – Tensão de cisalhamento (Pa)

$\tau_0$  – Tensão residual (Pa)

$\mu$  – Viscosidade absoluta (Pa.s)

$\dot{\gamma}$  – Taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
3.1	CARACTERÍSTICAS DO ABACAXI.....	17
3.2	SUCO DE ABACAXI .....	19
3.3	CARACTERÍSTICAS DO YACON.....	19
3.4	ADITIVOS .....	20
3.4.1	Goma Xantana.....	21
3.4.2	Vitamina C.....	21
3.5	REOLOGIA .....	22
3.5.1	Classificação Reológica dos Fluidos .....	23
3.5.1.1	Fluidos Newtonianos .....	23
3.5.1.2	Fluidos Não Newtonianos.....	24
3.5.2	Modelos Reológicos.....	27
3.6	EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE A VISCOSIDADE .....	28
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>30</b>
4.1	OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	30
4.2	PRODUÇÃO DO SUCO DE ABACAXI COM POLPA DE YACON .....	30
4.3	ANÁLISES REOLÓGICAS .....	32
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>33</b>
5.1	ANÁLISES REOLÓGICAS .....	33
5.2	EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE A VISCOSIDADE .....	38

5.3	EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE OS PARÂMETROS REOLÓGICOS.....	39
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O mercado de frutas e hortaliças aumentou significativamente devido a praticidade, que atualmente tem sido o foco principal do consumidor (NASCIMENTO *et al.*, 2014). Com a globalização da indústria de alimentos, a oferta por sucos de qualidade e variedades tem expandido visivelmente. A tendência mundial por consumo de alimentos saudáveis que ofereçam saúde, conveniência, inovação, sabor e prazer favorece o crescimento do mercado de bebidas como os sucos e os néctares de frutas (PIRILLO; SABIO, 2009).

O abacaxi (*Ananas comosus*), fruto símbolo de regiões tropicais e subtropicais, expandiu para o mundo em razão de seu aroma, sabor característico e exuberante aparência. O Brasil é o 3º maior produtor mundial de frutas, no entanto, apenas cinco frutas – banana, laranja, maçã, abacaxi e uva – representam 67,4% do mercado (CRESTANI *et al.*, 2010; RODRIGUES, 2015).

O suco de abacaxi pode ser definido como um líquido límpido ou turvo extraído do abacaxi através do processo tecnológico adequado, não fermentado, de cor, aroma e sabor característicos, submetido a tratamento que assegure a sua apresentação e conservação até o momento do consumo (BRASIL, 2003).

A maior parte dos alimentos de origem vegetal se deteriora com facilidade, perdendo a qualidade e diminuindo a vida útil (MELLO; SOARES; GONÇALVES, 2005). Para evitar a ação do tempo nos alimentos, as indústrias se valem de agentes que preservam a integridade do produto, aumentando a sua validade (PEREIRA, 2008).

O ácido ascórbico (Vitamina C) é o principal antioxidante usado em frutos, hortaliças e seus sucos, para prevenir escurecimento e outras reações oxidativas, além de possuir função nutricional, o que torna o ácido ascórbico um dos compostos mais utilizados na indústria alimentícia (PRÉSTAMO; MANZANO, 1993; WILEY, 1994; PEREIRA, 2008).

A goma xantana é um aditivo bastante utilizado na indústria como estabilizante e espessante devido a sua alta viscosidade mesmo em baixas concentrações, alta pseudoplasticidade e estabilidade da viscosidade na presença de sais a diferentes temperaturas (ROSALAM; ENGLAND, 2006).

Destaca-se por sua boa solubilidade tanto em água fria como em água quente, elevada viscosidade e resistência a valores baixos de pH (OLIVEIRA *et al.*, 2010). A utilização de gomas apropriadas visa melhorar as características reológicas e amenizar os problemas inerentes à redução de sólidos no produto (LOBO; SILVA, 2003; VELDE *et al.*, 2003).

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*), conhecido pelo seu conteúdo de componentes prebióticos, inulina e frutoligossacarídeos, é uma raiz de origem andina, que nos últimos anos tem sido cultivada no Brasil. Têm como carboidrato de reserva os frutanos, substâncias que atuam como fibras solúveis, além de outras funções fisiológicas (ALBUQUERQUE; ROLIM, 2011).

Suas raízes são semelhantes à batata doce em aparência, possuem gosto doce e polpa crocante, sendo bastante consumida na forma *in natura*. (SANTANA; CARDOSO, 2008; GIBSON; ROBERFROID, 1995). Apresentam sabor adocicado permitindo que esta raiz seja utilizada em preparações doces, sem que haja a necessidade da adição de sacarose (MOSCATTO; PRUDÊNCIO-FERREIRA; HAULY, 2004). Os frutanos presentes no yacon não necessitam de insulina para seu metabolismo, sendo um dos fatores que justificam o desenvolvimento de novos produtos utilizando o yacon como alternativa de substituição ao açúcar (ALBUQUERQUE; ROLIM, 2011).

A avaliação do índice de comportamento dos fluidos é de fundamental importância na reologia de alimentos, pois, a partir desse parâmetro, é possível classificar o tipo de fluido e, conseqüentemente, prever seu comportamento frente às diferentes operações unitárias presentes na indústria (SILVA *et al.*, 2013).

O conhecimento do comportamento reológico de polpas e sucos de frutas é muito importante e está relacionada em várias etapas da industrialização dos alimentos, entre elas: engenharia de processo, controle de qualidade, avaliação sensorial e estrutura dos alimentos (RAMOS, 1997). A viscosidade aparente dos sucos e polpas de frutas é influenciada por fatores, como a quantidade de sólidos solúveis e insolúveis, a distribuição do tamanho de partículas, o formato das partículas e as variáveis de processo (temperatura, pressão, entre outros). Em função de seu comportamento reológico viscoso, os fluidos podem ser classificados em newtonianos e não newtonianos. (FERREIRA *et al.*, 2005).



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar as propriedades reológicas do suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir a polpa de yacon;
- Produzir suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana;
- Estudar o comportamento reológico do suco, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C;
- Analisar os parâmetros reológicos a partir dos modelos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Casson, Bingham e Herschel-Buckley;
- Avaliar a influência da temperatura na viscosidade do suco utilizando a equação de Arrhenius.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DO ABACAXI

O abacaxi apresenta-se tanto para consumo ao natural quanto para processo industrial em suas mais diversas formas: pedaços em calda, sucos, pedaços cristalizados, geleia, licor, vinho, vinagre e aguardente (RIBEIRO, 2015). É uma fruta tropical de aroma e sabor muito apreciados, sendo utilizado na indústria alimentícia, principalmente na produção de sucos e néctares (CABRAL *et al.*, 2006).

É uma fruta cujo valor nutritivo se resume ao seu valor energético, devido a sua composição de açúcares. Os teores de proteína e de matéria graxa são inferiores a 0,5%, sua contribuição como fonte de vitamina C é pequena e não apresenta, praticamente, nenhum outro nutriente em quantidade significativa. Quanto à composição química, apresenta sólidos solúveis totais variando de 10,8 a 17,5 °Brix e acidez total titulável de 0,6 a 1,62% (expresso em ácido cítrico) (ITAL, 1987).

Segundo Almeida *et al.* (2004), o abacaxi tem sido a fruta não cítrica mais popular nos países tropicais e subtropicais, principalmente pelo seu atrativo sabor e aroma, contendo uma grande diversidade de vitaminas e sais minerais. A composição química do abacaxi depende do estágio de maturação e de fatores agrônômicos e ambientais. A produção de abacaxi no Brasil (Figura 1) ocorre no período de verão, o que acarreta em frutas com maior teor de açúcares e menor acidez (COUTO, 2008).



**Figura 1.** Cultivar de Abacaxi.

**Fonte:** Incaper (2010).

A produção de frutas é considerada uma das atividades mais dinâmicas da economia brasileira, apresentando uma evolução contínua. Atende o mercado interno e vem ganhando espaço no mercado internacional, aumentando assim o volume de exportações (GUIMARÃES, 2015). O estado do Pará tem destaque nacional na cultura com maior produção de frutos do país, ultrapassando em 2014, a marca de 90 mil toneladas do fruto, atividade que movimentou no estado mais de R\$110 milhões nos últimos cinco anos. No ano de 2014, o estado do Pará atingiu U\$3,8 milhões com exportação de suco de abacaxi (EMBRAPA, 2015).

Na escolha da variedade, deve-se levar em conta o destino da produção (consumo “in natura” ou indústria). As cultivares mais conhecidas no Brasil são: Pérola ou Branco de Pernambuco, Smooth Cayenne (também conhecido como abacaxi havaí ou havaiano), Perolera e Primavera (EMBRAPA, 2005).

Devido o aumento da produção de abacaxi e ao aumento das exigências à qualidade por parte do mercado consumidor e até mesmo das indústrias, os produtos devem elevar o padrão de qualidade, para garantir uma boa comercialização (PEREIRA *et al.*, 2009).

