



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

TELMA DOS SANTOS COSTA

**ESTUDO DO PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO DO  
TUCUPI E DA ELABORAÇÃO DE PRODUTOS A BASE  
DE TUCUPI CONCENTRADO**

BELÉM

2016



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**TELMA DOS SANTOS COSTA**

**ESTUDO DO PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO DO  
TUCUPI E DA ELABORAÇÃO DE PRODUTOS A BASE  
DE TUCUPI CONCENTRADO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará, como requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

**ORIENTADOR**

**Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena – UFPA**

**BELÉM  
2016**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Biblioteca- UFPA**

---

Costa, Telma dos Santos, 1976-

Estudo do processo de concentração do tucupi e da elaboração de produtos a base de tucupi concentrado/ Telma dos Santos Costa.- 2016.

Orientador: Rosinelson da Silva Pena

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belém, 2016.

1. Mandioca- processamento 2. Reologia 3. Alimentos avaliação sensorial 4. Consumidores- preferência I. Título

CDD 23.ed.664.23

---



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

TELMA DOS SANTOS COSTA

**ESTUDO DO PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO DO TUCUPI E DA  
ELABORAÇÃO DE PRODUTOS A BASE DE TUCUPI CONCENTRADO**

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena  
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Orientador)**

---

**Prof. Dr. Antônio Manoel da Cruz Rodrigues  
(PPGCTA /ITEC/UFPA – Membro)**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Augusta Maria Paulain Felipe  
(PPEQ/ITEC/UFPA – Membro)**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Vânia Carvalho  
(EMBRAPA Amazônia Oriental – Membro)**

---

**Dr<sup>a</sup>. Laura Figueiredo Abreu  
(EMBRAPA Amazônia Oriental – Membro)**

“Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim decidir entre rir ou chorar, ir ou ficar, desistir ou lutar; porque descobri, no caminho incerto da vida, que o mais importante é o decidir”.

*Cora Coralina*

Aos meus amados pais, Mazildo e Maria do Carmo, por todo amor, carinho, exemplo, dedicação e incentivo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela vida, por sua infinita bondade, por ter me dado forças e me guiado por este longo caminho. E por ter colocado em minha vida pessoas tão especiais.

Aos meus pais, Mazildo e Maria do Carmo, irmãos Elizama, Aclyce, Júnior e sobrinhos Eduardo Neto, Madú, Sofia e Alexander, por estarem sempre ao meu lado. Vocês são minha fortaleza. Nunca quis ser o orgulho da família, no entanto, sempre quis dar o mínimo de orgulho a vocês, o que me incentivou a aproveitar todas as oportunidades que me foram dadas. O meu agradecimento transcende as palavras e alcança todo infinito.

Aos familiares que também sempre me incentivaram, dando-me forças para que conseguisse superar as dificuldades. Todos vocês são muito especiais na minha vida.

Sou grata a Wagner Ruiz pelo amor, incentivo, compreensão e paciência.

A meu orientador, Professor Rosinelson Pena pelos ensinamentos e amizade, por ter acreditado em mim, por mostrar-me que sempre é possível melhorar, pelo apoio e motivação durante o percurso deste projeto.

Ao professor Antônio Manuel (UFPA), por sua valiosa contribuição ao meu aprendizado sobre reologia. Ao professor Adriano Calandrini (UEPA), pelas contribuições na análise sensorial. A professora Alessandra Lopes, pelo pronto atendimento as minhas solicitações do uso do LABIOTEC. E aos demais professores do PPGCTA que de alguma forma contribuíram para meu desenvolvimento acadêmico.

Ao CNPq pela bolsa concedida para a realização deste projeto.

Aos amigos inesquecíveis que me acompanham desde a graduação, Lícia Braga, Heloísa Reis e Sueli Nanba.

À amiga e companheira Juliana Carmo. Sua companhia foi um presente divino.

Aos colegas do LAFAMI e do PPCGTA, obrigada pela amizade e pelos momentos de descontração que vivemos juntos.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela oportunidade de realizar o Doutorado na UFPA.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Classificação do comportamento reológico dos fluidos (RAO, 1996; STEFFE, 1996). .....	28
<b>Figura 1.2.</b> Reogramas típicos de vários tipos de fluidos com comportamento reológico independente do tempo (SHARMA et al., 2000). .....	28
<b>Figura 1.3.</b> Reogramas típicos de fluidos com comportamento reológico dependente do tempo (HAMINIUK, 2005). .....	31
<b>Figura 1.4.</b> Representação dos cinco tipos de isotermas de sorção descritos por BET (MATHLOUTHI; ROGE, 2003). .....	33
<b>Figura 1.5.</b> Histerese das isotermas de sorção (PARK; NOGUEIRA, 1992). .....	34
<b>Figura 2.1.</b> Efeito da concentração e da temperatura de concentração do tucupi, sobre a relação entre tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento (A) e viscosidade e taxa de cisalhamento (B). 30% de ST (○ 50°C, □ 70°C, △ 90°C); 35% de ST (● 50°C, ■ 70°C, ▲ 90°C); e 40% de ST (● 50°C, ■ 70°C, ▲ 90°C). .....	52
<b>Figura 2.2.</b> Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento e viscosidade e taxa de cisalhamento para o tucupi com 40% de sólidos, concentrado a 50°C, analisado a: (●) 25°C (ascendente); (○) 25°C (descendente); (■) 40°C (ascendente); (□) 40°C (descendente); (▲) 60°C (ascendente); (△) 60°C (descendente); (◆) 80°C (ascendente); (◇) 80°C (descendente). .....	55
<b>Figura 2.3.</b> Tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento e viscosidade e taxa de cisalhamento para o tucupi com 40% de sólidos concentrado a 70°C analisados a: (●) 25°C (ascendente); (○) 25°C (descendente); (■) 40°C (ascendente); (□) 40°C (descendente); (▲) 60°C (ascendente); (△) 60°C (descendente); (◆) 80°C (ascendente); (◇) 80°C (descendente). .....	56
<b>Figura 2.4.</b> Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento e viscosidade e taxa de cisalhamento para o tucupi com 40% de sólidos concentrado a 90°C analisados a: (●) 25°C (ascendente); (○) 25°C (descendente); (■) 40°C (ascendente); (□) 40°C (descendente); (▲) 60°C (ascendente); (△) 60°C (descendente); (◆) 80°C (ascendente); (◇) 80°C (descendente). .....	57

<b>Figura 2.5.</b> Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente do tucupi com 40% de sólidos concentrado a 50°C (○, —), 70°C (□, ---) e 90°C (△,.....), calculada para uma taxa de cisalhamento de 100 s <sup>-1</sup> .	60
<b>Figura 3.1.</b> Histogramas dos percentuais das regiões de aceitação e de rejeição em relação à cor, ao aroma, ao sabor, a textura e a impressão global do molho cremoso de tucupi com 5% (M5), 10% (M10), 15% (M15) e 20% (M20) de tucupi concentrado.	73
<b>Figura 3.2.</b> Intenção de compra para o molho cremoso de tucupi.	75
<b>Figura 3.3.</b> Representação gráfica dos consumidores e das formulações de molho cremoso de tucupi em relação aos dois componentes principais, quanto aos atributos de cor, aroma e sabor. (●) julgadores; molho cremoso com: 5% (M5), 10% (M10), 15% (M15) e 20% (M20) de tucupi.	76
<b>Figura 3.4.</b> Representação gráfica dos consumidores e das formulações de molho cremoso de tucupi em relação aos dois componentes principais, quanto ao atributo textura e à impressão global. (●) julgadores; molho cremoso com: 5% (M5), 10% (M10), 15% (M15) e 20% (M20) de tucupi.	77
<b>Figura 3.5.</b> Efeito da temperatura na tensão de cisalhamento (A) e viscosidade (B) do molho cremoso com 10% de tucupi. (○) 25°C, (●) 40°C, (●) 60°C.	81
<b>Figura 3.6.</b> Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente do molho cremoso com 10% de tucupi, calculada para uma taxa de cisalhamento de 100 s <sup>-1</sup> .	83
<b>Figura 4.1.</b> Histogramas com os percentuais das regiões de aceitação e de rejeição em relação à cor, ao aroma, ao sabor e a impressão global para o arroz com tucupi comercial (TC) e para o arroz com condimento preparado em pó de tucupi (CPT).	96
<b>Figura 4.2.</b> Intenção de compra para o condimento preparado em pó de tucupi.	97
<b>Figura 4.3</b> Isotermas de adsorção (●) e dessorção (●) do condimento preparado em pó de tucupi a 25°C, e isotermas obtidas pelo modelo de Peleg (linhas).	100
<b>Figura 5.1.</b> Histogramas dos percentuais das regiões de aceitação e de rejeição em relação à cor, ao aroma, ao sabor e a impressão do arroz com tucupi comercial (TC) e com o caldo em tablete com 10% (C10), 15% (C15) e 20% (C20) de tucupi.	112
<b>Figura 5.2</b> Intenção de compra para o caldo em tablete de tucupi.	114

**Figura 5.3.** Representação gráfica dos julgadores e das amostras com tucupi comercial e com caldo em tablete de tucupi, em relação aos dois componentes principais, ..... 116

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1.</b> Valores dos parâmetros da modelagem obtidos a 25°C, em função da concentração e da temperatura de concentração do tucupi.....	58
<b>Tabela 2.2.</b> Valores dos parâmetros da modelagem do tucupi com 40% de sólidos, em função da temperatura de concentração e da análise reológica. ....	59
<b>Tabela 3.1.</b> Formulações para o molho cremoso de tucupi. ....	67
<b>Tabela 3.2.</b> Médias das notas dos atributos para as formulações do molho cremoso de tucupi. ....	74
<b>Tabela 3.3.</b> Índice de Aceitabilidade (%) das formulações de molho cremoso de tucupi.....	74
<b>Tabela 3.4</b> Valores dos parâmetros da modelagem aos dados reológicos obtidos para o molho cremoso com 10% de tucupi a 25, 40 e 60°C.....	82
<b>Tabela 4.1.</b> Modelos matemáticos usados na predição das isotermas de sorção. ....	94
<b>Tabela 4.2.</b> Médias das notas atribuídas ao arroz com tucupi comercial e com o condimento em pó de tucupi. ....	97
<b>Tabela 4.3.</b> Dados de sorção para o condimento preparado em pó de tucupi.....	98
<b>Tabela 4.4.</b> Coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvios médios relativos (P%) e raiz do erro médio quadrático (RSME) obtidos para a modelagem matemática das isotermas. ....	101
<b>Tabela 5.1.</b> Formulações do caldo em tablete de tucupi.....	108
<b>Tabela 5.2.</b> Médias das notas dos atributos e da impressão global para o arroz preparado com tucupi comercial (TC) e com o caldo em tablete com 10, 15 e 20% de tucupi.....	113
<b>Tabela 5.3.</b> Índice de Aceitabilidade (%) de arroz com tucupi comercial (TC) e arroz com caldo em tablete com 10, 15 e 20% de tucupi.....	113

# SUMÁRIO

RESUMO.....	15
ABSTRACT.....	16
INTRODUÇÃO GERAL .....	17
OBJETIVOS.....	19
OBJETIVO GERAL .....	19
OBJETIVO ESPECÍFICO.....	19
<b>CAPITULO 1 .....</b>	<b>20</b>
<b>1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>20</b>
1.1 MANDIOCA.....	20
1.2 MANIPUEIRA.....	21
1.3 TUCUPI.....	22
1.4 CONCENTRAÇÃO E SECAGEM .....	23
<b>1.4.1 Concentração .....</b>	<b>23</b>
<b>1.4.2 Secagem por atomização (<i>spray drying</i>) .....</b>	<b>24</b>
1.5 MOLHOS E CONDIMENTOS .....	25
<b>1.5.1 Molhos .....</b>	<b>25</b>
<b>1.5.2 Condimentos ou temperos preparados em pó.....</b>	<b>26</b>
<b>1.5.3 Caldo em cubo .....</b>	<b>26</b>
1.6 REOLOGIA .....	27
<b>1.6.1 Fluidos newtonianos .....</b>	<b>29</b>
<b>1.6.2 Fluidos não-newtonianos.....</b>	<b>29</b>
1.6.2.1 Fluidos independentes do tempo.....	29
1.6.2.2 Fluidos dependentes do tempo.....	31
<b>1.6.3 Modelos reológicos .....</b>	<b>32</b>
1.7 ISOTERMA DE SORÇÃO DE UMIDADE.....	32
1.8 AVALIAÇÃO SENSORIAL .....	35
<b>1.8.1 Teste de aceitação .....</b>	<b>35</b>
<b>1.8.2 Teste de escala de atitude ou de intenção .....</b>	<b>37</b>
REFERÊNCIAS.....	38
<b>CAPITULO 2 .....</b>	<b>46</b>
<b>2 COMPORTAMENTO REOLÓGICO DO TUCUPI CONCENTRADO.....</b>	<b>46</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	48