### 3.2 SUCO DE ABACAXI

A produção de sucos de frutas processadas apresenta potencial de crescimento no Brasil, sendo uma alternativa de agregação de valor à matéria-prima, além de reduzir perdas pós-colheita. A qualidade desses sucos está relacionada, além de outras características, às suas propriedades físico-químicas, sendo necessária sua adequação aos padrões vigentes no país (FERREIRA *et al.*, 2014).

Segundo a legislação brasileira (BRASIL, 2003), o suco de abacaxi deve apresentar características de odor e sabor próprio da fruta apresentando coloração que pode variar do branco ao marfim. De acordo com Couto (2008), o suco de abacaxi fresco é caracterizado por conter alto teor de polpa, ácidos orgânicos (em sua maioria, ácido cítrico e ácido málico), potássio, magnésio, cálcio, vitamina C e compostos voláteis responsáveis pelo aroma característico.

A Instrução Normativa Nº 12 de 4 de setembro, (BRASIL, 2003), determina que o Suco Tropical de Abacaxi deve obedecer à composição apresentada na Tabela 1:

**Tabela 1.** Limites máximos e mínimos da composição do Suco de Abacaxi.

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

FONTE: BRASIL, 2003.

### 3.3 CARACTERÍSTICAS DO YACON

O yacon apresentado na Figura 2, é um tubérculo de origem andina, vem sendo cada vez mais aplicado na tecnologia de alimentos, em virtude de suas propriedades funcionais, por ser fonte de inulina e frutoligossacarídeos (FOS), considerados auxiliares do bom funcionamento do intestino humano (ROLIM *et al.*, 2010).



**Figura 2.** Raiz de Yacon *in natura*.

**Fonte:** Santiago (2014).

Os frutanos presentes no yacon não necessitam de insulina para seu metabolismo, um dos fatores que justifica o desenvolvimento de novos produtos utilizando yacon como alternativa de substituição de açúcar (ALBUQUERQUE; ROLIM, 2011). Na forma de bebida, suco ou néctar, o yacon é de fácil comercialização e consumo, podendo ser incorporado à dieta dos diabéticos e da população em geral (SILVA, 2007). A inulina e os frutoligossacarídeos (FOS) em sua composição promovem benefícios à saúde, como melhoria na absorção de minerais e redução dos níveis de triglicerídeos e colesterol. Além disso, pela presença dos frutanos, ele pode atuar como edulcorante, encorpar o produto e manter o sabor do suco original (SILVA *et al.*, 2011; CALÇARÃO, 2012).

### 3.4 ADITIVOS

Conservantes são substâncias que, adicionadas a um determinado alimento, impedem ou retardam alterações provocadas pela ação de microrganismos, enzimas e/ou agentes físicos. Essas alterações dependem de fatores como, o tipo do produto, a composição, formulação, embalagem e condição de estocagem do alimento (TONETTO *et al.*, 2008; MELLO; SOARES; GONÇALVES, 2005).

A indústria alimentícia passou a utilizar um grande número de aditivos nos alimentos para melhorar as condições de armazenamento, oferecer alimentos seguros e quimicamente estáveis, de maior durabilidade, atendendo

às expectativas do mercado consumidor (TONETTO *et al.*, 2008; REZENDE; NASCIMENTO; PIOCHON, 2008).

#### 3.4.1 Goma Xantana

Define-se estabilizante como uma substância que favorece e mantém as características físicas de emulsão e suspensão (SIMÃO, 1986). Os estabilizantes evitam que com o tempo os ingredientes se separem em diferentes fases, onde atuam promovendo uma interação homogênea dos ingredientes (VALSECHI, 2001).

As gomas são compostos poliméricos que, quando dissolvidos ou dispersos em água, formam soluções ou dispersões viscosas. Pertencem ao grupo dos hidrocolóides ou seus derivados, os quais possuem ampla aplicação como agentes espessantes e estabilizantes (GRANADA *et al.*, 2005).

São utilizadas como espessantes/estabilizantes em bebidas prontas, conferindo-lhes aumento na consistência e redução de sinérese (MANZANO *et al.*, 2008).

De origem microbiana, a goma xantana é produzida por *Xanthomonas campestris pv. Pruni*, através da fermentação aeróbia. Muito utilizada na indústria de alimentos, devido a sua capacidade de manter uma ampla faixa de temperatura, pH, força iônica e características sensoriais, como textura e brilho, durante o período de estocagem (OLIVEIRA, 2007).

A goma xantana possui várias propriedades em solução, tais como aumento da viscosidade na presença de sais; alta pseudoplasticidade; viscosidade elevada em repouso e baixa sob cisalhamento, como resultados de interações moleculares fracas em concentrações baixas; viscosidade estável em altas temperaturas e em ampla faixa de pH (BRANDÃO; ESPERIDIÃO; DRUZIAN, 2010; RAMÍREZ *et al.*, 2002).

#### 3.4.2 Vitamina C

Segundo a ANVISA, antioxidante é a substância que retarda o aparecimento de alterações oxidativas no alimento. São substâncias que presentes em concentrações baixas, comparadas ao substrato oxidável,

retardam ou inibem a oxidação do substrato (SOUSA *et al.*, 2007). O ácido ascórbico, conhecido genericamente como Vitamina C, é um composto redutor relativamente forte, com forma de cristal branco, é hidrossolúvel e termolábil (DANIELI *et al.*, 2009).

A vitamina C atua como um antioxidante, por estar disponível para uma oxidação energeticamente favorável. Por ser facilmente oxidado pelo ar, este sofre a oxidação em preferência ao alimento, preservando a sua qualidade. Como antioxidante em alimentos, funciona de diversas maneiras: na remoção do oxigênio, prevenindo, a oxidação de constituintes sensíveis do alimento e na regeneração de antioxidantes. Atua sinergisticamente com os agentes complexantes e, ou, na redução de produtos indesejáveis da oxidação (RAMALHO; NEUZA, 2006).

A determinação dessa vitamina em alimentos é importante tanto pelo seu valor nutricional, como pelo fato de ser usada pela indústria de alimentos como um alimento antioxidante. Esta vitamina é oxidada quando exposta por um período prolongado a altas temperaturas, à luz e armazenamento (NASCIMENTO, 2012).

### 3.5 REOLOGIA

Criada em 1928 por Eugene C. Bingham, a reologia é definida como a ciência que estuda a resposta de um material à aplicação de uma tensão ou deformação (CORREA *et al.*, 2005). A reologia é importante em diferentes áreas da ciência dos alimentos. Muitas das propriedades de textura dos alimentos, como cremosidade, suculência, maciez, suavidade e dureza, são relacionadas e, ou, dimensionadas pela reologia (VANDRESSEN, 2007).

O comportamento reológico apresenta o comportamento mecânico dos materiais quando em processo de deformação. Importante nos fenômenos relacionados à transferência de movimento que tem lugar nos processos industriais, as características reológicas são também imprescindíveis na otimização, no controle e nos cálculos do processo. Esses conhecimentos servem, igualmente, para o desenvolvimento de produtos e correlação de parâmetros físicos e sensoriais, além de serem importantes no controle de

qualidade e testes de tempo de armazenamento de produtos (TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

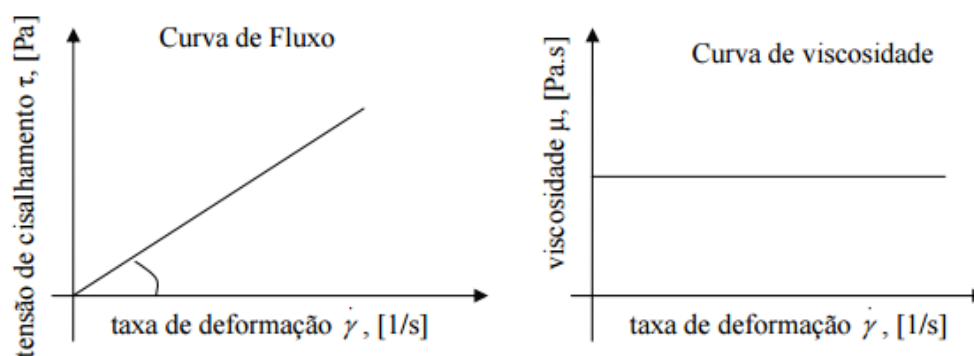
### 3.5.1 Classificação Reológica dos Fluidos

Um fluido define-se como uma substância que se deforma continuamente quando se submete a um esforço constante, sem se importar quão pequeno seja este esforço. A viscosidade é a propriedade do fluido que descreve a magnitude da resistência devido às forças cisalhantes dentro do fluido. De todas as propriedades dos fluidos, a viscosidade requer uma maior atenção no estudo do fluxo de um fluido (STREETER, 1996; SHARMA; MULVANEY; RIZVI, 2000).

Os fluidos são classificados de acordo com o seu comportamento reológico por meio da análise da relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação para condições de temperatura e pressão estabelecidas. Tradicionalmente, o comportamento dos fluidos é dividido em duas categorias: newtonianos e não newtonianos (CONCEIÇÃO, 1989).

#### 3.5.1.1 Fluidos Newtonianos

Os fluidos newtonianos se comportam como fluidos ideais, isto é, os seus componentes não teriam qualquer interação entre si, apresentando uma relação linear entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento, bem como viscosidade independente da taxa de deformação (LAGO, 2010; BOBBIO; BOBBIO, 2001; ALVES, 2003), conforme mostrado na Figura 3.



**Figura 3** – Curva de fluxo e de viscosidade de um fluido Newtoniano.

Fonte: Schramm (2006).



De acordo com Alves (2003), os fluidos Newtonianos são independentes do tempo, apresentam viscosidade constante, mas podem variar com a temperatura e pressão. A Equação 1 é a representação matemática do comportamento reológico dos fluidos newtonianos.

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

onde:

$\tau$  – Tensão de cisalhamento (Pa.s);

$\mu$  – Viscosidade absoluta (Pa.s);

$\dot{\gamma}$  – Taxa de deformação ( $s^{-1}$ ).

### 3.5.1.2 Fluidos Não Newtonianos

Ao contrário dos fluidos newtonianos, os não newtonianos apresentam relação não linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, podendo apresentar dependência do tempo (tixotrópico e reopético) ou dependência apenas do tipo de escoamento (pseudoplástico e dilatante) (LAGO, 2010). Não existem naturalmente fluidos ideais, mas tão somente fluidos cujo comportamento se aproxima do ideal, como é o caso de líquidos puros e soluções diluídas (BOBBIO; BOBBIO, 2001).

Para fluidos não newtonianos o termo viscosidade é substituído por  $\eta_{ap}$  que é a viscosidade aparente, e é função do gradiente de velocidade, conforme mostra a Equação 2 (VIDAL; GASPARETTO; GRANDIN, 2000).

$$\eta_{ap} = \mu(\dot{\gamma})^n \quad (2)$$

onde:

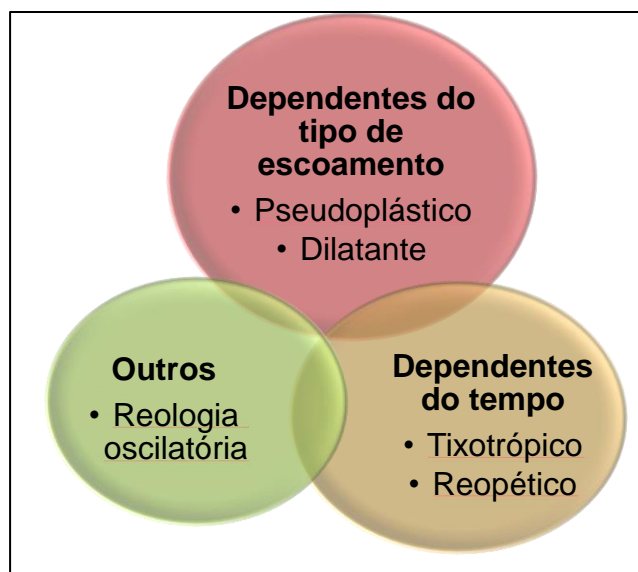
$\eta_{ap}$  – Viscosidade aparente (Pa.s);

$\mu$  – Viscosidade absoluta (Pa.s);

$\dot{\gamma}$  – Taxa de deformação ( $s^{-1}$ );

$n$  – Índice de comportamento ( $n \neq 1$ ).

Os fluidos podem ser classificados em dependentes do tempo e dependentes do tipo de escoamento, conforme a Figura 4:



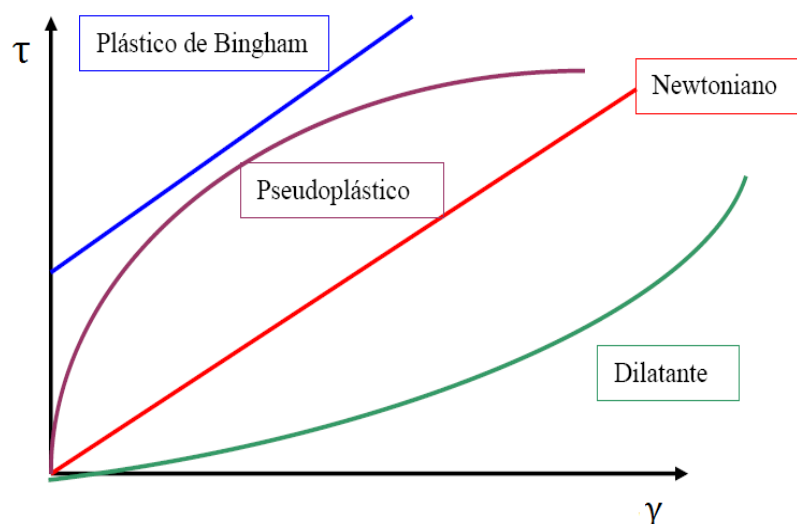
**Figura 4** – Classificação dos tipos de fluidos segundo comportamento reológico.

Fonte: O Autor.

Os fluidos pseudoplásticos representam a maior parte dos fluidos com comportamento não newtoniano. São aqueles classificados pelo comportamento reológico como dependentes do escoamento e que começam a escoar sob a ação de tensões de cisalhamento. Para esse tipo de fluido, observa-se um decréscimo na viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação (VIDAL; GASPARETTO; GRANDIN, 2000). Alguns exemplos de fluidos pseudoplásticos são: sucos de frutas concentrados e pastas de amidos (RHA, 1978).

Segundo Lago (2010), os fluidos dilatantes caracterizam-se por apresentar um aumento na viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação. É encontrado em fluidos que contém uma alta proporção de partículas rígidas e insolúveis em suspensão (BOURNE, 1982).

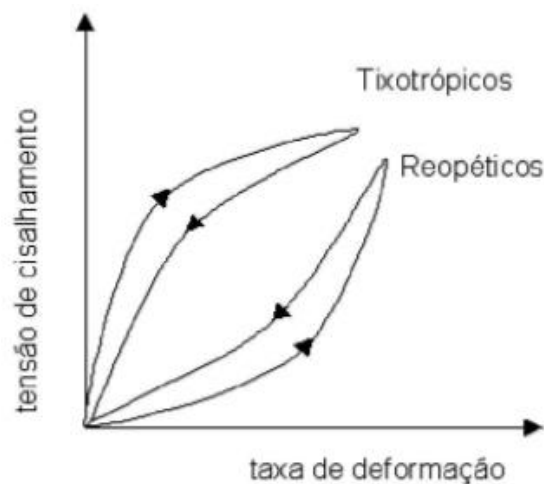
A Figura 5 mostra graficamente o comportamento reológico de fluidos classificados de acordo com o escoamento, relacionando a taxa de deformação com a tensão de cisalhamento.



**Figura 5** – Curva de escoamento para vários tipos de fluidos independentes do tempo.

**Fonte:** Adaptado de Karwowski (2012).

Um indício do comportamento reológico de um fluido dependente do tempo é a observação da chamada curva de histerese. Para que seja possível verificar se o fluido apresenta ou não viscosidade aparente dependente do tempo, deve ser realizado um estudo reológico onde a substância em análise deve ser submetida a aumento na variação de tensão (ida) e, quando essa atingir um valor máximo, ser reduzida até retornar ao valor inicial (volta). Se a substância não apresenta comportamento reológico dependente do tempo, as curvas de tensão versus taxa de deformação obtida (ida e volta) devem ser coincidentes. Entretanto, se a viscosidade aparente muda com o tempo, as curvas de ida e volta não seguem o mesmo caminho, formando uma histerese (TONELI; MURR; PARK, 2005). As curvas típicas dos fluidos dependentes de tempo são ilustradas na Figura 6.



**Figura 6** – Reograma típico dos fluidos dependentes de tempo.

Fonte: Lewis (1993).

Os fluidos tixotrópicos tem diminuição na viscosidade com o tempo de aplicação da tensão de cisalhamento constante. Exemplos desse fluido são gelatinas, cremes, manteigas, molhos para salada, entre outros. (TONELLI; MURR; PARK, 2005).

Em fluidos reopéticos, a viscosidade aparente do fluido aumenta com o tempo sujeito a uma taxa constante de deformação. 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 de neve. Fluidos desse grupo representam um comportamento reológico semelhante ao fluido pseudoplástico, no qual a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação. A diferença desta diminuição não está relacionada somente com essa taxa, mas também com o tempo. A viscosidade aparente e a taxa de deformação diminuem reversivelmente com o tempo de aplicação, quando a temperatura, a composição e a taxa são mantidas constantes (SHARMA; MULVANEY; RIZVI, 2000).