2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	49
2.2.1 Amostra .....	49
2.2.2 Concentração do tucupi .....	49
2.2.3 Caracterização do tucupi concentrado .....	49
2.2.4 Medidas reológicas.....	50
2.2.5 Modelagem matemática.....	50
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
2.3.1 Caracterização do tucupi concentrado .....	51
2.3.2 Comportamento reológico do tucupi concentrado.....	51
2.3.3 Modelagem matemática.....	58
2.3.4 Energia de ativação .....	60
2.4 CONCLUSÕES .....	61
REFERÊNCIAS.....	62
CAPITULO 3 .....	64
<b>3 DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA E AVALIAÇÃO</b> <b>SENSORIAL DE MOLHO CREMOSO DE TUCUPI .....</b>	<b>64</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	66
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	67
3.2.1 Matéria-prima .....	67
3.2.2 Obtenção do molho .....	67
3.2.3 Avaliação sensorial .....	68
3.2.4 Avaliação microbiológica.....	69
3.2.5 Caracterização do produto.....	69
3.2.6 Medidas reológicas.....	70
3.2.7 Modelagem matemática.....	70
3.2.8 Análise Estatística .....	71
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	72
3.3.1 Avaliação microbiológica.....	72
3.3.2 Avaliação sensorial .....	72
3.3.2.1 Testes de aceitação e intenção de compra .....	72
3.3.2.2 Mapa de preferência interno .....	75
3.3.3 Caracterização do produto.....	79
3.3.4 Avaliação reológica .....	80
3.4 CONCLUSÕES .....	83

<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>84</b>
<b>CAPITULO 4</b> .....	<b>86</b>
<b>4 DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO HIGROSCÓPICA E AVALIAÇÃO SENSORIAL DE CONDIMENTO PREPARADO EM PÓ DE TUCUPI</b> .....	<b>86</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	88
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	89
4.2.1 Matéria-prima .....	89
4.2.2 Secagem do tucupi .....	89
4.2.3 Obtenção do condimento.....	90
4.2.4 Caracterização do produto.....	90
4.2.5 Avaliação microbiológica.....	91
4.2.6 Avaliação sensorial .....	91
4.2.7 Avaliação higroscópica .....	92
4.2.8 Análise Estatística .....	93
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	94
4.3.1 Caracterização do produto.....	94
4.3.2 Avaliação microbiológica.....	95
4.3.3 Avaliação sensorial .....	95
4.3.4 Avaliação higroscópica .....	97
4.4 CONCLUSÃO .....	101
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>102</b>
<b>CAPITULO 5</b> .....	<b>105</b>
<b>5 DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E AVALIAÇÃO SENSORIAL DE UM CALDO EM TABLETE DE TUCUPI</b> .....	<b>105</b>
5.1 INTRODUÇÃO .....	107
5.2 MATERIAL E METODOS.....	108
5.2.1 Matéria-prima .....	108
5.2.2 Obtenção do caldo em tablete.....	108
5.2.3 Avaliação microbiológica.....	109
5.2.4 Avaliação sensorial .....	109
5.2.5 Caracterização do produto.....	110
5.2.6 Análise Estatística .....	111
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	111
5.3.1 Avaliação microbiológica.....	111

<b>5.3.2 Avaliação sensorial .....</b>	<b>111</b>
5.3.3.1 Testes de aceitação e intenção de compra .....	111
5.3.3.2. Mapa de preferência interno .....	114
<b>5.3.3 Caracterização do produto.....</b>	<b>117</b>
5.4 CONCLUSÃO .....	118

## RESUMO

O tucupi é um produto líquido amarelo, obtido da manipueira, resíduo líquido da prensagem da mandioca brava. O produto é muito consumido e apreciado na culinária da Região Norte do Brasil por seu aroma e sabor exóticos. Por sua vez, são insipientes os estudos de desenvolvimento de produtos que usam o tucupi como matéria-prima. Diante disso, foi estudado o processo de concentração do tucupi, no qual foi avaliado o efeito da concentração (30, 35 e 40% de sólidos) e da temperatura de concentração (50, 70 e 90°C) sobre o comportamento reológico do produto, em temperaturas na faixa de 25 a 80°C. O tucupi concentrado foi usado em diferentes proporções na formulação de três produtos: molho cremoso, com 5 a 20% de tucupi concentrado; condimento em pó, obtido com o tucupi em pó; e caldos em tabletes, com 10 a 20% de tucupi concentrado. Os produtos foram avaliados quanto a aceitação dos atributos sensoriais (cor, aroma, sabor e textura) e impressão global, e ainda quanto a intenção de compra. Os dados da aceitação dos produtos foram analisados pelos resultados médios e pela técnica de mapa de preferência interno. Foi estudado o comportamento reológico (25 a 60°C) do molho cremoso de tucupi e comportamento higroscópico a 25°C do condimento preparado em pó de tucupi. Foi feita a caracterização físico-química da formulação mais aceita, em cada caso. No tucupi concentrado, o estudo reológico mostrou que a concentração e temperatura de concentração influenciam o seu comportamento reológico, uma vez que a gelatinização do amido presente no tucupi modifica a viscosidade do produto. Em geral, o tucupi concentrado se comportou como um fluido pseudoplástico, mas nos ensaios realizados a 60 e 80°C, com taxas de cisalhamento ascendentes, o produto se comportou como um fluido dilatante. Nos ensaios de 40 a 80°C foram observadas histereses, que atribuem ao produto características de fluido reopético, nestas condições. O modelo de Ostwald-de-Waele foi o mais eficiente na predição das curvas de fluxo do produto ( $R^2 > 0,999$ ;  $\chi^2 < 1,005$ ;  $RMSE < 0,163$ ), o qual apresentou valores de energia de ativação ( $E_a$ ) que variaram de 20,56 a 27,43 kJ/mol, em função da concentração. O molho cremoso com 10% de tucupi foi o mais aceito, para o qual a intenção de compra mostrou 1% de rejeição do produto, o que indicou que o tucupi tem potencial para ser utilizado na formulação de molho cremoso. Este produto apresentou características de fluido pseudoplástico e o modelo de Herschel-Bulkley ( $R^2 > 0,997$ ;  $\chi^2 < 11,081$ ;  $RMSE < 0,434$ ) mostrou-se eficiente na predição das curvas de fluxo do mesmo; foi observado um valor de  $E_a$  de 7,49 kJ/mol para o produto. O condimento preparado em pó de tucupi mostrou um índice de aceitabilidade maior que 70% para a impressão global e a intenção de compra indicou que 100% dos julgadores demonstraram uma possibilidade de aquisição do produto. Este produto apresentou isoterma de adsorção do Tipo II e isoterma de dessorção do Tipo III, a 25°C. A avaliação higroscópica indicou que o produto requer maiores cuidados quando armazenado em ambiente com umidade relativa superior a 60%. O modelo de Peleg ( $R^2 > 0,99$  e  $P < 10\%$ ) apresentou um excelente desempenho na predição das isotermas de sorção de umidade do produto. O caldo em tablete com 20% de tucupi apresentou a melhor aceitação, entre os produtos desenvolvidos, com uma intenção de compra de 98%, o que demonstra a potencialidade do caldo em tablete de tucupi.

## ABSTRACT

The tucupi is a yellow liquid product obtained from manipueira, which is a liquid residue from the pressing of manioc. The product is widely consumed and appreciated in the cuisine of Northern Region of Brazil for its exotic aroma and flavor. On the other hand are not enough studies on the development of products with tucupi as raw material. Thus, the tucupi concentration process was studied by evaluating the effect of concentration (30, 35 and 40% solids) and concentration temperature (50, 70 and 90 °C) on the rheological behavior of the product at temperatures from 25 to 80 °C. The concentrated tucupi was used in different proportions in the formulation of three products: creamy sauce with 5 to 20% concentrated tucupi; powder condiment which was obtained with tucupi powder; and bouillon cube with 10 to 20% concentrated tucupi. The products were evaluated for acceptance of sensory attributes (color, aroma, flavor and texture) and overall impression and also as purchase intent. Data from the acceptance of the products were analyzed by average results and the map internal preference technique. The rheological behavior (25 to 60 °C) of creamy sauce tucupi and hygroscopic behavior of the tucupi powder condiment at 25 °C were studied. Physicochemical characterization of the most accepted formulation in each product was carried out. In concentrated tucupi, the rheological study showed that the concentration and temperature of concentration influence their rheological behavior, since starch gelatinization present in tucupi modifies the viscosity of the product. In general, the concentrated tucupi behaved as a pseudoplastic fluid, but in the tests at 60 and 80 °C, with rising shear rates, the product behaved as a dilatant fluid. In the tests at 40 to 80 °C were observed hysteresis, which attribute characteristics of the rheopectic fluid in these conditions to the product. The Ostwald-de Waele model was efficient for the prediction of flow curves ( $R^2 > 0.999$ ;  $\chi^2 < 1.005$ ;  $RMSE < 0.163$ ) which presented activation energy values ( $E_a$ ) ranging from 20.56 to 27.43 kJ/mol, depending on concentration. The creamy sauce with 10% tucupi was the most accepted, to which purchase intent showed 1% of product rejection. This results show that tucupi has the potential to be used in the creamy sauce formulation. This product presented pseudoplastic fluid characteristics. The Herschel-Bulkley model ( $R^2 > 0.997$ ;  $\chi^2 < 11.081$ ;  $RMSE < 0.434$ ) proved to be very effective in predicting of the flow curves, which showed  $E_a$  value of 7.49 kJ/mol to the product. The tucupi powder condiment showed acceptability index greater than 70% for overall impression and the purchase intention indicated that 100% of the judges demonstrated a possibility of purchase. This product presented adsorption isotherm type II and isotherm desorption type III at 25 °C. The hygroscopic evaluation indicated that the product requires more care when stored in an environment with higher 60% of humidity. The Peleg model ( $R^2 > 0.99$  and  $P < 10\%$ ) showed a good performance in the prediction of product sorption curves. The bouillon cube with 20% tucupi presented better acceptance among the products developed, which showed an purchase intention of 98 %, demonstrating the potential of tucupi bouillon cube.

## INTRODUÇÃO GERAL

A indústria de alimentos estimula inovações em toda a sua cadeia, tais como nos produtores de matéria-prima, em fornecedores de aditivos, no setor de embalagens, na distribuição atacadista e varejista, e em indústrias (CABRAL, 2004). Inovação tecnológica é a aplicação de um novo conjunto de conhecimentos ao processo produtivo, que resulta em um novo produto, em alterações em algum atributo de um produto já existente e/ou no grau de aceitação do produto pelo mercado (ROSENTHAL; MOREIRA, 1992).

O perfil alimentício da população vem sofrendo mudanças ao longo dos anos, por esta razão, o setor de alimentos vem diferenciando-se de várias maneiras, procurando ofertar produtos e serviços com o desafio de satisfazer as necessidades da população, tanto em termos nutricionais, como gastronômicos, sem esquecer a praticidade e a qualidade necessárias (LEVY-COSTA et al., 2005).

O tucupi, produto líquido proveniente da manipueira, é largamente consumido na Região Norte, com destaque para o estado do Pará, onde tem aplicação na culinária regional, no preparo de molhos condimentados e caldos. No entanto, por apresentar um alto teor de água, o tucupi é um produto de vida de prateleira curta (CHISTÉ; COHEN; OLIVEIRA, 2007). A concentração e a secagem são métodos de conservação que promovem a redução do volume e da massa do produto, resultando em menores custos de armazenamento, embalagem e transporte, além da redução da atividade de água, o que aumenta a estabilidade microbiológica e bioquímica do produto. Esta operação é comumente usada como pré-tratamento para determinados processos de secagem (BRENNAN, BUTTERS, COWELL, 1999; DOVA; PETROTOS; LAZARIDES, 2007).

Para a obtenção de produtos em pó, uma das técnicas mais empregadas é a secagem por *spray dryer*, a qual é utilizada em diferentes áreas industriais, como farmacêutica, alimentícia e química (MASTERS, 1997; FREITAS et al., 2010). Pena, Ribeiro e Grandi (2000) relataram que as isotermas de sorção (adsorção e dessorção) de umidade tem aplicação na predição do tempo de secagem, da vida de prateleira, na determinação do tipo de embalagem e na caracterização do produto, inclusive quando o mesmo é constituído por componentes com atividades de água diferentes. A obtenção do tucupi concentrado e do tucupi em pó seria alternativa para garantir uma melhor conservação e permitiria a diversificação do seu uso como matéria-prima no desenvolvimento de outros produtos.

O conhecimento do comportamento reológico de alimentos líquidos, como produtos concentrados, é muito importante para o projeto e o cálculo de equipamentos (bombas e tubulações, agitadores, trocadores de calor, homogeneizadores, extrusoras, etc.); no controle de qualidade do produto, tanto nas etapas intermediárias de fabricação como no produto final; e na avaliação da vida de prateleira do produto (STEFFE, 1996; PELEGRINE; VIDAL; GASPARETTO, 2000; SILVA; GUIMARÃES; GASPARETTO, 2005; FERREIRA et al., 2006).

É importante avaliar a aceitação e/ou preferência dos consumidores quando são desenvolvidos novos produtos, bem como na melhoria de processos e na substituição de constituintes (RODRÍGUEZ; MEGÍAS; BAENA, 2003). Esta avaliação é realizada pela análise sensorial, que é utilizada para evocar, medir, analisar e interpretar reações características de alimentos e outros materiais, da forma como são percebidas pelos sentidos da visão, olfato, gustação, tato e audição (ABNT, 1993).