### 3.5.2 Modelos Reológicos

Os modelos reológicos são usados para uma melhor descrição do comportamento dos fluidos, que é feita através de modelos que explicam como

a tensão de cisalhamento varia com a taxa de deformação (TONELI; MURR; PARK, 2005). Isto permite relacionar as propriedades reológicas com outras grandezas, como concentração, temperatura e índice de maturação. O conhecimento destas grandezas é indispensável no controle em linhas de produção, no projeto e dimensionamento dos processos (BRANCO, 1995).

Dentre os modelos existentes, alguns dos mais aplicados para sistemas alimentares são mostrados na Tabela 2: Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Bingham, Herschel-Buckley e Casson.

**Tabela 2.** Modelos reológicos utilizados.

Modelos	Equação
Bingham	$\tau = \tau_0 + K_B(\dot{\gamma})$ (3)
Casson	$\tau^{0,5} = K_{0C} + K_C(\dot{\gamma})^{0,5}$ (4)
Herschel-Buckley	$\tau = \tau_0 + K_H(\dot{\gamma})^{n_H}$ (5)
Ostwald-de-Waele	$\tau = K\dot{\gamma}^n$ (6)

Fonte: OLIVEIRA; ROSSI; BARROS, (2011). SILVA *et al.*(2012);

onde:

$\tau$  – Tensão de cisalhamento (Pa);

$K$  – Índice de consistência para Ostwald-de-Waele (Pa.s<sup>n</sup>);

$\dot{\gamma}$  – Taxa de deformação (s<sup>-1</sup>);

$n$  – Índice de comportamento do fluido para Ostwald-de-Waele (adimensional);

$K_{0C}$  – Tensão inicial (Pa);

$K_C$  – Índice de consistência (Pa.s<sup>0,5</sup>);

$\tau_0$  – Tensão residual (Pa);

$K_B$  – Índice de consistência para Bingham (Pa.s<sup>n</sup>);

$K_H$  – Índice de consistência para Herschel-Buckley (Pa.s<sup>n</sup>);

$n_H$  – Índice de comportamento do fluido para Ostwald-de-Waele (adimensional);

### 3.6 EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE A VISCOSIDADE

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

liquida diminua, aumentando o movimento das partículas em suspensão, causando um decréscimo na viscosidade da polpa (PELEGRINE; VIDAL; GASPARETTO, 2000).

Roudot (2004) diz que a viscosidade de um fluido varia 2% a cada grau Celsius, sendo que em alguns casos como sucos de frutas, o efeito da variação de temperatura segue a equação de Arrhenius exposta na Equação 7.

$$\eta_{ap} = \eta_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (7)$$

onde:

$\eta_{ap}$  – Viscosidade aparente (Pa.s)

$\eta_0$  – Viscosidade de referência (Pa.s)

$E_a$  – Energia de ativação (kJ.mol<sup>-1</sup>)

$R$  – Constante dos gases (8,314.10<sup>-3</sup> J.mol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>)

$T$  – Temperatura (K)

A equação de Arrhenius indica o comportamento da viscosidade aparente em relação à temperatura. A ordem de grandeza da energia de ativação quantifica a dependência da viscosidade com a temperatura, sendo que o aumento da temperatura provoca um efeito de decréscimo da viscosidade (SILVA, 2000).

De acordo com Steffe (1996),  $\eta_0$  e  $E_a$  são determinados através de dados experimentais. O autor ainda relata que quanto maior for o valor da energia de ativação, maior a alteração da viscosidade com a temperatura.

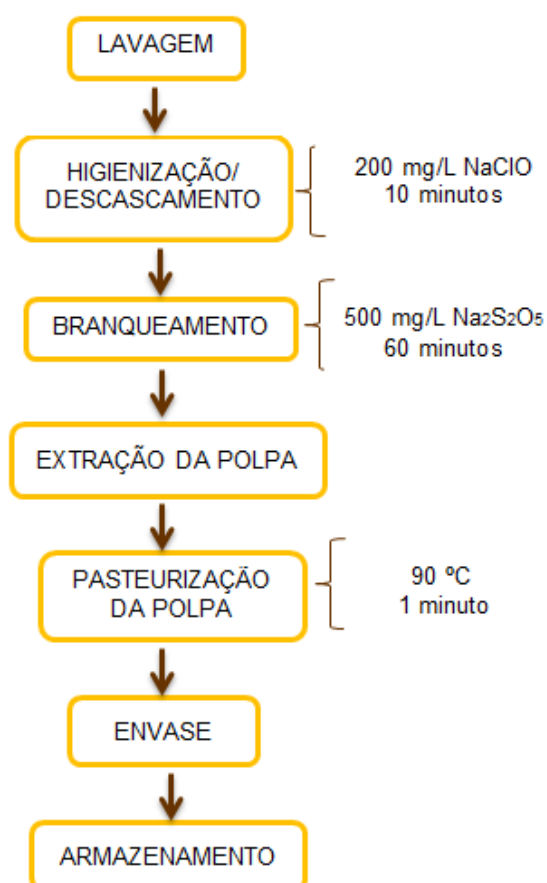
## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

A polpa de abacaxi utilizada na produção do suco da marca Polpa Norte, foi adquirida no comércio de Campo Mourão (PR). A polpa de yacon foi produzida a partir das raízes de adquiridas também no comércio local. A vitamina C e a goma xantana foram fornecidas pelo Departamento de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

### 4.2 PRODUÇÃO DO SUCO DE ABACAXI COM POLPA DE YACON

A produção da polpa de yacon está representada pelo fluxograma da Figura 7.



**Figura 7** – Fluxograma da produção de polpa de yacon.

**Fonte:** O Autor.

As raízes de yacon foram lavadas e higienizadas com hipoclorito de sódio (NaClO) 200 mg/L durante 10 minutos, em seguida, as mesmas passaram pelo processo de descascamento realizado manualmente com descascador de vegetais e cortadas em fatias com espessura aproximada de 5 mm. As fatias passaram por um branqueamento com solução de metabissulfito de sódio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) de 500 mg/L por 1 hora em temperatura ambiente (25 °C) para a inativação de enzimas (LAGO, 2010; LEONE, 2014).

Posterior à etapa do branqueamento, realizou-se a extração da polpa de yacon utilizando uma Centrifuga Juicer Walita, e em seguida mediu-se a quantidade de sólidos solúveis em refratômetro de bancada. A pasteurização foi realizada em temperatura de 90 °C por 1 minuto, logo em seguida a polpa foi envasada em garrafas plásticas (250 mL) higienizadas em água fervente e armazenadas em congelador.

A formulação do suco de abacaxi adicionado de yacon foi escolhida através da análise sensorial realizada pela equipe de pesquisa de um trabalho já desenvolvido. As proporções de abacaxi, yacon, vitamina C e goma xantana estão apresentadas na Tabela 3:

**Tabela 3.** Formulação de Suco de Abacaxi adicionado de polpa de Yacon.  
\*Quantidade para preparar 100 mL de suco.

<b>Formulação de Suco de Abacaxi adicionado de polpa de Yacon</b>	
<b>Ingredientes</b>	<b>Quantidade (%)</b>
Polpa de abacaxi	60,00
Polpa de yacon	8,00
Água	32,00
Vitamina C	0,03/100 mL
Goma xantana	0,20/100 mL

Para o preparo do suco, todos os ingredientes foram homogeneizados, pasteurizados a 90 °C/1 min e em seguida envasados a quente em garrafas plásticas (250 mL) higienizadas. As amostras foram armazenadas em congelador até o início das análises reológicas.



### 4.3 ANÁLISES REOLÓGICAS

O comportamento reológico do suco de abacaxi adicionado de polpa de yacon seguiu a metodologia proposta por Faraoni *et al.*, (2013) com algumas modificações. As medidas reológicas foram realizadas nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C, em reômetro Brookfield modelo DVIII ultra (Brookfield Engineering Laboratories, Massachussets, EUA), utilizando rotor spindle SC4-31 com valores de taxas de deformação variando entre 0 e 85 s<sup>-1</sup>, sendo que essa faixa de taxa de deformação utilizada foi fixada mediante um estudo prévio da sensibilidade do equipamento. Dados como: viscosidade aparente ( $\eta_{ap}$ ), tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) e taxa de deformação ( $\dot{\gamma}$ ) foram obtidos através do software Rheocalc (versão V3.1-1, Brookefield Engineering Laboratories, EUA). A corrida experimental teve duração de 5 segundos para cada ponto da curva. Foi obtido um total de 50 pontos para cada corrida, (25 pontos na subida, 25 pontos na descida), sendo as leituras realizadas em duplicata para cada temperatura.

As curvas de escoamento obtidas para o suco de abacaxi adicionado de polpa de yacon foram ajustadas pelos modelos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Casson, Bingham e Hurschel-Buckley.

O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente e a energia de ativação do suco, foi determinado utilizando a equação de Arrhenius.