São incipientes, na literatura científica, trabalhos relacionados a diversificação do uso do tucupi na produção de alimentos, assim, visando agregar valor como matéria-prima, o tucupi foi concentrado para o desenvolvimento de outros produtos como: molho cremoso, condimento preparado em pó e caldo em tablete. Esta tese está dividida em cinco capítulos, sendo o Capítulo 1 uma revisão da literatura dos assuntos abordados; o Capítulo 2 trata do comportamento reológico do tucupi concentrado; o Capítulo 3 é referente ao desenvolvimento, caracterização reológica e avaliação sensorial de um molho cremoso de tucupi; o Capítulo 4 aborda o desenvolvimento, avaliação higroscópica e sensorial de um condimento preparado em pó de tucupi; e Capítulo 5 apresenta o desenvolvimento, caracterização físico-química e avaliação sensorial de um caldo em tablete de tucupi.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GERAL**

Desenvolver alternativas para o uso do tucupi no setor alimentício, utilizando tucupi concentrado e em pó em formulações de produtos.

### **OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Obter e caracterizar reologicamente o tucupi concentrado;
- Desenvolver e caracterizar reologicamente um molho cremoso adicionado de tucupi;
- Desenvolver, caracterizar e avaliar o comportamento higroscópico de um condimento preparado em pó de tucupi;
- Desenvolver e caracterizar um caldo em tablete de tucupi.

## CAPITULO 1

---

### 1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 1.1 MANDIOCA

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é originária do continente Americano (GAZOLA, et al, 2009). É uma planta perene, arbustiva, pertencente à família das Euforbiáceas. A parte mais importante da planta é a raiz, rica em amido (fécula), utilizada como matéria-prima por diversas indústrias (FILHO; BAHIA, 2010).

De grande versatilidade, a cultura da mandioca é totalmente aproveitada, desde a parte aérea (folhas), passando pelas hastes, até as raízes. As folhas têm seu aproveitamento na alimentação humana (suplemento) e animal (triturada). As hastes são utilizadas na alimentação animal, sob a forma de silagens e fenos, mas podem ser também utilizadas na forma *in natura*. A raiz é usada na alimentação humana e animal, e ainda pelas indústrias de transformação, na produção de farinha de mesa, de féculas, e na geração de energia (CONAB, 2015).

As raízes de mandioca apresentam como composição média: 68,2% de umidade, 30% de amido, 2% de cinzas, 1,3% de proteínas, 0,2% de lipídeos e 0,3% de fibras (ALBUQUERQUE et al., 1993). Em 100 g de mandioca são encontrados 39 mg de cálcio, 41 mg de fósforo e 1,1 mg de ferro (WOOLFE, 1992). As raízes de mandioca são, portanto, essencialmente energéticas, apresentando elevados teores de carboidratos, principalmente polissacarídeos.

As plantas de mandioca possuem os glicosídeos cianogênicos (HCN) linamarina 95% e lotaustralina 5% (CONN, 1973). A enzima linamarase ( $\beta$ -glicosidase) é responsável pela hidrólise destes compostos, o que resulta na liberação de  $CN^-$  (cianeto), princípio ativo venenoso responsável por intoxicações em animais e seres humanos (MCMAHON et al., 1995). As maiores quantidades de HCN encontram-se na casca das raízes (CALATAYUD; MÚNERA, 2002).

As mandiocas são geralmente classificadas como mansas e bravas. As mansas, com menores teores de HCN, são comercializadas "*in natura*" ou processadas, e as consideradas bravas devem ser necessariamente processadas na forma de farinhas, polvilhos ou féculas, por terem elevados teores de HCN em suas raízes frescas (LORENZI et al., 1996).

A região Norte é caracterizada como uma importante produtora e consumidora dos produtos da mandioca. O Nordeste e o Norte são duas Regiões

que guardam uma forte semelhança pela quantidade de pequenas fábricas ou “casas de farinha” e pelo elevado consumo *per capita* deste produto. O estado do Pará continua líder na produção brasileira de mandioca, com 35% de participação na produção nacional, em 2015. A cadeia produtiva da mandioca tem forte presença no estado do Pará, com inúmeras fábricas espalhadas na maioria dos municípios, devido, principalmente, a comercialização da farinha de mesa nas feiras livres dos grandes centros consumidores (CONAB, 2015).

## 1.2 MANIPUEIRA

Dentre os subprodutos do beneficiamento da mandioca destaca-se, pelo volume gerado, a água residual ou de prensagem das raízes, denominada de manipueira. Para cada 3 kg de raízes prensadas é produzido um litro de manipueira, com alto teor de matéria orgânica e de cianeto, o que é proveniente da hidrólise do glicosídeo cianogênico linamarina, naturalmente presente nas raízes (BARANA, 2001; DA PONTE, 2001).

A manipueira é caracterizada como um extrato líquido, com aspecto leitoso, que contém de 5 a 7% de fécula, além de glicose, ácido cianídrico, outras substâncias orgânicas (carboidratos, proteínas e lipídeos) e nutrientes minerais (FIORETTO, 2001). A composição química da manipueira é muito variável, uma vez que está também condicionada à forma de processamento e a quantidade de água incorporada (MÉLO et al., 2005; SARAIVA et al., 2007).

O estudo de alternativas para o aproveitamento de nutrientes oriundos de resíduos, não é recente. Na década de 50, época em que ocorreu o aparecimento das indústrias de amido, alguns pesquisadores alertavam para a poluição dos mananciais pelos resíduos de mandioca, quando estes eram despejados próximos às fontes de captação de água (SILVA et al., 2005).

Dentre os resíduos oriundos da produção da fécula de mandioca (cascas, entrecascas e água residuária), a manipueira é a que apresenta maior potencial de poluição devido sua alta concentração de matéria orgânica e a sua deposição nos cursos de água, geralmente, sem o tratamento necessário. Para a ecologia versos a economia, na industrialização da mandioca deve-se considerar e identificar melhores condições para promover a agregação de valores econômicos aos produtos, visando à redução dos impactos ambientais (MATOS, 1995; PATINO, 2001).

A manipueira pode ser utilizada nas mais diversas áreas. Na agroecologia ela é utilizada na forma de defensivos agrícolas, fertilizantes e inseticidas. No setor alimentício, no estado do Pará, a manipueira é utilizada na fabricação do tucupi, ingrediente muito usado no preparo de caldos e molhos de pimenta e pratos típicos. No estado do Maranhão, a manipueira é utilizada no preparo de uma bebida alcoólica de consumo local, conhecida por tiquira. Relata-se ainda a sua utilização no processo de fabricação de vinagre, sabão e tijolos ecológicos (DA PONTE, 2001; FERREIRA et al., 2001; GAMEIRO et al., 2003).

### 1.3 TUCUPI

Segundo Cagnon, Cereda e Pantarotto (2002) o tucupi é o produto proveniente da fermentação parcial da manipueira. A manipueira permanece em repouso por 1 ou 2 dias para a decantação do amido, que posteriormente é separado, para que ocorra a fermentação natural da fração líquida. Após esta etapa, é realizada uma fervura, adicionando-se pimenta, sal e especiarias como alho, coentro e chicória, para então obter-se o tucupi. O produto é, em geral, envasado em garrafas do tipo PET ou similar, e comercializado nas feiras livres ou supermercados da região Norte.

A Agência de Defesa Agropecuária do Pará (ADEPARÁ, 2012) definiu o Padrão de Identidade e Qualidade do Tucupi, onde ficam asseguradas as ações de inspeção, fiscalização e controle dos aspectos higiênicos sanitários da produção de tucupi no estado do Pará, e define tucupi como sendo o produto e/ou subproduto obtido da raiz de mandioca e suas variedades, através de processo tecnológico adequado, com uso predominante na culinária paraense. Quanto ao aspecto, o tucupi deve ser um produto heterogêneo que apresenta duas fases distintas, uma sólida e a outra líquida, cujas características são perceptíveis quando o produto está em repouso. A cor do produto deve variar do amarelo claro ao amarelo intenso, quando homogeneizado. O produto deve apresentar sabor levemente ácido e aroma próprio. São considerados constituintes opcionais para o tucupi: o sal, o açúcar, o alho e especiarias utilizados na culinária regional. É proibido o uso de corantes, realçadores de sabor, emulsificantes, espessantes e outras substâncias que diminuam a tensão interfacial entre as duas fases do produto.

Por ser o tucupi um alimento líquido, sua umidade se apresenta na faixa de 94,64 a 97,46%, o que representa de 2,55 a 5,36% de sólidos totais. O teor de

cinzas varia entre 0,18 e 1,12%, e a acidez total de 3,91 a 11 meq NaOH/100 mL. Com relação ao teor de proteínas, o tucupi apresenta valores baixos, entre 0,32 e 0,68%. O produto apresenta um pH, que varia de 2,99 a 4,35, e que o classifica como um alimento de alta acidez (CHISTÉ; COHEN; OLIVEIRA, 2007). Apesar do alto consumo do tucupi, na culinária local ainda é incipiente a diversificação do uso deste produto no setor alimentício.

## 1.4 CONCENTRAÇÃO E SECAGEM

### 1.4.1 Concentração

A concentração de alimentos envolve a remoção da água, com a finalidade de reduzir os custos com embalagem, armazenamento, transporte, bem como a conservação do produto. A concentração por evaporação consiste em submeter o produto líquido à ebulição, aumentando a concentração dos sólidos e diminuindo a atividade de água ( $a_w$ ), o que contribui para a sua conservação. Heldman e Lund (2007) ressaltam que produtos alimentícios, encontrados na forma concentrada ou em pó, geralmente são produzidos utilizando evaporadores em alguma etapa do processo.

Este processo é muito utilizado nas indústrias de extratos vegetais e sucos de frutas concentrados (CHEN; SHAW; PARISH, 1993; SALUNKHE et al., 1993; SOARES et al., 2004). Heldman e Lund (2007) citam o uso da concentração no processamento de leite e na produção de açúcar. Jinapong, Suphantharika, Jammong (2008) relatam o uso da concentração na produção do leite de soja instantâneo e Valentas et al. (1997) na indústria de massa de tomate.

A operação de concentração favorece a perda de aroma do produto e a degradação da cor e sabor, devido aos efeitos térmicos, que proporcionam perda de componentes orgânicos voláteis. Outra desvantagem do processo pelo uso de calor é o maior gasto energético (BARBE et al., 1998). Para se evitar a ocorrência destes efeitos, normalmente são utilizadas bombas de vácuo (para que a ebulição da água ocorra em temperaturas menores, sendo assim menos prejudiciais ao alimento) e o uso de equipamentos que permitam um pequeno tempo de residência (para minimizar o tempo no qual o alimento se encontra em temperaturas danosas). O tipo de evaporador deve ser escolhido em função das características do produto (propriedades térmicas, reologia, possibilidade de incrustação), da qualidade necessária e de critérios econômicos (RAMTEKE et al., 1993).

### 1.4.2 Secagem por atomização (*spray drying*)

A técnica de secagem em *spray dryer* é uma das mais versáteis para transformação dos produtos líquidos, em pó. Ela teve seu início na metade do século XVIII, com um processo de pulverização e aquecimento para a secagem de ovos. Em 1920 o processo se disseminou para nível industrial, com a secagem de leite e sabão em pó. Depois foi utilizada em diferentes tipos de indústria como a química, a alimentícia e a farmacêutica (MASTERS, 1997; CAL; SOLLOHUB, 2010; FREITAS et al., 2010).

Por definição, a secagem por atomização é um dos processos de transformação de soluções ou suspensões em partículas secas, com características específicas, dadas pela formulação, a partir da secagem com ar em elevadas temperaturas (RÉ, 2000; CERCHIARA et al., 2005). Este processo é geralmente utilizado na indústria de alimentos para garantir a estabilidade microbiológica dos produtos, evitar o risco de degradação química e/ou biológica, reduzir os custos de armazenamento e transporte, e obter produtos com propriedades específicas, como a solubilidade instantânea (GHARSALLAOUI et al., 2007).

Dada sua versatilidade e o pequeno tempo de residência dos produtos na câmara de secagem, o *spray dryer* tornou-se o principal equipamento para a secagem de materiais que apresentam sensibilidade ao calor, como alimentos e materiais de origem biológica, tal como extratos e produtos oriundos de plantas, corantes, micro-organismos, enzimas e proteínas (FREITAS et al., 2010). O processo exerce influência sobre propriedades do produto, como: o tamanho de partículas, a higroscopicidade, a escoabilidade, a atividade de água e a compressibilidade (OLIVEIRA, PETROVICK, 2010).

Para que um processo de secagem em *spray dryer* seja bem conduzido é necessário conhecer alguns aspectos técnicos, principalmente no que se refere às características físico-químicas dos materiais a serem secos e como estas propriedades vão ser afetadas pelas variáveis do processo (OLIVEIRA, PETROVICK, 2010). Entre as mais importantes, podem ser citadas as características de adesão, muito comuns em substâncias utilizadas na área farmacêutica e de alimentos. Muitos destes produtos possuem carboidratos ou polímeros com características adesivas, que durante a secagem causam uma grande retenção do material na câmara do equipamento (BHANDARI; DATTA; HOWES, 1997).

Uma das ferramentas mais utilizadas para minimizar os efeitos de adesão de partículas da câmara do secador é o uso de coadjuvantes de secagem, capazes de promover um aumento da temperatura de transição vítrea, e assim possibilitar a secagem do material em condições que favoreçam a evaporação adequada da água, sem que ocorra a adesão do produto (FREITAS et al., 2010). Esses aditivos, além de facilitarem a secagem, melhoram as características do produto seco, como: a estabilidade e a escoabilidade (ARAUJO; TEIXEIRA; FREITAS et al. 2010; COUTO et al., 2011). Alguns exemplos desses agentes são: o amido, as ciclodextrinas, o dióxido de silício coloidal, o fosfato tricálcico, a gelatina, a goma arábica, a lactose, a maltodextrina, o ar, gases comprimidos, espumas, alginatos, proteína de soja, mono-esterato de glicerol, gomas naturais e a sacarose (DAÍUTO; CEREDA, 2003; VASCONCELOS; MEDEIROS; MOURA, 2005; SILVA-JÚNIOR et al., 2006).

As características finais de um produto em pó obtido por um processo de secagem por atomização dependem de variáveis de processo, como: propriedades do líquido atomizado (concentração, temperatura, vazão mássica, propriedades físico-químicas); tipo de mecanismo de funcionamento do atomizador; e ar de secagem (velocidade, temperatura de entrada e de saída, pressão) (TONON et al., 2009).

## 1.5 MOLHOS E CONDIMENTOS

### 1.5.1 Molhos

O mercado de molhos e condimentos tende a crescer em todos os segmentos. Este fato se deve à crescente procura por produtos práticos, que permitem reduzir o tempo de preparo das refeições e, também, pela maior abertura da população às refeições que utilizam este tipo de produto. Entre os molhos e condimentos mais consumidos, destacam-se: a mostarda, a maionese e o catchup (CELESTE et al., 2002).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2005), define molhos como produtos em forma líquida, pastosa, emulsão ou suspensão à base de especiaria(s) e ou tempero(s) e ou outro(s) ingrediente(s), fermentados ou não, utilizados para preparar e agregar sabor ou aroma aos alimentos e bebidas. Deve ser designado “Molho” seguido do ingrediente que caracteriza o produto ou por denominações consagradas pelo uso, desde que não seja o nome comum da(s)

espécie(s) vegetal(ais) utilizada(s). A designação pode ser seguida de expressões relativas ao processo de obtenção, forma de apresentação, finalidade de uso e ou uma característica específica.

Os valores do pH de molhos para salada são baixos (3,0-4,0). Isto se deve ao fato de serem misturas acidificadas pela adição de constituintes como ácido acético e/ou cítrico e conservantes como os ácidos benzóico e/ou sórbico (BEUCHAT et al., 2006). Assim, a acidez dos molhos fornece um ambiente desfavorável para a contaminação alimentar por patógenos (PERRECHIL et al., 2010).

### **1.5.2 Condimentos ou temperos preparados em pó**

Condimentos ou temperos são definidos como produtos constituídos de uma ou diversas substâncias sápidas, de origem natural, com ou sem valor nutritivo, empregado nos alimentos com a finalidade de modificar ou exaltar o seu sabor. Os temperos podem ser designados por “Condimento preparado”, seguido do ingrediente que caracteriza o produto ou por denominações consagradas pelo uso ou por expressão(ões) relativa(s) ao processo de obtenção, forma de apresentação, finalidade de uso e ou uma característica específica. Classifica-se como condimento preparado, o produto obtido pela simples mistura de condimentos naturais ou elaborados, com adição de outras substâncias alimentícias aprovadas e apresentadas sob a forma de pós, pastas, molhos, em emulsão ou suspensão (BRASIL, 2005).

### **1.5.3 Caldo em cubo**

Os caldos em cubos, bem como outras formas de temperos, são utilizados como misturas para o preparo de alimentos, com função aromatizante (BRASIL, 2005), para conferir melhor percepção sensorial dos alimentos. Segundo Gupta e Bongers (2011), os caldos em tablete são categorizados conforme os constituintes de sua composição, variando principalmente no sabor em que são formulados: carne bovina, carne de ave, vegetais, peixe, etc. Além disso, os atributos de consumo que merecem destaque são a friabilidade e a homogeneidade dos cubos. A primeira característica colabora com a dissolução dos tabletes e a segunda é importante para a uniformidade de peso e tamanho do produto. Para Moubarac et al. (2014), os

caldos podem ser caracterizados como produtos ultra processados pela indústria, pelo uso de constituintes industriais e uma porção mínima de alimento.

Os principais constituintes na formulação dos caldos em cubos são o sal (NaCl) e o glutamato de monossódio (MSG). Outras matérias-primas utilizadas incluem soja, amido, cebola, tomate, óleos e gorduras vegetais, corantes, extratos vegetal e animal e especiarias (RMRDC, 2003).

## 1.6 REOLOGIA

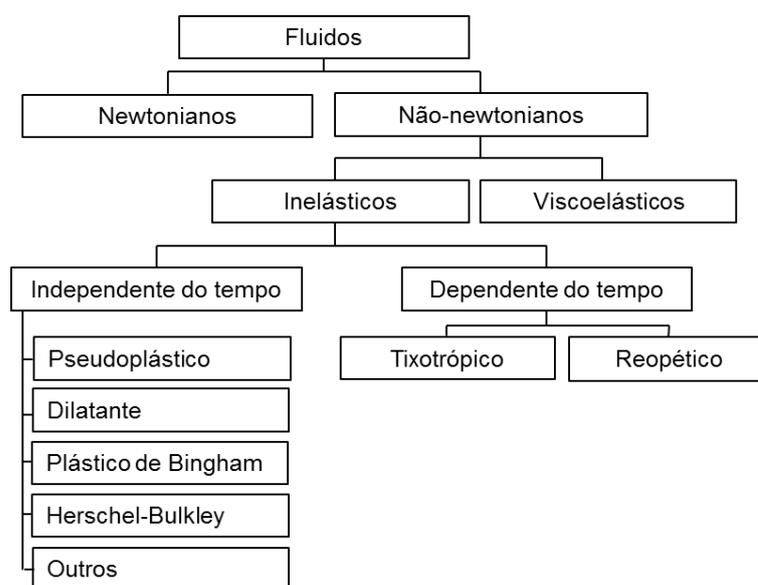
A viscosidade pode ser definida como a medida da fricção interna de um fluido, isto é, a resistência encontrada pelas moléculas em se moverem no interior de um líquido, devido ao movimento Browniano e às forças intermoleculares (GOULD, 1992). Fluidos altamente viscosos exigem mais força para se mover que os menos viscosos (LEWIS, 1993; MOTT, 1996).

A viscosidade de um alimento líquido depende da temperatura e da sua composição e pode também depender da tensão de cisalhamento ou taxa de cisalhamento e do tempo de cisalhamento (RAO, 1996; STEFFE, 1996). De acordo com Segundo Steffe (1996), o conhecimento dos dados reológicos é essencial para: o cálculo de processos que envolvem bombas, tubulações, extrusoras, misturadores, trocadores de calor, entre outros; na determinação da funcionalidade de constituintes no desenvolvimento de produtos; no controle intermediário ou final da qualidade de produtos; em testes de tempo de prateleira; na avaliação da textura de alimentos; e em correlação com testes sensoriais.

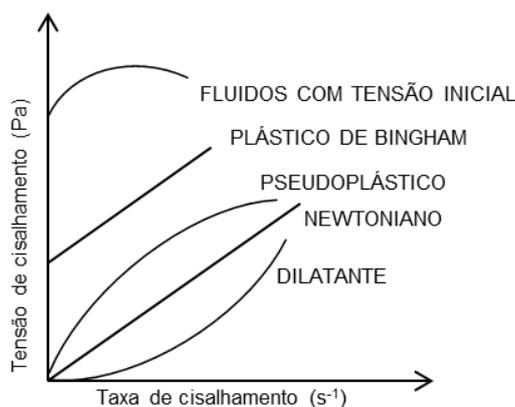
De maneira geral, é possível classificar o comportamento reológico dos materiais, através de dois extremos idealizados: sólidos perfeitos (hookeanos) e fluidos perfeitos (newtonianos). Enquanto os sólidos ideais se deformam, elasticamente, e a energia de deformação é completamente recuperada, quando cessa o estado de tensão, os fluidos ideais escoam, ou seja, se deformam de forma irreversível e a energia de deformação é dissipada na forma de calor. Dessa maneira, em fluidos, a energia de deformação não é recuperada após o relaxamento da tensão (PASQUEL, 1999).

Não existem, naturalmente, fluidos perfeitos ou ideais (sem viscosidade), mas somente fluidos cujo comportamento se aproxima do newtoniano, como é o caso de líquidos puros, soluções verdadeiras diluídas e poucos sistemas coloidais (TONELLI; MURR; PARK, 2005).

Os fluidos podem ser divididos em dois grandes grupos: fluidos ideais ou newtonianos e fluidos não-newtonianos. Os fluidos não newtonianos, por sua vez, são divididos em subclasses: fluidos independentes do tempo (fluidos pseudoplásticos, dilatantes, plásticos de Bingham e pseudoplásticos com tensão crítica), fluidos dependentes do tempo (fluidos tixotrópicos e reopéticos) e fluidos viscoelásticos. O esquema da Figura 1.1 apresenta uma classificação geral do comportamento reológico de fluidos, enquanto a Figura 1.2 ilustra os diferentes tipos de comportamento reológico para fluidos newtonianos.



**Figura 1.1.** Classificação do comportamento reológico dos fluidos (RAO, 1996; STEFFE, 1996).



**Figura 1.2.** Reogramas típicos de vários tipos de fluidos com comportamento reológico independente do tempo (SHARMA et al., 2000).

### 1.6.1 Fluidos newtonianos

Os fluidos newtonianos são caracterizados por uma relação linear entre tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido, ou seja, a viscosidade do fluido é sempre a mesma, sob quaisquer taxas de deformação, em uma temperatura fixa (RAO; RIZVI, 1995). Este comportamento é observado em produtos, como: sucos de frutas clarificados e despectinizados (LIRA, 2001), leite, vinho e cerveja (SHARMA; MULVANEY; RIZVI, 2000). A Equação (1.1) é a representação matemática do comportamento reológico dos fluidos newtonianos (STEFFE, 1996).

$$\tau = \eta \cdot \gamma \quad (1.1)$$

Onde:  $\tau$  = tensão de cisalhamento (Pa);  $\gamma$  = taxa de cisalhamento ( $s^{-1}$ );  $\eta$  = viscosidade (Pa.s).

### 1.6.2 Fluidos não-newtonianos

Os fluidos que não seguem o comportamento newtoniano são chamados de fluidos não-newtonianos (BIRD; STEWART; LIGHTFOOT, 2002). Estes fluidos apresentam comportamento mais complexo, pois a viscosidade é dependente da tensão de cisalhamento aplicada ou do tempo de sua aplicação. Neste caso, a viscosidade deixa de ser um coeficiente e passa a ser uma propriedade que varia de acordo com as condições às quais o fluido está submetido; por isso passa a ser denominada de viscosidade aparente (NAVARRO, 1997). Os fluidos não-newtonianos podem ser dependentes ou independentes do tempo.

#### 1.6.2.1 Fluidos independentes do tempo

Os fluidos não-newtonianos independentes do tempo, para determinada temperatura, possuem viscosidade aparente dependente apenas da taxa de cisalhamento e estão subdivididos em três categorias: fluidos pseudoplásticos, dilatantes e plásticos de Bingham (CASTRO; COVAS; DIOGO, 2001).

### ***Fluidos pseudoplásticos***

Os fluidos pseudoplásticos apresentam comportamento reológico independente do tempo, sem tensão residual e que começam a escoar sob a ação de tensões de cisalhamento infinitesimais. Neste fluido é observada a diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de cisalhamento. Quando este tipo de fluido está em repouso, as moléculas se apresentam em um estado desordenado e, quando submetidos a uma tensão de cisalhamento, tais moléculas tendem a se orientar na direção da força aplicada. Quanto maior a tensão aplicada, maior será o estado de ordenação das moléculas, o que provoca a redução da viscosidade aparente do produto (HOLDSWORTH, 1993). Alguns exemplos de fluidos pseudoplásticos são os sucos de frutas concentrados, purê de frutas e vegetais, pasta de amido e proteínas (RHA, 1978; IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 1996).

### ***Fluidos dilatantes***

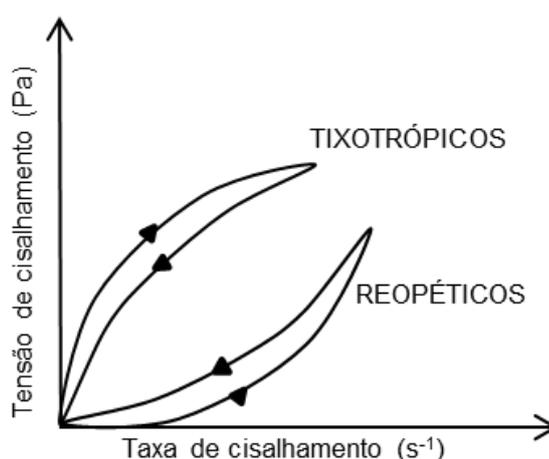
Ao contrário do que ocorre com os fluidos pseudoplásticos, nos fluidos dilatantes a viscosidade aparente aumenta com o aumento da taxa de cisalhamento. O fenômeno de dilatância pode ser explicado pela existência de um sistema de partículas densamente empacotadas. Quando este sistema é submetido ao cisalhamento ocorre certa separação das partículas, antes do deslizamento entre elas e, como consequência, ocorre um aumento global do volume. A medida que as tensões aumentam, as partículas passam a interagir entre si, o que provoca o aumento da viscosidade do fluido (SCHRAMM, 2000).