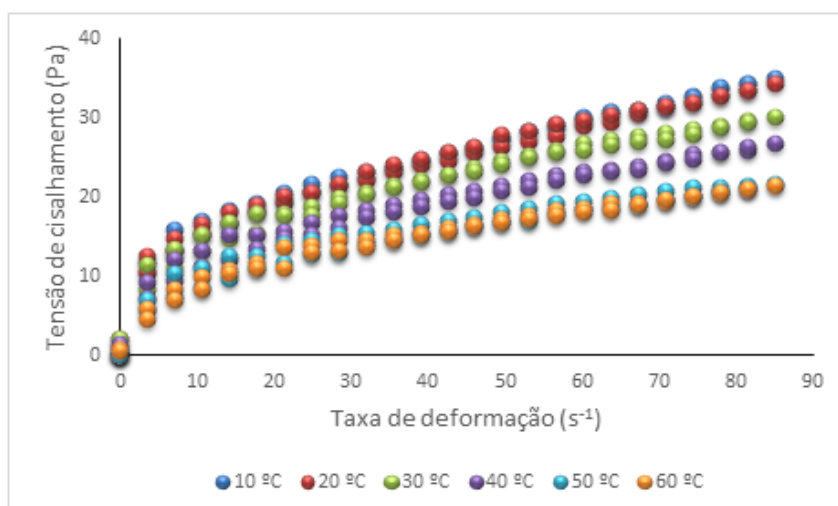
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O suco foi elaborado a partir da formulação apresentada na Tabela 3, e o teor de sólidos solúveis medido foi de 7,0 °Brix. Este valor indica que a formulação atende aos padrões da legislação brasileira, de acordo com Brasil (2003), para sucos de abacaxi não adoçados o teor mínimo de sólidos solúveis permitido é de 6 °Brix.

### 5.1 ANÁLISES REOLÓGICAS

Analisou-se a influência da temperatura entre a relação da tensão de cisalhamento e taxa de deformação, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C, para determinar a curva de escoamento do suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana.

Na Figura 8 é possível observar a curva de escoamento do fluido obtida para o suco na faixa de temperatura estudada, onde a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação apresentam uma relação diretamente proporcional, ou seja, com o aumento da taxa de deformação aplicada observa-se o aumento da tensão de cisalhamento. Porém, quanto mais alta é a taxa de deformação, menor é a sua influência sobre a tensão de cisalhamento, demonstrado pela redução da inclinação da curva de escoamento, conforme encontrado por Silva *et al.* (2012) quando estudaram bebida mista de cajá e manga adicionados de inulina e frutoligossacarídeos (FOS).



**Figura 8** – Curvas de fluxo em diferentes temperaturas para suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana.

O aumento da temperatura causou redução da tensão de cisalhamento para uma dada taxa de deformação. Carneiro *et al.* (2013) observaram o mesmo comportamento em avaliação reológica de néctares de uva. É nítida a não linearidade entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, indicando que o suco estudado apresenta comportamento não newtoniano.

Os parâmetros encontrados pelos modelos matemáticos estão dispostos nas Tabelas abaixo.

**Tabela 4.** Parâmetros reológicos do modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) para suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana.

Lei da Potência				
Temperatura	Índice de consistência ( $K$ )	Índice de comportamento ( $n$ )	Coeficiente de determinação ( $R^2$ )	Qui-quadrado $\chi^2$
10	5,5728	0,4093	0,9963	0,1906
20	6,0155	0,3884	0,9978	0,1063
30	5,0754	0,3979	0,9977	0,0884
40	3,9318	0,4271	0,9973	0,0851
50	3,0367	0,4382	0,9984	0,0347
60	2,9616	0,4431	0,9961	0,0872

**Tabela 5.** Parâmetros reológicos do modelo de Herschel-Buckley para suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana.

<b>Herschel-Buckley</b>					
Temperatura	Tensão residual $\tau_0$	Índice de consistência ( $K_H$ )	Índice de comportamento ( $n_H$ )	Coefficiente de determinação ( $R^2$ )	Qui-quadrado $\chi^2$
10	0,5614	5,2103	0,4211	0,9977	0,1800
20	1,3781	5,1395	0,4151	0,9988	0,0828
30	1,2167	4,3321	0,4247	0,9983	0,0939
40	1,2618	3,1973	0,4635	0,9987	0,0606
50	-0,1622	3,1278	0,4332	0,9988	0,0379
60	-0,1606	3,0579	0,4374	0,9973	0,0862

**Tabela 6.** Parâmetros reológicos do modelo de Casson para suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana.

<b>Casson</b>				
Temperatura	Tensão inicial ( $K_{Oc}$ )	Índice de consistência ( $K_C$ )	Qui-quadrado ( $\chi^2$ )	Coefficiente de regressão ( $R^2$ )
10	2,5800	0,3703	2,0811	0,9719
20	2,6936	0,3526	1,9489	0,9712
30	2,4887	0,3343	1,5389	0,9710
40	2,2022	0,3228	0,8224	0,9809
50	1,9054	0,3047	0,8289	0,9726
60	1,8909	0,3050	0,9195	0,9695

**Tabela 7.** Parâmetros reológicos do modelo de Bingham para suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana.

Temperatura	Bingham			
	Tensão residual ( $\tau_0$ )	Índice de consistência ( $K_B$ )	Coefficiente de regressão ( $R^2$ )	Qui-quadrado ( $\chi^2$ )
10	10,9119	0,3084	0,9115	6,5427
20	11,5399	0,2938	0,9055	6,3872
30	9,9387	0,2604	0,9058	4,9976
40	8,0780	0,2374	0,9276	3,1166
50	6,1993	0,1974	0,9151	2,5643
60	6,1223	0,1969	0,9170	2,6944

A Tabela 4 apresenta os valores dos parâmetros reológicos e estatísticos obtidos pelo modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência). O modelo apresentou bom ajuste para os dados experimentais. Valores como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) apresentaram-se acima de 0,99 confirmados pelos baixos valores de qui-quadrado ( $\chi^2$ ). Para o índice de consistência ( $K$ ), os valores encontrados estão acima de zero, enquanto que os valores para o índice de comportamento do fluido ( $n$ ) variaram entre 0,40927 e 0,44305.

Quando  $n > 1$ , o produto é dito como dilatante e quando  $n < 1$  e  $K > 0$ , o material recebe o nome de pseudoplástico (STEFFE, 1996; MULER, 1977). O caráter pseudoplástico é típico de sucos e polpas de frutas, sendo observado em polpas de acerola, caju, manga e jabuticaba (Sato; Cunha, 2007; SILVA *et al.*, 2012). Portanto, de acordo com a literatura, o suco apresenta comportamento pseudoplástico.

Analisando-se o modelo de Herschel-Buckley (Tabela 5), pode-se verificar que os valores de  $n$  e  $K$  são semelhantes aos valores encontrados no modelo de Ostwald-de-Waele, sendo que a tensão residual foi superior à zero nas temperaturas 20, 30 e 40 °C, apresentando ótimos valores de  $R^2$  (maior que 0,99) e  $\chi^2$  (menor que 1).

Os valores negativos de tensão residual ( $\tau_0$ ) para as temperaturas 50 e 60 °C não apresentam significado físico, perante o modelo de Herschel-

Buckley. Valores negativos de  $\tau_0$  também foram encontrados por Gazola (2014), para o estudo de polpa de pitanga.

Para o ajuste dos dados ao modelo Casson (Tabela 6), observou-se que conforme o aumento da temperatura os valores de tensão inicial ( $K_{0C}$ ) diminuíram, apresentando valores de 2,57997 a 1,89094. O índice de consistência ( $K_C$ ) diminuiu com o aumento da temperatura no suco, bem como para os modelos avaliados anteriormente.

De acordo com os dados obtidos pelo modelo de Bingham (Tabela 7), os valores de  $R^2$  estiveram próximos de 0,91 e o qui-quadrado ( $\chi^2$ ) apresentou valores acima de 1 nas temperaturas 10, 20 e 30°C, ficando abaixo de 1 apenas para as temperaturas mais altas 40, 50 e 60 °C. Este modelo apresentou menores valores para  $R^2$  em relação aos demais modelos matemáticos utilizados neste estudo.