### ***Plástico de Bingham***

Os fluidos plásticos de Bingham necessitam de uma tensão de cisalhamento inicial para que ocorra o fluxo ou movimentação das moléculas do material. Vencida esta tensão inicial, o fluido passa a apresentar comportamento newtoniano e é chamado de plástico ideal (BOURNE, 2002). Entre os alimentos que tem este tipo de comportamento estão: purê de batata, mostarda, chocolate fundido e creme batido (GONÇALVES, 1989).

### 1.6.2.2 Fluidos dependentes do tempo

No comportamento reológico dependente do tempo de um fluido é observada a chamada curva de histerese (HOLDSWORTH, 1993). Para verificar se o fluido apresenta ou não viscosidade aparente dependente do tempo, deve ser realizado um estudo reológico no qual a substância em análise deve ser submetida a um aumento gradual da tensão (ascendente), até atingir um valor definido, seguido da redução da tensão até atingir o valor inicial (descendente). Quando a substância não apresenta comportamento reológico dependente do tempo, as curvas de fluxo (tensão *versus* taxa de cisalhamento), para os processos ascendentes e descendentes, apresentam-se sobrepostas. Por outro lado, quando a viscosidade aparente do produto é dependente do tempo, as curvas de fluxo ascendentes e descendentes não seguem o mesmo caminho e apresentam um efeito de histerese (MULLER, 1973; STEFFE, 1996; RAO, 1999) (Figura 1.4).



**Figura 1.3.** Reogramas típicos de fluidos com comportamento reológico dependente do tempo (HAMINIUK, 2005).

#### **Fluidos tixotrópicos**

Os fluidos tixotrópicos caracterizam-se por apresentar um decréscimo na viscosidade aparente com o tempo de aplicação da tensão. No entanto, após o repouso, tendem a retornar à condição inicial de viscosidade. O comportamento tixotrópico é encontrado em produtos como tinta, catchup e pastas de frutas (MULLER, 1973; SARAVACOS; MAROULIS, 2001).

### **Flúidos reopéticos**

Fluidos reopéticos exibem comportamento oposto aos tixotrópicos, pois a viscosidade aparente aumenta com o tempo, para condições com temperatura e taxa de cisalhamento constante. Assim como os fluidos tixotrópicos, após o repouso, o fluido tende a retornar ao seu comportamento reológico inicial (RAO, 1999; SARAVACOS; MAROULIS, 2001). De acordo com Rao (1999) e Sharma, Mulvaney e Rizvi (2000), este tipo de comportamento não é comum em alimentos, mas é observado em soluções de amido altamente concentradas, em tempos longos.

#### **1.6.3 Modelos reológicos**

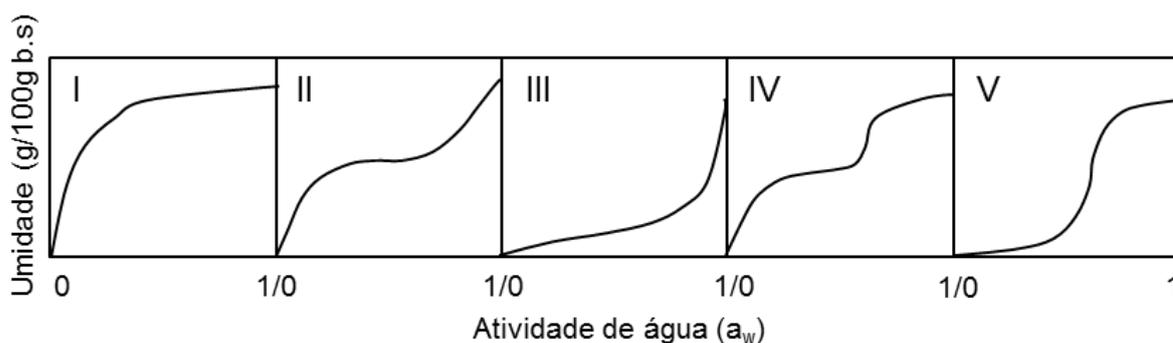
Os modelos reológicos são utilizados para descrever a relação da tensão e taxa de cisalhamento e viscosidade, predizendo os efeitos com relação à composição e as condições de processo e são representados através de gráficos chamados de reogramas. Através dos dados reológicos podem ser calculados parâmetros reológicos como o índice de consistência ( $k$ ) e o índice de comportamento ( $n$ ) (RAO, 1999). Entre os modelos matemáticos existentes, os mais aplicados para sistemas de alimentos são: Newtoniano, Bingham, Ostwald-de-Waele e Herschel-Bulkley (STEFFE, 1996).

#### **1.7 ISOTERMA DE SORÇÃO DE UMIDADE**

De acordo com Heldman e Hartel (2000), quando um produto alimentício é submetido à secagem, tanto sua umidade quanto a atividade de água ( $a_w$ ) são alteradas ao longo do processo, devido à relação entre a umidade de equilíbrio do produto e a umidade relativa do ar. Portanto, o estudo desses parâmetros é de grande importância para o desenvolvimento de um processo de secagem haja vista que especifica o teor de umidade do alimento que pode ser atingido sob quaisquer condições do ar de secagem.

Quando um material biológico é exposto a uma certa umidade, ele perde ou ganha água para ajustar sua própria umidade a uma condição de equilíbrio com o ambiente. Isto ocorre quando a pressão de vapor d'água na superfície do material se iguala à pressão de vapor d'água do ar que o envolve (TREYBALL, 1968).

As isotermas de sorção descrevem a relação entre a umidade e a  $a_w$  de um produto. Elas podem apresentar diferentes formatos, dependentes da natureza do produto (Figura 1.4), e são influenciadas pela temperatura, grau de cristalinidade, distribuição do tamanho das partículas e pela presença de moléculas higroscópicas (MATHLOUTHI; ROGE, 2003; SCHUCK et al, 2004).



**Figura 1.4.** Representação dos cinco tipos de isotermas de sorção descritos por BET (MATHLOUTHI; ROGE, 2003).

Brunauer et al. (1940) classificaram as isotermas em cinco tipos. A isoterma do tipo I é denominada Langmuir e a do tipo II sigmóide ou em forma de “S” invertido. Os outros três tipos não possuem nomes especiais. As isotermas de sorção de umidade da maioria dos alimentos apresentam-se não-lineares, sendo classificadas como do tipo II, podendo apresentar pequenas variações conforme a estrutura física, a composição química e a temperatura.

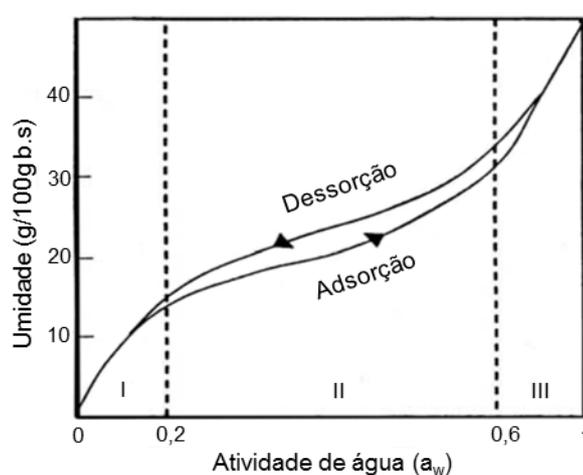
Como já dito, as isotermas mais comumente encontradas em alimentos são as do Tipo II. Isto se deve à afinidade dos sólidos com a umidade do produto, visto que a facilidade de adsorção e dessorção de umidade dependem principalmente do modo como as moléculas de água estão ligadas aos sólidos (MEDEIROS et al., 2006; DAMODARAM; PARKIN; FENNEMA, 2010).

McMinn, Al-Muhtaseb, Magee (2005) concluíram que as isotermas de pós ricos em amido apresentam isotermas do tipo II. Esse mesmo tipo de isoterma foi apresentado no estudo higroscópico da maltodextrina (PÉREZ-ALONSO et al., 2006).

O conhecimento das curvas de adsorção e dessorção de umidade é importante para a definição das condições de processo, bem como do sistema a ser utilizado na secagem de um produto; na escolha do material de embalagem a ser

utilizado para determinado produto; bem como para avaliar a estabilidade de um produto seco durante o armazenamento e transporte (KAYMAK-ERTEKIN; GEDIK, 2004; SAMAPUNDO et al., 2007; TUNC; DUMAN, 2007).

Em geral, a isoterma de dessorção apresenta umidades de equilíbrio superiores aos da isoterma de adsorção, para determinado valor de  $a_w$ . A área gerada pela não coincidência das curvas é denominado de histerese (Figura 1.5), e pode ocorrer devido a fatores como: condensação capilar, mudanças na estrutura física do material, impurezas na superfície e mudança de fase (RAHMAN, 1995; HOSSAIN et al., 2001).



**Figura 1.5.** Histerese das isotermas de sorção (PARK; NOGUEIRA, 1992).

De acordo com Lomauro, Bakshi e Labuza (1985), a isoterma de sorção de umidade pode ser dividida em três regiões, dependendo do estado da água presente no alimento. A primeira região representa a adsorção de uma camada monomolecular de água e se estende até 0,35 de  $a_w$ ; a segunda região representa a adsorção nas camadas adicionais acima da monocamada e se estende de 0,35 a 0,60 de  $a_w$ ; e a terceira região, localizada acima de 0,60 de  $a_w$ , está relacionada com a água condensada nos poros e com a água capaz de favorecer a dissolução das frações solúveis do produto.

Com o intuito de prever o comportamento das isotermas, são propostos diversos modelos matemáticos na literatura capazes de predizerem isotermas de sorção. Estes modelos, em sua maioria empíricos, são úteis para o conhecimento das características dos produtos. Os mais utilizados na predição das isotermas de

sorção são os modelos de Halsey, Henderson, Oswuin, Smith, Kuhn, Mizrahi, BET e GAB (CHIRIFE; IGLESIAS, 1978; MAROULIS et al., 1988; FIGUEIRA et al., 2004).

## 1.8 AVALIAÇÃO SENSORIAL

A avaliação sensorial é uma ciência que objetiva, principalmente, estudar as percepções, sensações e reações do consumidor sobre as características dos produtos, incluindo sua aceitação ou rejeição (MININ, 2013). É utilizada para evocar, medir, analisar e interpretar reações às características de alimentos e outros materiais da forma como são percebidas pelos sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição (ABNT, 1993). É aplicada na indústria de alimentos, nas etapas de desenvolvimento de um novo produto, no controle de qualidade e na seleção de métodos instrumentais que tenham correlação com atributos sensoriais de alimentos (MININ, 2013).

Por meio da análise sensorial, as características ou propriedades de interesse, relativas à qualidade sensorial do alimento, são identificadas e adequadamente estudadas, com base em metodologias sensoriais de coleta de dados e em métodos estatísticos de avaliação e interpretação dos resultados do estudo sensorial (MININ, 2013).

A expectativa gerada por um produto influi na aceitabilidade e intenção de compra. Um produto, de maneira geral, gera dois tipos de expectativa, a sensorial e a hedônica. A expectativa sensorial se caracteriza pela convicção do consumidor que o produto apresenta características sensoriais que influenciam sua opinião de consumo. Na expectativa hedônica, o consumidor acredita gostar do produto, e pode ser medida como a diferença entre o esperado e o percebido. Existem várias escalas para medir a aceitação, sendo as mais utilizadas a escala hedônica, a escala de atitude e a escala do ideal (QUEIROZ; TREPTOW, 2006).

### 1.8.1 Teste de aceitação

A avaliação sensorial de um alimento, quanto a sua aceitação ou rejeição, vai depender das características do mesmo. Os testes de aceitação são utilizados quando se deseja verificar o quanto os consumidores gostam ou desgostam de determinado produto. A resposta do consumidor é obtida por meio da utilização de escalas que podem ser diferentes, mas possuem como característica comum uma

categorização que permite medir graus de diferença na aceitação dos produtos pelo consumidor (LIM, 2011).

O método mais utilizado para medir a aceitação sensorial de alimentos é a escala hedônica. Nela, o consumidor expressa sua aceitação seguindo uma escala estruturada, previamente estabelecida, de cinco, sete ou nove categorias verbais, variando gradativamente com base nos termos “gostei” e “desgostei”. Pode ser medida a aceitação global do produto, que é avaliado como um todo, ou a análise pode ser de atributos específicos como a cor, aroma, textura, sabor, etc. Na escala hedônica, os termos hedônicos podem ou não ser acompanhados por escores numéricos que identificam cada categoria, sendo utilizados como extremos os termos hedônicos “gostei extremamente” e “desgostei extremamente”, contendo um ponto intermediário “não gostei/nem desgostei”, que indica o centro da escala (STONE; SIDEL, 2004; NICOLAS et al., 2010).