O melhor ajuste aos dados experimentais foi analisado com base no parâmetro  $R^2$ . Quanto menor o valor de  $R^2$ , maior a distância dos pontos experimentais ao modelo ajustado. Portanto, o modelo que melhor se ajusta é aquele com altos valores de  $R^2$  (próximo de 1) (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

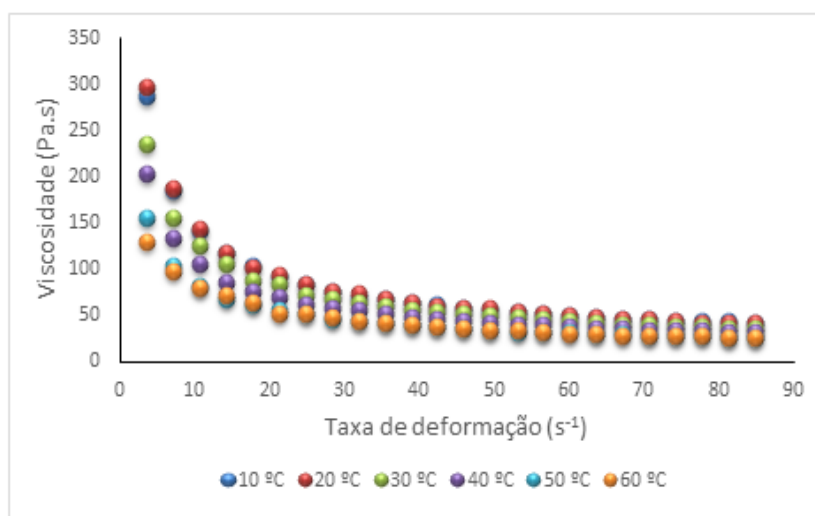
Fazendo uma comparação entre os modelos matemáticos estudados, observamos que os maiores valores para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), e os menores valores para o teste de qui-quadrado ( $\chi^2$ ) foram representados pelos modelos matemáticos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) e Herschel-Buckley, ou seja, ambos os modelos representam satisfatoriamente o comportamento reológico do suco.

Silva *et al.* (2012), analisaram o comportamento reológico de bebidas mistas de cajá e manga adicionadas de inulina e frutoligossacarídeos, e constataram que as amostras apresentaram comportamento não newtoniano com caráter pseudoplástico, sendo o modelo de Herschel-Buckley o que melhor se ajustou para o estudo.

Em outro estudo, Silva *et al.* (2013) analisaram o comportamento reológico de néctares mistos de caju, manga e acerola e concluíram que o modelo matemático que apresentou menor ajuste para o estudo foi de Ostwald-de-Waele.

## 5.2 EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE A VISCOSIDADE

Ao analisar a curva de escoamento na Figura 8, verifica-se que as inclinações das curvas de fluxo diminuem com o aumento da taxa de deformação, indicando que o suco pode apresentar comportamento pseudoplástico, ou seja, a medida que a taxa de deformação aplicada aumenta, ocorre a diminuição da viscosidade aparente.



**Figura 9** – Curvas de Viscosidade aparente para suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana.

Segundo Pelegrine (1999), 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 líquida, aumentando a mobilidade das partículas em suspensão.

O decréscimo na viscosidade aparente pode ser atribuído também ao aumento das distâncias intermoleculares, que ocorrem devido à expansão térmica pelo aumento da temperatura (CONSTENLA; LOZANO; CRAPISTE, 1989).

A redução no valor da viscosidade observada na Figura 9 com o aumento da temperatura confirma o caráter pseudoplástico do suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana. Esta redução no valor da viscosidade também foi observada por Sengül; Ertugay e Sengül (2005),

durante estudos do comportamento reológico de suco concentrado de amora. O suco de abacaxi, estudado por Queiroz; Bezerra e Gasparetto (2000), também apresentou comportamento pseudoplástico, e a viscosidade aparente observada resulta do teor de sólidos presentes. Quanto maior a quantidade de sólidos insolúveis suspensos, maior a viscosidade aparente.

Silva *et al.* (2012) observou as viscosidades aparentes das bebidas mistas de cajá e manga adicionadas de inulina e frutoligossacarídeos (FOS) indicando maior tensão de cisalhamento com o aumento da taxa de deformação. Diante deste comportamento, pode-se dizer que a adição de inulina e FOS é satisfatória para a indústria alimentícia, sendo este resultado semelhante ao observado neste estudo.

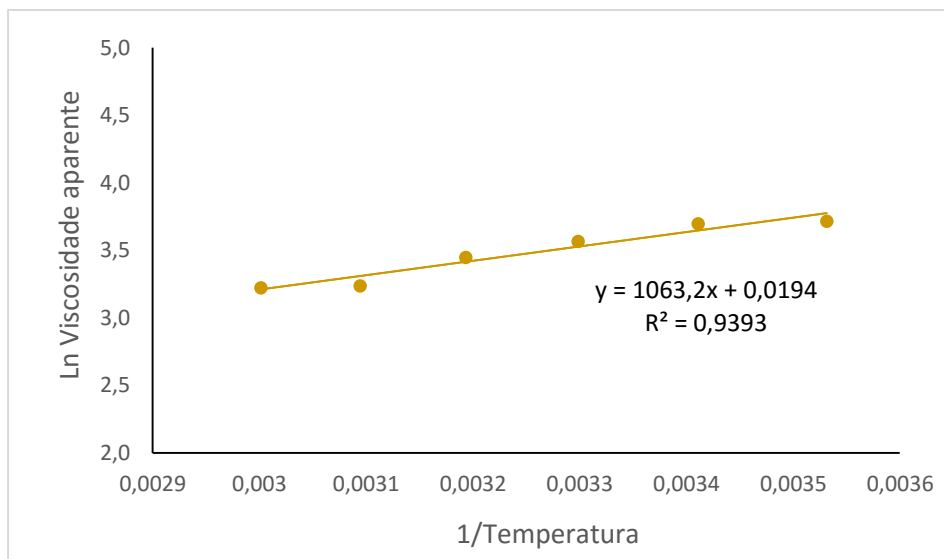
Do ponto de vista industrial, a diminuição da viscosidade aparente facilita o escoamento de polpas, sucos e a troca de calor durante o processamento. Sabe-se que quanto menos a viscosidade do fluido, menor é a perda de carga durante o escoamento, o que resulta em um menor gasto de energia (BEZERRA *et al.*, 2013).

### 5.3 EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE OS PARÂMETROS REOLÓGICOS

O efeito da temperatura na viscosidade aparente de fluidos alimentícios, a uma taxa de cisalhamento constante, pode ser descrita pela equação de Arrhenius (RAO; TATTIYAKUL, 1999).

Realizou-se a análise de uma regressão linear utilizando a equação de Arrhenius (Equação 7) para determinar a relação entre os parâmetros viscosidade e temperatura, a uma taxa de deformação constante de  $85 \text{ s}^{-1}$ , com a temperatura variando entre 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C.





**Figura 10.** Efeito da temperatura na Viscosidade aparente de suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana ajustado pela Equação de Arrhenius.

De acordo com a Figura 9, pode-se observar que a equação de Arrhenius apresentou um bom ajuste do efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente do suco estudado. O valor da energia de ativação ( $E_a$ ) calculado para o suco foi de  $8,839 \text{ kJ.mol}^{-1}$  e apresentou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9393.

A energia de ativação está relacionada com a interação entre as moléculas e o valor encontrado para  $E_a$  pode indicar se a viscosidade do produto é mais ou menos influenciada pela variação de temperatura. Segundo Silva (2008), quanto maior for o valor da energia de ativação, maior será a influência da temperatura nos parâmetros reológicos do fluido em estudo, incluindo a viscosidade.

Chin *et al.* (2009), estudaram o comportamento reológico do suco de laranja e encontrou  $E_a$  igual à  $42,06 \text{ kJ.mol}^{-1}$ . Quek, Chin e Yusof (2013), encontraram para suco de graviola  $E_a$  de  $30,48 \text{ kJ.mol}^{-1}$ . Analisando esses valores, pode-se dizer então, que a variação da temperatura tem menor efeito sobre o suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana, com  $E_a$  igual a  $8,839 \text{ kJ.mol}^{-1}$ , que sobre os sucos acima mencionados.

XU *et al.* (2013) afirma que soluções de goma xantana mostram um comportamento pseudoplástico, ou seja, a viscosidade diminui com o aumento da taxa de deformação do fluido. A goma xantana é altamente estável em

ampla faixa de pH, e a estabilidade depende da concentração: quanto maior a concentração, maior a estabilidade da solução. A temperatura também influencia o comportamento da goma, na faixa de temperatura 10 °C a 60 °C a solução apresenta-se estável.

## 6 CONCLUSÃO

O suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana apresentou resultados satisfatórios comparando com a literatura. Os modelos matemáticos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) e Herschel-Buckley descreveram melhor o comportamento reológico do suco, apresentando melhores ajustes e coeficiente de determinação  $R^2 \geq 0,99$ .

Através da análise dos resultados, pode-se concluir que o suco apresenta comportamento não newtoniano com característica de pseudoplástico, onde sua viscosidade diminui com o aumento da temperatura.

O valor de energia de ativação encontrado  $E_a = 8,839 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , indica que a temperatura tem pouca influência sobre a viscosidade para o produto estudado, isso pode ser justificado pela presença da goma xantana, já que a mesma tem como característica manter o produto estável em altas temperaturas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, E. N.; ROLIM, P. M. Potencialidades do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) no diabetes *Mellitus*. **Revista de Ciências Médicas**, v. 20, n. 3/4, p. 99-108, 2011.