As amostras codificadas com algarismos de três dígitos e aleatorizadas são apresentadas ao julgador para avaliar o quanto gosta ou desgosta de cada uma delas através da escala previamente definida. Sua preferência é obtida por inferência. Recomenda-se que o número de julgadores seja entre 50 e 100 (ADOLFO LUTZ, 2008).

Os resultados da escala hedônica podem ser analisados pela distribuição das frequências dos escores hedônicos obtidos em cada produto ou por meio de histogramas, permitindo a visualização da segmentação dos valores hedônicos de cada produto, indicando seu nível de aceitação ou de rejeição e possibilitando a comparação do desempenho de duas ou mais amostras (MEILGAARD et al., 2006).

As metodologias tradicionais para analisar dados de testes afetivos têm mostrado limitações e deficiências. Geralmente os dados são analisados estatisticamente por meio da análise de variância e por testes de comparação de médias. Desta forma, para cada produto avaliado obtém-se a média do grupo de consumidores assumindo, portanto, que todos os respondentes possuem o mesmo comportamento e desconsiderando assim suas individualidades. Com isto, pode estar ocorrendo perda de importantes informações (GREENHOFF; MACFIE, 1994). Por sua vez, a técnica do Mapa de Preferência foi desenvolvida a fim de levar em consideração a resposta individual de cada consumidor. Essa técnica utiliza procedimentos estatísticos multivariados – como as análises de componentes principais e de agrupamento – para obter, num espaço multidimensional, uma

representação gráfica das diferenças de aceitação entre produtos, identificando o indivíduo e suas preferências. Permite, portanto, identificar as amostras mais aceitas pela maioria da população do estudo (MINIM, 2013).

O mapa de preferência é uma representação gráfica das diferenças de aceitação entre as amostras que permite a identificação de cada consumidor e suas preferências, em relação às amostras avaliadas. O mapa de preferência permite também avaliar a aceitação ou rejeição de determinado produto pelo consumidor, relacionando, por exemplo, essa aceitação com as características sensoriais do produto. Além disso, possibilita a avaliação de quanto o produto seria aceito no mercado, em função de suas características de qualidade, independentemente do preço, da embalagem e da marca (SCHLICH; MCEWAN, 1992; ELMORE et al., 1999).

Os mapas podem ser divididos em duas categorias: interno, quando se constrói o espaço vetorial sobre dados de aceitação/preferência gerados a partir de testes afetivos, e externo, onde o espaço vetorial é construído com dados de análise descritiva, geradas por uma equipe de julgadores treinados, ou outras caracterizações físico-químicas e, depois, correlacionado com dados de aceitação (MACFIE; THOMSON, 1988; LAWLESS; HEYMANN, 1998).

### **1.8.2 Teste de escala de atitude ou de intenção de compra**

Por meio das escalas de atitude ou de intenção, o indivíduo expressa sua vontade em consumir, adquirir ou comprar um produto que lhe é oferecido. As escalas mais utilizadas são as verbais de 5 a 7 pontos. As amostras codificadas e aleatorizadas podem ser apresentadas sequencialmente ao julgador para serem avaliadas através de escala pré-definida. Os termos definidos podem se situar, por exemplo, entre “provavelmente compraria” a “provavelmente não compraria” e, no ponto intermediário “talvez comprasse, talvez não comprasse”. É importante que a escala possua número balanceado de categorias entre o ponto intermediário e os extremos. Os dados são avaliados pelas frequências através dos gráficos de histogramas. Recomenda-se que o número de julgadores esteja entre 50 a 100 (ADOLFO LUTZ, 2008; MININ, 2013).

## REFERÊNCIAS

- ADEPARÁ. Decreto Estadual N.º 106/2008, de 20 de junho de 2011 da Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Pará (ADEPARÁ). NORMA DE IDENTIDADE, QUALIDADE, ACONDICIONAMENTO E ROTULAGEM DO TUCUPI. **Cartilha: Tucupi. Gerencia de Inspeção de Produtos de Origem Vegetal – GIPOV**, 2012.
- ALBUQUERQUE, T. T.O.; MIRANDA, L. C. G.; SALIM, J.; TELES, F.F.F.; QUIRINO, J.G. Composição centesimal da raiz de 10 variedades de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivadas em Minas Gerais. **Revista Brasileira da Mandioca**. v.12, n.1, p.7-12, 1993.
- ARAUJO, R. R.; TEIXEIRA, C. C. C.; FREITAS, L. A. P. The Preparation of Ternary Solid Dispersions of an Herbal Drug via Spray Drying of Liquid Feed. **Drying Technology**. v. 28, n. 3, p. 412-421, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12994: **Métodos de análise sensorial dos alimentos e bebidas – classificação**. 2p. Rio de Janeiro, 1993.
- BARANA, A. C. **Avaliação de tratamento de manipueira em biodigestores fase acidogênica e metanogênica**. Tese (Doutorado em agronomia – área de concentração em energia na agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Faculdade Estadual Paulista, Botucatu (SP), 2001.
- BARBE, A.M.; BARTLEY, J.P.; JACOBS, A.L.; JOHNSON, R.A. Retention of volatile organic flavour/fragrance components in the concentration of liquid foods by osmotic distillation. **Journal Membrane Science**, v. 145, p. 67-75, 1998.
- BEUCHAT, L.R. Pathogenic microorganisms associated with fresh produce. **Journal of Food Protection**, v. 59, p. 204–216, 2006.
- BEZERRA, J. R. M. V.; QUEIROZ, A. J. de M.; GASPARETTO, C. A. Reologia de polpa de manga e ajuste dos parâmetros reológicos em função da temperatura. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 3, n. 1, p.37-42, 2001.
- BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, v. 15, n. 2, p. 671-684, 1997.
- BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Fenômenos de Transporte**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 838 p., 2002.
- BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. 2.ed. London: Academic Press, 2002.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 276, de 22 de setembro de 2005b. **Aprova o regulamento técnico para especiarias, temperos e molhos**. 2005.
- BRENNAN, J. G.; BUTTERS, J. R.; COWELL, N. D. *Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos*. Editorial Acribia, Zaragoza, 1999.
- CAGNON, J. R.; CEREDA, M. P.; PANTAROTTO, S. **Série: Cultura de tuberosas amiláceas latino-americanas**. Vol. 2 – Cultura de Tuberosas Amiláceas Latinoamericanas, 2002.
- CAL, K.; SOLLOHUB, K. Spray drying technique: hardware and process parameters. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 99, n. 2, p. 575 – 586, 2010.

- CALATAYUD, P. A.; MÚNERA, D. F. Defensas naturales de layuca a las plagas eartrópodos. In: OSPINA, B. CEBALLOS, H. **La yuca em eltercermilenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización**. Cali: CIAT, p. 250-254, 2002.
- CASTRO, A. G. de; COVAS, J. A.; DIOGO, A. C. **Reologia e suas aplicações industriais**. Lisboa: Ciência e Técnica/Instituto PIAGET, p. 462, 2001.
- CELESTE, P; NAZÁRIO, C.; TAVARES, C.; ALVES, J.; ANTUNES, V. **Caso Savora**. Manual de casos portugueses, MERCATOR. 2002.
- CERCHIARA, T.; LUPPI, B.; CHIDICHIMO, G.; BIGUCCI, F.; ZECCHI, V. Chitosan and poly(methyl vinyl ether-co-maleic anhydride) microparticles as nasal sustained delivery systems. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 61, p. 195 – 200, 2005.
- CHEN, C. S.; SHAW, P. E.; PARISH, M. E. Orange and tangerine juice. In: NAGY, S.; CHEN, C. S.; SHAW, P.E. (Ed). **Fruit juice processing technology**. Flórida: Agscience, p. 110-165, 1993
- CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H.A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1 - a review. **Journal of Food Technology**, v. 13, p. 159-174, 1978.
- CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. O.; OLIVEIRA, S. S. Estudo das propriedades físico-químicas do tucupi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 437-440, 2007.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para Agropecuária-Safra, 2015/2016**. Brasília, v.2, p. 1-155, 2015.
- CONN, E. E. Cyanogenic glycosides: their occurrence, biosynthesis, and function. In: NESTEL, B.; MCINTYRE, R. (Eds). **Chronic cassava toxicity: proceedings of an interdisciplinary workshop**. Ottawa: **International Development Research Centre**, p. 55-63, 1973.
- COUTO, R. O.; ARAÚJO, R. R.; TACON, L. A.; CONCEIÇÃO, E. C.; BARA, M. T. F.; PAULA, J. R.; FREITAS, L. A. P. Development of a Phytopharmaceutical Intermediate Products via spray drying. **Dry Technology**, v. 29, p. 709- 718, 2011.
- DA PONTE, J. J. Uso da Manipueira como Insumo Agrícola: Defensivo e Fertilizante. In: CEREDA, M. P. et al. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. Vol. 4. Fundação Cargill: São Paulo, 2001.
- DAIÚTO, E. R. e CEREDA, M. P. Amido como suporte na desidratação por atomização e em microencapsulamento. In: CEREDA, M. P. (Coord.). **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v.3, cap. 16, p. 449-454. 2003
- DOVA, M. I.; PETROTOS, K. B.; LAZARIDES, H. N.; On the direct osmotic concentration of liquid foods. Part I. Impact of process parameters on process performance. **Journal of Food Engineer**, v. 78, p. 422-430, 2007.
- ELMORE, J. R.; HEYMANN, H.; JOHNSON, J.; HEWETT, J. E. Preference mapping: relating acceptance of “creaminess” to a descriptive sensory map of a semisolid. **Food Quality and Preference**, Oxford, v.10, p.465-475, 1999.
- FERREIRA, W. A.; BOTELHO, S. M.; CARDOSO, E. M. R.; POLTRONIERI, M. C.; **Manipueira: Um adubo Orgânico em Potencial**. Belém, PA. Embrapa Amazônia Oriental, 21p.2001.

FIGUEIRA, G. M.; PARK, K. J.; BROD, F. P. R.; HONÓRIO, S. L. Evaluation of desorption isotherms, drying rates and inulin concentration of chicory roots (*Chichorium intybus* L) with and without enzymatic inactivation. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 3, p. 273-280, 2004.

FILHO, G. A. F; BAHIA, J. J. S. **Mandioca**. Acesso em: 11/10/2012. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/mandioca.htm>. 2012.

FIORETTO, R. A. Uso direto da manipueira em fertirrigação. In: Cereda, M. P. **Manejo, Uso e Tratamento de Subprodutos da Industrialização da Mandioca**. São Paulo: Fundação Cargill, 2001, (Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas), v. 4, p. 67-79, 2001.

FREITAS, L. A. P.; ANDRADE, T. C.; TEIXEIRA, C. C. C. TACON, L. A.; TSUKADA, M. Innovative applications of spray drying. In: JOSÉ, M. J. S. (Ed). **Advances in Chemical Engineering**. Kerala, India, p. 1-13, 2010.

GAMEIRO, A H.; CARDOSO, C. E. L.; BARROS, G. S. C.; GUIMARÃES, V. A. **A indústria do amido de mandioca**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF, p. 90, 2003.

GAZOLA, D. et al. A Cultura da Mandioca (*Manihot esculenta*) na Rotação e Sucessão de Culturas nas propriedades que Compõem a Microbacia Sanga Mineira, Mercedes- PR- Resumo- XIII- Congresso Brasileiro da Mandioca, p. 5, 2009.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients; An overview. **Food Research International**, v. 40, p. 1107 – 1121, 2007.

GONÇALVES, J. R. Introdução à reologia de alimentos fluidos: reologia e textura de alimentos. Campinas: ITAL, p. 6-11, 1989.

GOULD, W.A. **Tomato production: processing & technology**. 3 ed. CTI publications, 1992.

GREENHOFF, K., MacFIE, H. J. H. **Preference Mapping in Practice**. In: MacFIE, H. J. H., THOMSON, D. M. H. (editors). Measurement of Food Preferences, Blackie Academic and Professional, p. 137-165, 1994.

GUPTA, S.; BONGERS, P. Bouillon cube process design by applying product driven process synthesis. **Chemical Engineering and Processing**, v. 50, p. 9-15. 2011.

HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSKI, M. R.; VIDAL, J. R. M. B.; MASSON, M. L. Influence of temperature on rheological behavior of whole Araçá pulp (*Psidium cattleianum sabine*). **Lebensmittel-Wissenschaft und Lebensmittel-Technologie – Food Science and Technology**, Berlin, v. 39, n. 4, p. 427-431, 2006.

HELDMAN, D. R., LUND, D. B. **Handbook of Food Engineering**, 2<sup>a</sup> ed., Editora CRC Press, p. 1023. 2007.

HELDMAN, D. R.; HARTEL, R. W. **Principles of Food Processing**. Chapman & Hall Food Science Book. p. 288, 2000.

HOLDSWORTH, S. D. Rheological models used for the prediction of the flow properties of food products: a literature review. **Transactions of the Institution of Chemical Engineers**, London, v. 71, n.c, p.139-179, 1993.

HOSSAIN, M. D.; BALA, B. K.; HOSSAIN, M. A.; MONDOL, M. R. A.; SOBRAL, P. J. A. Sorption isotherms and heat of sorption of pineapple. **Journal of Food Engineering**, v. 48, n. 2, p. 103-107, 2001.

IBARZ, A., BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. **Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos**. Technomic. Publishing companing, Inc. Pennsylvania – USA: p. 85-204, 1996.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos. 4 ed., 1 ed. Digital. Capítulo IV – Análise Sensorial, 2008.

JINAPONG, N., SUPHANTHARIKA, M., JAMMONG, P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized ged agglomeration. **Journal of Food Engineering**. v. 84. pp. 194-205, 2008.

KAIMAK-ERTEKIN, F.; GEDIK, A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes apricots, apples and potatoes. **Lebensmittel – Wissenschaft und Technologie**, v. 37, p. 429- 438, 2004.

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. Sensory evaluation of food. New York: Chapman & Hall, 1998, p. 819.

LEVY-COSTA, R. B.; SICHIERI, R.; PONTES, N. S.; MONTEIRO, C. A. Disponibilidade domiciliar de alimentos no Brasil: distribuição e evolução (1974-2003). **Revista de Saúde Pública**, v. 39, n. 4, p. 530- 540, 2005.

LEWIS, M. J. **Propiedades físicas de los alimentos y los sistemas de procesado**. Zaragoza: Acribia, 1993.

LIM, J. Hedonic scaling: A review of methods and theory. **Food Quality and Preference**, v.22, p.733-747, 2011.

LIRA, F. A. O. Propriedades reológicas de alimentos fluidos. In: ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. **Métodos para medir propiedades físicas em indústrias de alimentos**. Zaragoza: Acribia, p. 89-108, 2001.

LOMAURO, C.J.; BAKSHI, A.S.; LABUZA, T.P. Moisture transfer properties of dry and semi moist foods. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, n. 5, p. 397-400, 1985.

LORENZI, J. O.; SAÉS, L. A.; SAKAI, M.; RIBEIRO, I. J.; LOURENÇÃO, A. L.; MONTEIRO, D. A.; PERESSIN, V. A.; GODOY, G. G. Avaliação de cultivares de mandioca de mesa no Vale do Ribeira (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 1, p. 141-146, 1996.

MACFIE, H. J. H.; THOMSON, D. M. H. Preference mapping and multidimensional scaling. In: PIGGOTT, J.R. (Ed.). *Sensory Analysis of Food*. 2 ed. New York, Elsevier, 1988. 389 p.

MAROULIS, Z. B., TSAMI, E.; MARINOS-KOURIS, D. SARAVACOS, G. D. Application of the GAB model to the moisture sorption isotherms for dried fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 7, p. 63-70, 1988.

MASTERS, K. **Spray Drying Handbook**. 3 ed. New York, Longman Scientific & Technical, 1997.

MATHLOUTHI, M.; ROGE, B. Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. **Food Chemistry**, London, v. 82, n. 1, p. 61–71, 2003.

- MATOS, A. T.; SEDIYAMA, M. A. N.; VIDIGAL, S. M. Características químicas, físicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de compostos orgânicos ou dejetos líquido de suínos. In: Seminário Mineiro Sobre Manejo e Utilização de Dejetos de Suínos, Ponte Nova. **Anais EPAMIG**. Viçosa. p. 33-34, 1995.
- MCMAHON, J. M.; WHITE, W. L. B.; SAYRE, R. T. Cyanogenesis in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 46, n. 288, p. 731-741, 1995.
- MCMINN, W. A. M.; AL-MUHTASEB, A. H.; MAGEE T.R.A. Enthalpy–entropy compensation in sorption phenomena of starch materials. **Food Research International**, v. 38, p. 505–510, 2005.
- MEDEIROS, M. L.; AYROSA, A. M. I. B.; PITOMBO, R. N. M.; LANNES, S. C. S. Sorption isotherms of cocoa and cupuaçu products. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 402-406, 2006.
- MEILGAARD, M. C.; CIVILLE, G. V.; CARR, B.T. **Sensory Evaluation Techniques**. 4 ed., Boca Raton: CRC Press, 448p., 2006.
- MÉLO, R. F.; FERREIRA, P. A.; RUIZ, H. A.; MATOS, A. T.; OLIVEIRA, L. B. O. Alterações físicas e químicas em três solos tratados com água residuária de mandioca. **Irriga**, v. 10, p. 383-392, 2005.
- MINIM, V. P. R. **Análise Sensorial: estudos com consumidores**. 3º Ed. Viçosa: Editora UFV, 2013.
- MOUBARAC, J. C.; BATAL, M.; MARTINS, A. P.; CLARO, R.; LEVY, R. B.; CANNON, G. et al. Processed and ultra-processed food products: consumption trends in Canada from 1938 to 2011. **Canadian Journal of Diet Practice and Research**, v. 75, n. 1, p.15-21, 2014.
- MULLER, H.G. **Introducción a la reología de los alimentos**, Editora Acribia, Zaragoza, 1973, p. 174.
- NAVARRO, R. F. **Fundamentos de reología de polímeros**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, p. 264, 1997.
- NICOLAS, L.; MARQUILLY, C.; O'MAHONY, M. The 9-point hedonic scale: are words and numbers compatible? **Food Quality and Preference**, v.21, n.8, p.1008-1015, 2010.
- OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P. R. Secagem por aspersão (*spray drying*) de extratos vegetais: bases aplicações. **Revista Brasileira de Farmacologia**, v. 20, n. 4, p. 641 – 650, 2010.
- PARK, K.J.; NOGUEIRA, R.I. Modelos de ajuste de isotermas de sorção de alimentos. In: **Engenharia Rural**, Piracicaba: ESALQ/USP, v. 3, n. 1, p.81-86, 1992.
- PASQUEL, A. Gomas: Utilização e aspectos reológicos. **Boletim Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas. v.33, n.1, p.86-97, 1999.
- PATINO, M. T. O. Viabilidade econômica de aproveitamento de biogás a partir de digestão anaeróbica da maniveira. In CEREDA, M. P (Org). **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização de mandioca**. São Paulo. Fundação Cargill, v 4, 320 p. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, v.4, 2001.

- PELEGRINE, D. H. G., VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C.A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Revista da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 1, p. 128-131, 2000.
- PENA, R.S.; RIBEIRO, C.C.; GRANDI, J.G. Aplicação de modelos matemático bi e tripamétricos na predição das isotermas de adsorção de umidade de guaraná (*Paullinia cupuna*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 1, p. 8-11, 2000.
- PÉREZ-ALONSO, C.; BERISTAIN, C. I.; LOBATO-CALLEROS, C.; RODRÍGUEZ HUEZO, M.E.; VERNON-CARTER, E.J. Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blended carbohydrate polymers. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 4, p. 753-760, 2006.
- PERRECHIL, F. A.; SANTANA, R. C.; FASOLIN, L. H.; SILVA, C. A. S.; CUNHA, R. L. Rheological and structural evaluations of commercial Italian salad dressings. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas. v. 30, n. 2, p. 477-482, 2010.
- QUEIROZ, M. I.; TREPTOW, R. O. **Análise Sensorial para a Avaliação da Qualidade dos Alimentos**. Rio Grande: Editora da Furg, p. 266, 2006.
- RAHMAN, M. S. **Food Properties Handbook**. Boca Raton: CRC Press, p. 86 1995.
- RAMTEKE R.S., SINGH, N.I., REKHA, M.N. EIPESON, W.E. Methods for concentration of fruit juices: a critical evaluation. **Jounal Food Science and Technology**, v. 30, n. 6, 391-402, 1993.
- RAO, M. A. Rheology of fluid and semisolid food: principles and applications. Aspen Publishers, Inc., p. 433, 1999.
- RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. **Engineering properties of foods**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, p. 531, 1995.
- RAO, M.A. Propriedades Reológicas dos Alimentos. Curso de Atualização do Departamento de Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica da Universidade de São Paulo, 1996.
- RÉ, M. I. Microencapsulação – em busca de produtos “inteligentes”. **Ciência hoje**, v. 27, n. 162, p. 24-29, 2000.
- RHA, C. Rheology of fluid food. **Food technology**, v. 32, p. 77-82, 1978.
- RMRDC, 2003. Multi-Disciplinary Committee Report of the Techno-Economic Survey of Food, Beverage and Southern Spain measured with duplicate diet Tobacco Sector (4 Update). **Raw Materials, Research and Development Council**, Federal Ministry of Science and Technology Abuja, Nigeria, 2003.
- RODRÍGUEZ, M. B. S.; MEGÍAS, S. M.; BAENA, B. M. Alimentos Funcionales y Nutrición Óptima. ¿CERCA O LEJOS? **Revista Española de Salud Pública**, v. 77, n. 3, p. 317-331, 2003.
- ROSENTHAL, D., MOREIRA, I.L. Algumas considerações sobre a natureza do processo de capacitação tecnológica: "fontes de inovação". **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 145-160, 1992.
- SALUNKHE D.K., BOLIN H.R., REDDY N.R. **Concentration of fruit and vegetable juices**. Em Storage, Processing and Nutritional Quality of Fruits and Vegetables, Vol. II (CRC Press Ed.), p. 126-136, 1993.

SAMAPUNDO, S.; DEVLIEGHIERE, F.; MEULENAER, B. D.; TUKWASE, A.; LAMBONI, Y.; DEBEVERE, J.M. Sorption isotherms and isosteric heats of sorption of whole yellow dent corn. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 168-175, 2007.

SARAIVA, F. Z., SAMPAIO, S. C., SILVESTRE, M. G., QUEIROZ, M. M. F., NÓBREGA, L. H. P., GOMES, M. Uso de manipueira no desenvolvimento vegetativo do milho em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 30-36, 2007.

SARAVACOS, D. G.; MAROULIS, Z. B. **Transport properties of food**. New York: Marcel Dekker, p. 63-105, 2001.

SCHLICH, P.; McEWAN, J.A. Preference mapping a statistical tool for the food industry. **Science des Aliments**, Paris, v. 12, p. 339-355, 1992.

SCHUCK, P. et al. Séchage des lactosérum setdérivés: rôledu lactose et de ladinamique de l'eau. **Le Lait**, Rennes, v. 84, n. 3, p. 243-268, 2004.

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

SILVA, F. C., GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C.A. Rheology of acerola juice: effects of concentration and temperature. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 24, p. 121-126, 2005.

SILVA, M. A. G.; MUNIZ, A. S.; COSTA, A. S.; MATA, J. D. V. Utilização de resíduo agroindustrial: rendimento de grãos e absorção de nutrientes pelo trigo. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005, Recife, PE. **Anais do XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. UFP, Recife: SBSCS/Embrapa, v. 1. p.CdRom, 2005.

SILVA-JÚNIOR, J. O. C.; VIEIRA, J. L. F., BARBOSA, W. L. R.; PEREIRA, N. L. Caracterização físico-química do extrato fluido e seco por nebulização de *Symphytum officinale* L. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, p. 671-677, 2006.

SOARES, L. M. V.; SHISHIDO, K.; MORAES, A. M. M.; MOREIRA, V. A. Composição mineral de sucos concentrados de frutas brasileiras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 2, p. 202-206, 2004.

STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**. 2<sup>nd</sup> ed. East Lansing -Freeman Press. p. 412, 1996.

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory Evaluation Practices**. 3 ed., San Diego: California Academic Press, 377 p., 2004,

TONELI, J. T., MURR, F.E., PARK, K.J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, v. 7, n. 2, p. 181-204, 2005.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineer**, v. 88, n. 3, p. 411-418, 2008.

TREYBALL, R.B. **Drying. Mass Tranfer Operations**. New York: McGraw-Hill, p. 569-575, 1968.

TUNC, S.; DUMAN, O. Thermodynamic properties and moisture adsorption isotherms of cottonseed protein isolate and different forms of cottonseed samples. **Journal of Food Engineering**, v. 81, p. 133-143, 2007.

VALENTAS, K. J., ROTSTEIN, E., SINGH, R. P. **Handbook of Food Engineering Practice**, Editora CRC Press, 1997. 718 p.

VASCONCELOS, E. A. F.; MEDEIROS, M. G. F.; RAFFI, F. N.; MOURA, T. F. A. L. Influência da temperatura de secagem e da concentração de Aerosil®200 nas características dos extratos secos por aspersão da *Schinus terebinthi folius Raddi* (*Anacardiaceae*). **Revista Brasileira de Farmacognosia**. v. 15, n. 3, p. 243-249, 2005.

WOOLFE, J. A. **Sweet Potato: An untapped food resource**. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. New York. p. 243, 1992.

## CAPITULO 2

---

### 2 COMPORTAMENTO REOLÓGICO DO TUCUPI CONCENTRADO

#### RESUMO

O tucupi é um líquido fermentado derivado da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), muito apreciado na Região Norte do Brasil, e que por suas características exóticas tem sido levado a outros lugares do mundo. Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento reológico do tucupi com 30, 35 e 40% de sólidos, concentrados a 50, 70 e 90°C. O estudo reológico foi realizado nas temperaturas de 25, 40, 60 e 80°C, com taxas de cisalhamento ascendentes e descendentes. A reologia a 25°C indicou que a gelatinização parcial do amido durante a concentração provoca a redução da viscosidade do produto, e se a concentração for realizada em temperatura que favoreça a gelatinização total do amido, a viscosidade do produto sofre um aumento. Em geral, o tucupi concentrado se comportou como um fluido pseudoplástico, mas nos ensaios realizados a 60 e 80°C, com taxas de cisalhamento ascendentes, o produto se comportou como um fluido dilatante. Foram observadas histereses entre as curvas de fluxo (ascendente e descendente) a partir de 40°C, o que caracteriza o tucupi concentrado como um fluido reopético. O modelo Ostwald-de-Waele mostrou-se eficiente na predição das curvas de fluxo do produto e a equação de Arrhenius descreveu bem a dependência entre a viscosidade aparente e a temperatura, para os dados reológicos obtidos com taxas de cisalhamento ascendentes. Assim, com esta equação foram determinados os valores da energia de ativação ( $E_a$ ) para o produto, que variaram de 16,86 a 25,23 kJ/mol, em função da concentração.