ALMEIDA, C. O.; VILAR, L. C.; SOUZA, L. F. S.; REINHARDT, D. H.; MACEDO, C. M. Pedo médio do abacaxi no Brasil: um tema em discussão. **Bahia Agrícola. Bahia citros: fortalecimento da citricultura baiana**, v. 6, n. 3, p. 41-46, 2004.

ALVES, M. M. M. A reologia. *In*: DE CASTRO, A. G. (Coord.). **A química e a reologia no processamento de alimentos**. Lisboa: Instituto Piaget, 2003. 39-42 p.

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**, v. 16, n. 2, p. 155-162, 2013.

BRANCO, I. G. **Suco de laranja concentrado – comportamento reológico a baixas temperaturas**. 1995. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1995.

BRANDÃO, L. V.; ESPERIDIÃO, M. C. A.; DRUZIAN, J. I. Utilização do soro de mandioca como substrato fermentativo para a biossíntese de goma xantana: viscosidade aparente e produção. **Polímeros**, v. 20, n. 3, p. 175-180, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 12, 4 de setembro de 2003. **Aprova padrões de identidade e qualidade dos néctares de abacaxi, acerola, cajá, caju, goiaba, mamão, manga, maracujá, pêssego e pitanga**. D.O.U – Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 09 de setembro de 2003.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química de Processamento de Alimentos**. 3ª edição. São Paulo: Livraria Varela, 2001. 143 p.

BOURNE, M. C., Food texture and viscosity: concept and measurement. New York : **Academic Press**, 1982. 325 p.

CABRAL, L. M. C.; CARVALHO, R. A.; PALÁCIO, D. N. M.; MONTEIRO, F. S.; BIZZO, H. R.; MATTA, V. M. Recuperação e concentração dos componentes do aroma do abacaxi por pervaporação. **Comunicado Técnico – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Rio de Janeiro, 2006.

CALÇARÃO, L. M. T. **Enriquecimento de polpas de frutos em inulina: polpas prebióticas**. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Alimentar), Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

CARNEIRO, A. P. G.; ABREU, D. A.; SOARES, D. J.; COSTA, E. A.; SILVA, L. M. R.; BARBOSA, L. C.; SOUSA, P. H. M.; FIGUEIREDO, R. W. Avaliação da rotulagem, caracterização química, físico-química e reológica de néctares de uva comercializados na cidade de Fortaleza – CE. **Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v. 24, n. 2 , p. 241-249, 2013.

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.

CONCEIÇÃO, R. S. Comportamento reológico da polpa de goiaba (*Psidium Constenla*, D. T.; Lozano, J. E.; Crapiste, G. H. Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature). **Journal of Food Science**, v. 54, n. 3, p. 663-668, 1989.

CONSTENLA, D., T.; LOZANO, J. E.; CRAPISTE, G. H. Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Science**, 54 (3), 663-668, 1989.

CORREA, N. M.; JÚNIOR, F. B. C.; IGNÁCIO, R. F.; LEONARDI, G.R. Avaliação do comportamento reológico de diferentes géis hidrofílicos. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 41, n. 1, p. 73-78, 2005.

COUTO, D. S. **Avaliação da qualidade de suco de abacaxi (*Ananas comosus* L. merr cv. Smooth Cayenne) concentrado por osmose inversa**. 60f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

CRESTANI, M.; BARBIERI, R. L.; HAWERROTH, F. J.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Das Américas para o mundo – Origem, domesticação e dispersão do abacaxizeiro. **Ciência Rural**, v. 40, n. 6, 2010.

DANIELI, F.; COSTA, L. R. L. G.; SILVA, L. C.; HARA, A. S. S.; SILVA, A. A. Determinação de vitamina C em amostras de suco de laranja *in natura* e amostras comerciais de suco de laranja pasteurizado e envasado em embalagem Tetra Pak. **Revista do Instituto de Ciência da Saúde**, 2009.

EMBRAPA. **Cultivo do abacaxi em Rondônia**. Sistema de Produção, 2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Abacaxi/CultivodoAbacaxiRO/bibliografia.htm>. Acesso em: 09 de setembro de 2015.

EMBRAPA. **Pará é o maior produtor de abacaxi do Brasil e recebe Simpósio Nacional da Cultura**. Disponível em: <http://www.todafruta.com.br/noticia/31233/PAR%C1+%C9+O+MAIOR+PRODUTOR+DE+ABACAXI+DO+BRASIL+E+RECEBE+SIMP%D3SIO+NACIONAL+D+A+CULTURA>. Acesso em: 14 de novembro de 2015.

FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; GUEDES, D. B.; PINTO, M. R. M. R. Propriedades reológicas de sucos mistos de manga, goiaba e acerola adicionados de fitoquímicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 21-28, 2013.

FERREIRA, A. P. R.; SALES, L. G. M.; CAVALCANTE, M. M. S.; CUNHA, N. R.; RIBEIRO, S. G. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-química de sucos tropicais. **Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, 2014.

FERREIRA, E. V.; BRANDÃO, P. R. G.; KLEIN, B.; PERES, A. E. C. Reologia de suspensões minerais: uma revisão. **Revista Escola de Minas**, v. 58, n. 1, p. 83-87, 2005.

GIBSON, R.; ROBERFROID, M. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**, v. 125, n. 6, p. 1401-1412, 1995.

GAZOLA, M. B. **Caracterização de polpas de bebidas à base de extrato hidrossolúvel de soja, amora, pitanga, mirtilo – análises reológicas, fitoquímicas, físico-químicas, microbiológicas e sensoriais**. 214f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

GRANADA, G. G.; ZAMBIASI, R. C.; MENDONÇA, C. R. B.; SILVA, E. Caracterização física, química, microbiológica e sensorial de geléias *light* de abacaxi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 629-635, 2005.

GUIMARÃES, A. R. **A produção de abacaxi: estratégias de reprodução da agricultura familiar no município de Monte Alegre de Minas (MG)**. 2015. 151f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Goiás – Catalão, 2015.

INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Abacaxi “Vitoria” – resistentes à fusariose**. 2010. Disponível em: <http://incaper.web407.uni5.net/revista.php?idcap=958>. Acesso em: 08 de setembro de 2015.

ITAL. **Abacaxi: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. 2ª edição. São Paulo: ITAL, 1987. 285p.

KARWOWSKI, M. S. M. Estudo da estabilidade, comportamento reológico e dos compostos fenólicos de frutas da Mata Atlântica. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

LAGO, C. C. **Estudo do suco concentrado e da polpa de yacon (*smallanthus sonchifolius*)**. 2010. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

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), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

LEWIS, M. J. **Propriedades físicas dos alimentos y de los sistemas de procesado**. 1ª edição. Zaragoza: Editora Acribia, 1993.

LOBO, A. R.; SILVA, G. M. L. Aspectos Tecnológicos de Produtos de Panificação e Massas Alimentícias com Teor Calórico Reduzido. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 37, n. 1, p.1-8, 2003.

MANZANO, G. P. P.; DAIUTO, E. R.; JANZANTTI, N. S.; ROSSI, E. A. Aspectos sensoriais e físico-químicos “iogurtes” de soja com espessantes/estabilizantes a base de fécula de inhame (*Dioscorea alata*), amido modificado e gelatina. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 287-296, 2008.

MELLO, N. R.; SOARES, N. F. F.; GONÇALVES, M. P. J. Nisina: Um conservante natural para alimentos. **Revista Ceres**, v. 52, p. 921-938, 2005.



MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. CALADO, V. (Trad.), 2ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2003. p. 461.

MOSCATTO, J. A.; PRUDÊNCIO-FERREIRA, S. H.; HAULY, M. C. O. Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 4, p. 634-640, 2004.

MULLER, H. G. **Introducción a la reología de los alimentos**. Zaragoza: Editora Acribia, 1977.

NASCIMENTO, L. C. S. **Caracterização centesimal, composição química e atividade antioxidante do noni (*Morinda Citrifolia* L.) cultivado no município de Zé Doca – MA** 69f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

NASCIMENTO, K. O.; AUGUSTA, I. M.; RODRIGUES, N. R.; PIRES, T.; BATISTA, E.; JÚNIOR, J. L. B.; BARBOSA, M. I. M. J. Alimentos minimamente processados: uma tendência de mercado. **Acta Tecnológica**, v. 9, n. 1, p. 48-61, 2014.

OLIVEIRA, M. G.; PEREIRA, E. R. B.; GULARTE, M. A.; ENDRUSCOLO, C. T. Estudo da preferência de cobertura de framboesa (*rubus idaeus*) com adição combinada de xantana, ácido cítrico e tartárico a partir de frutas congeladas. **Congresso de iniciação científica**. 2007.

OLIVEIRA, N. M.; DOURADO, F. G.; PERES, A. M.; SILVA, M. V.; MAIA, J. M.; TEXEIRA, J. A. Effect of aguar gum on the physicochemical thermal rheological and textural properties of Green edam cheese. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 8, p. 1414-1421, 2010.

OLIVEIRA, R. C.; ROSSI, R. M.; BARROS, S. T. D. Estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico das polpas de gabioba. **Acta Scientiarum Technology**, v. 33, n. 1, p. 31-37, 2011.

PELEGRINE, D. H. **Comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi**. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999.

PELEGRINE, D. H.; VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.1, p.128-131, 2000.

PEREIRA, M. A. B.; SIEBENEICHLER, S. C.; LORENÇONI, R.; ADORIAN, G. C.; SILVA, J. C.; GARCIA, R. B. M.; PEQUENO, D. N. L.; SOUZA, C. M.; BRITO, R. F. F. Qualidade do fruto de abacaxi comercializado pela COOPERFRUTO – Miranorte – TO. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 4, p. 1048-1053, 2009.

PEREIRA, V. R. **Ácido Ascórbico – características, mecanismos de atuação e aplicações na indústria**. 2008. 39f. Trabalho acadêmico apresentado ao Curso de Bacharelado em Química de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, 2008.

PIRILLO, C. P.; SABIO, R. P. 100% Suco: nem tudo é suco nas bebidas de frutas. **Hortifruti Brasil**, v. 8, n. 81, p. 6–13, 2009.

PRÉSTAMO, G.; MANZANO, P. Peroxidades of selected fruits and vegetables and the possible use of ascorbic acid as an antioxidante. **HortScience**, v. 28, n. 1, p. 48-50, 1993.

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**, v. 4, n. 1, p. 75-79, 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.

RAMALHO, V. C; NEUZA, J. Antioxidantes Utilizados em Óleos, Gorduras e alimentos Gordurosos. **Química Nova**, v.29, n.4, p. 755-760, 2006.

RAMÍREZ, J. A.; BARRERA, M.; MORALES, O. G.; VAZQUEZ, M. Effect of xanthan and locust bean gums on the gelling properties of myofibrillar protein. **Food Hydrocolloids**, v. 16, p. 11-16, 2002.

RAMOS, A. M. **Caracterización reológica y transmisión de calor em derivados de frutas en el interior de tanques agitados**. 1997. 76f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Técnica Superior D'Enginyeria Agrària de Lleida, Universitat de Lleida, Lleida, 1997.

RAO, M.A., TATTIYAKUL, J. Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions. **Carbohydrate Polymers**, v. 38, 123–132, 1999.

RHA, C. Rheology of fluid food. **Food technology**, v. 32, p. 77-82, 1978.

REZENDE, S.; NASCIMENTO, D.; PIOCHON, E. **Educação alimentar: aditivos alimentares encontrados nos sucos consumidos pelos acadêmicos do curso de ciências biológicas de Jataí - GO**. In: Anais dos Congressos de Pedagogia. Jataí, 2008.

RIBEIRO, E. A. **A cultura do abacaxi como uma nova opção de atividade econômica para a pequena propriedade na região de Umuarama, noroeste do Paraná**. Disponível em: [http://www.emater.pr.gov.br/arquivos/File/Biblioteca\\_Virtual/Premio\\_Extensao\\_Rural/1\\_Premio\\_ER/A\\_Cultura\\_do\\_Abacaxi.pdf](http://www.emater.pr.gov.br/arquivos/File/Biblioteca_Virtual/Premio_Extensao_Rural/1_Premio_ER/A_Cultura_do_Abacaxi.pdf). Acesso em: 08 de setembro de 2015.

RODRIGUES, R. Frutas para o mundo. **Agroanalysis**, Janeiro de 2015.

ROLIM, P. M.; SALGADO, S. M.; PADILHA, V. M.; LIVERA, A. V. S.; GUERRA, N. B.; ANDRADE, S. A. C. Análise de componentes principais de pães de forma formulados com farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob.). **Revista Ceres**, v. 57, n. 1, p. 12-17, 2010.

ROSALAM, S.; ENGLAND, R. Review of xanthan gum production from unmodified starches by *Xanthomonas campestris* sp. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 39, n. 2, p. 197-207, 2006.

ROUDOT, A. C. **Reología y análisis de la textura de los alimentos**. Zaragoza: Editora Acribia, 2004.

SANTANA, I.; CARDOSO, M. N. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidades de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, 2008.

SANTIAGO, M. **Beneficios del Yacón**. 2014. Disponível em: <http://dietasparabajardepeso.co/beneficios-del-yacon/>. Acesso em: 09 de setembro de 2015.

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.

SENGÜL, M.; ERTUGAY, M. F.; SENGÜL, M. Rheological, physical and chemical characteristics of mulberry pekmez. **Food Control**, v. 15, p. 73-76, 2005.

SHARMA, S. K., MULVANEY, S. J., RIZVI, S. S. H. **Food processing engineering : theory and laboratory experiments**. United States of America: Wiley-Interscience, 2000. 348p.

SCHRAMM, G. **Reologia e Reometria – fundamentos teóricos e práticos**. São Paulo: Editora Artliber Ltda, 2006. 240 p.

SILVA, A. S. S. **A raiz do Yacon (*Smallanthus sonchifollius* Poepping & Endlicher) como fonte de fibras alimentares, sua caracterização físico-química, uso na panificação e sua influência na glicemia pós-prandial**. 155f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SILVA, F. C. **Reologia do suco de acerola: efeito da concentração e da temperatura**. 2000. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

SILVA, L. M. R.; LIMA, A. S.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUSA, P. H. M.; LIMA, J. S. S. Desenvolvimento de néctares mistos à base de manga e cajá enriquecidos com frutooligossacarídeos ou inulina. **Alimentação e Nutrição**, v. 22, n. 1, p. 149-154, 2011.

SILVA, L. M. R.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; RAMOS, A. M.; GONZAGA, M. L. C.; LIMA, A. S. Comportamento reológico de bebidas mistas de cajá e manga adicionadas de prebióticos. **Boletim do Centro de Pesquisa Processamento de Alimentos**, v. 30, p. 75-82, 2012.

SILVA, L. M. R.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; RAMOS, A. M.; HOLANDA, D. K. R.; VIEIRA, N. M. Ajuste dos parâmetros reológicos de polpas de acerola, caju e manga em função da temperatura: Modelos de Ostwald-de-Waele, Herschel-Buckley e Casson. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 14, n. 1, p. 37-49, 2012.

SILVA, L. M. R.; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; AFONSO, M. R. A. A.; GONZAGA, M. L. C.; CARMO, J. S. Efeito da temperatura no comportamento reológico de néctares mistos de caju, manga e acerola. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 11, Supl.1, p. S85-S93, 2013.

SILVA, N. M. C. **Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de jenipapo (*Genipa americana* L.)**. 2008. 56f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2008.

SIMÃO, A. M. **Aditivos para alimentos sob o aspecto toxicológico**. 2ª edição. São Paulo: editora Nobel, 1986. 274p.

SOUSA, C. M. M.; SILVA, H. R.; VIEIRA-JUNIOR, G. M.; AYRES, C. L. S. C.; ARAUJO, D. S.; CAVALCANTE, L. C. D.; BARROS, E. D. S.; ARAUJO, P. B. M.; BRANDÃO, M. S.; CHAVES, M. H. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química Nova**, v.30, n.2, p. 351-355, 2007.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2ª edição. Michigan; Freeman Press, 1996. 418 p.

STREETER, V. L. Mecânica de fluidos. México: McGraw Hill, 1996. 594 p.

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

TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E.; PARK, K. J. Estudo da reologia de polissacarídeos na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7(2), p. 181-204, 2005.

TONETTO, A.; HUANG, A.; YOKO, J.; GONÇALVES, R. **O Uso de Aditivos de Cor e Sabor em Produtos Alimentícios**. Tecnologia de Alimentos. São Paulo: Faculdade de ciências farmacêuticas. 2008.

VALSECHI, O. A. **Aditivos**. 2001. Disponível em: <http://www.cca.ufscar.br/~vico/Aditivos.pdf>. Acesso em: 10 de setembro de 2015.

VANDRESSEN, S. **Caracterização físico-química e comportamento reológico de sucos de cenoura e laranja e suas misturas**. 2007. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

VELDE, F. V.; WEINBRECK, F.; EDELMAN, M. W.; LINDEN, L.; TROMP, R. H. Visualisation of biopolymer mixtures using confocal scanning laser microscopy (CSLM) and covalent labelling techniques. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 31, n. 1-4, p. 159-168, 2003.

VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A.; GRANDIN, A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 1, n. 2, p. 69-76, 2000.

XU, L.; XU, G.; LIU, T.; CHEN, Y.; GONG, H. The comparison of rheological properties of aqueous welan gum and xanthan gum solutions. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, p. 516-522, 2013.

WILEY, R. C. **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables**. New York: Chapman & Hall, 1994. p. 368.