**Palavras-chaves:** *Manihot esculenta*; manipueira; concentração; temperatura.

## ABSTRACT

The tucupi is a fermented liquid derived from cassava (*Manihot esculenta* Crantz), which is much appreciated in Northern Brazil, and for its exotic features have been taken to other parts of the world. This work aimed to evaluate the rheological behavior of tucupi with 30, 35 and 40% solids, obtained in three concentration temperatures (50, 70 and 90 °C). The study was conducted at 25, 40, 60 and 80 °C, with upward and downward shear rates. The rheology at 25 °C indicated that partial starch gelatinization during concentration decreases the viscosity of the product, and if concentration is performed at a temperature that favors the complete gelatinization of the starch, the product viscosity is increased. In general, the concentrated tucupi behaved as a pseudoplastic fluid, but in the tests performed at 60 to 80 °C with upwards shear rates, the product behaved as a dilatant fluid. Hysteresis was observed between the flow curves (upward and downward) from 40 °C, which characterizes the concentrate tucupi as a rheopectic fluid. The Ostwald-de Waele-model proved to be effective in prediction of product flow curves and the Arrhenius equation describes well the dependence of the apparent viscosity and temperature for the rheological data obtained with upward shear rates. Thus, with this equation the activation energy values ( $E_a$ ) for the product were determined, which ranged from 16.86 to 25.23 kJ/mol, as a function of concentration.

**Keywords:** *Manihot esculenta*; manipueira; concentration; temperature.

## 2.1 INTRODUÇÃO

O tucupi é um líquido parcialmente fermentado, obtido a partir das raízes da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Este produto é produzido e largamente consumido na região Norte do Brasil, como ingrediente no preparo de diversos alimentos e na forma de molhos (CEREDA; VILPOUX, 2003). Embora o tucupi apresente um baixo valor de pH (3,0 – 3,4) e uma elevada acidez (3,9 – 10,7 meq NaOH/100 mL), o produto é praticamente constituído por água (94,6 – 97,5% de umidade), o que o torna propenso a processos degradativos, de origem bioquímica e microbiológica (CHISTÉ; COHEN; OLIVEIRA, 2007).

A concentração de alimentos líquidos é bastante utilizada como método de conservação e é uma etapa crucial para a indústria de produtos fluidos com baixo teor de sólidos, especialmente como pré-tratamento para a secagem. A operação de concentração provoca a redução do volume e do peso do produto, favorecendo a redução de custos com armazenamento, embalagem e transporte. A redução da atividade de água também ocorre com a concentração, o que aumenta a estabilidade microbiológica e bioquímica do produto (BRENNAN; BUTTERS; COWELL, 1999; SILVA; GUIMARÃES; GASPARETTO, 2005). A concentração do tucupi figura como uma alternativa para melhorar a preservação do produto e para viabilizar o seu emprego no desenvolvimento de novos produtos.

O conhecimento dos fenômenos físicos associados com o escoamento (deformação plástica) de alimentos fluidos é de fundamental importância para o projeto e dimensionamento de equipamentos, como bombas e tubulações, agitadores, trocadores de calor, homogeneizadores, extrusoras, entre outros. Tais parâmetros são também importantes no controle de qualidade, para a definição de condições de processo e armazenamento do produto, bem como fornecem informações para a definição da vida de prateleira do mesmo (STEFFE, 1996; RAO, 1999; ABU-JDAYIL; AL-MALAH; ASOUD, 2002; SILVA; GUIMARÃES; GASPARETTO, 2005).

O comportamento reológico de um fluido pode ser Newtoniano ou não-Newtoniano, independente ou dependente do tempo, em função da origem, da composição e do comportamento estrutural do produto (RAO; RIZVI, 1986). Durante o processamento, a estocagem, o transporte e o consumo, um alimento fluido pode sofrer variações de concentração e de temperatura, o que torna importante o conhecimento das suas propriedades reológicas, em função de tais parâmetros

(IBARZ; CÁNOVAS, 2002). Tais informações são importantes para o dimensionamento de operações unitárias, como o tratamento térmico e a concentração (SILVA; GUIMARÃES; GASPARETTO, 2005).

Por não haver na literatura científica nenhuma informação sobre a reologia do tucupi concentrado, este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento reológico do tucupi, com diferentes concentrações de sólidos totais, obtido em diferentes temperaturas de concentração, bem com avaliar o efeito da temperatura na reologia do produto final.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Amostra

As amostras de tucupi foram adquiridas de um produtor localizado no município de Acará (1° 57' 39" Sul e 48° 11' 48" Oeste) (Pará, Brasil). Foi utilizado no estudo um tucupi fervido, sem adição de condimentos e cloreto de sódio.

### 2.2.2 Concentração do tucupi

O tucupi foi concentrado em rotaevaporador (Marconi, São Paulo, Brasil) acoplado a uma bomba de vácuo (Quimis, 60 LPM, São Paulo, Brasil). A concentração foi realizada à pressão reduzida, nas temperaturas de 50, 70 e 90°C, até o produto atingir 30, 35 e 40% de sólidos totais. Após concentradas, as amostras foram armazenadas em frascos âmbar sob refrigeração ( $\approx 5^\circ\text{C}$ ), até o momento das análises.

### 2.2.3 Caracterização do tucupi concentrado

Para a caracterização do tucupi concentrado, com 30, 35 e 40% de sólidos totais, foram realizadas as seguintes determinações analíticas: sólidos totais (ST) (método 925.09), teor de amido (método 996.11), de acordo com a AOAC (2010). O pH e a acidez total titulável foram determinados por metodologias descritas pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008). Todas as análises foram realizadas em triplicatas.

### 2.2.4 Medidas reológicas

Os dados reológicos do tucupi concentrado foram obtidos em reômetro (Brookfield, R/S PLUS - SST, Massachusetts, EUA), acoplado a um banho termostático (Lauda Ecoline, RE 200, New Jersey, EUA) e conectado a um sistema computadorizado para a aquisição de dados. Os dados reológicos foram obtidos pelo método de rampa CR (*Control Rate*), com variação da taxa de cisalhamento de 0 a 450 s<sup>-1</sup> (curva ascendente – ida) e de 450 a 0 s<sup>-1</sup> (curva descendente – volta), com leitura de 40 pontos em cada caso. Foi utilizado um sistema cone/placa, com *spindle* C50-1 e espaçamento de 1 mm. As curvas reológicas foram obtidas nas temperaturas de 25, 40, 60 e 80°C e todos os ensaios foram realizados em duplicata.

### 2.2.5 Modelagem matemática

Para a predição do comportamento reológico do tucupi, nas diferentes condições estudadas, foram avaliados os ajustes dos modelos de Newton (Equação 2.1) e Ostwald-de-Waele (Equação 2.2), aos dados experimentais. Foram utilizados apenas estes modelos, pois as curvas de fluxo não evidenciaram a existência de uma tensão inicial, para o início do escoamento do produto, dentro do domínio experimental. O coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), o valor do chi-quadrado reduzido (χ<sup>2</sup>) e raiz do erro médio quadrado (RMSE) (Equação 2.3) foram os parâmetros utilizados para a avaliação dos ajustes.

$$\tau = \eta \cdot \gamma \quad (2.1)$$

$$\tau = k \cdot \gamma^n \quad (2.2)$$

$$\text{RMSE} = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (m_{\text{exp}} - m_{\text{pred}})^2 \right]^{1/2} \quad (2.3)$$

onde,  $\tau$  = tensão de cisalhamento (Pa);  $\gamma$  = taxa de cisalhamento (s<sup>-1</sup>);  $\eta$  = viscosidade (Pa.s);  $k$  = índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>);  $n$  = índice de comportamento;  $m_{\text{exp}}$  = dado experimental;  $m_{\text{pred}}$  = dado predito pelo método ajustado;  $N$  = número de medidas experimentais.

Os valores de viscosidade aparente ( $\eta_a$ ) foram calculados pela Equação (2.4), na qual os valores de  $\tau$  foram calculados com o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais de  $\tau$  versus  $\gamma$ . O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente foi avaliado pela equação análoga à Lei de Arrhenius (Equação 2.5) (STEFFE, 1996). A partir do coeficiente angular da regressão linear de  $\eta_a$  versus  $1/T$  (Equação 2.6) foi obtido o valor da energia de ativação ( $E_a$ ), para o produto. Na regressão foram utilizados valores de  $\eta_a$  determinados para uma taxa de cisalhamento de  $100 \text{ s}^{-1}$ , para cada temperatura de trabalho ( $25 - 80^\circ\text{C}$ ).

$$\eta_a = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2.4)$$

$$\eta_a = A \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}} \quad (2.5)$$

$$\ln \eta_a = \ln A - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad (2.6)$$

onde,  $\eta_a$  = viscosidade aparente (Pa.s); A = constante de Arrhenius (adimensional);  $E_a$  = energia de ativação (kJ/mol), R = constante universal dos gases (8,314 J/mol.K) e T = temperatura absoluta (K).

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

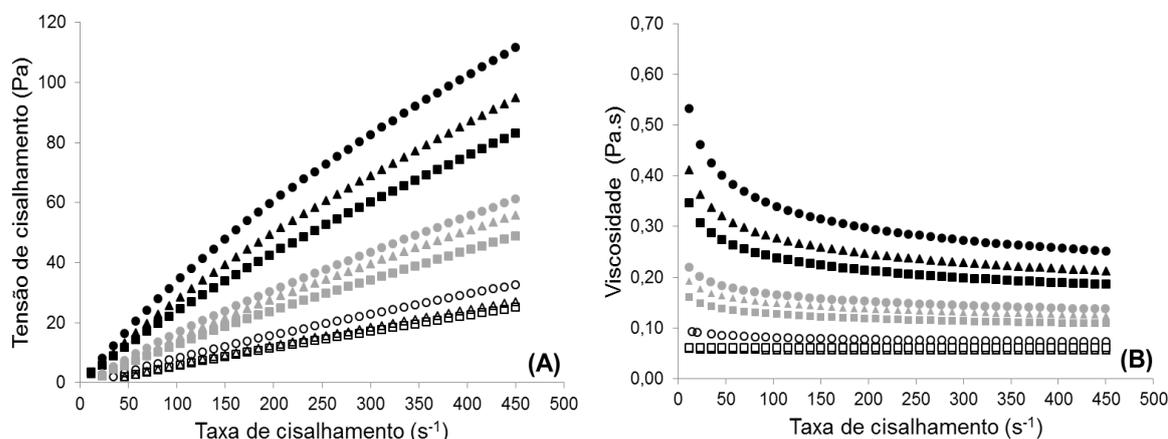
### 2.3.1 Caracterização do tucupi concentrado

Os produtos concentrados, com 30, 35 e 40% de sólidos totais, apresentaram as seguintes características, respectivamente:  $3,94 \pm 0,01$ ;  $3,40 \pm 0,01$  e  $3,24 \pm 0,01$  de pH, acidez total de  $72,74 \pm 0,87$ ;  $79,27 \pm 0,65$  e  $90,18 \pm 0,05$  meq NaOH/100 mL e  $5,82 \pm 0,31$ ;  $6,64 \pm 0,17$  e  $7,76 \pm 0,42$  % de amido.

### 2.3.2 Comportamento reológico do tucupi concentrado

As curvas de fluxo ( $\tau$  versus  $\gamma$ ) e de viscosidade ( $\eta$  versus  $\gamma$ ) obtidas a  $25^\circ\text{C}$ , para o tucupi concentrado são apresentadas graficamente na Figura 2.1, onde pode ser observado o efeito da concentração e da temperatura de concentração sobre o comportamento reológico do produto. De acordo com o comportamento das curvas, tanto o aumento da concentração de sólidos, quanto da temperatura de

concentração do tucupi influenciaram no comportamento reológico do produto, quando analisado a 25°C. De maneira geral, o efeito mais representativo foi o da concentração, porém, com o aumento do teor de sólidos no tucupi é possível notar que houve um efeito mais representativo da temperatura de concentração.



**Figura 2.1.** Efeito da concentração e da temperatura de concentração do tucupi, sobre a relação entre tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento (A) e viscosidade e taxa de cisalhamento (B). 30% de ST (○ 50°C, □ 70°C, △ 90°C); 35% de ST (● 50°C, ■ 70°C, ▲ 90°C); e 40% de ST (● 50°C, ■ 70°C, ▲ 90°C).

Em geral, a tensão (Figura 2.1A) e a viscosidade (Figura 2.1B) do tucupi concentrado diminuíram com o aumento da temperatura de concentração, para um valor de taxa constante (100 s<sup>-1</sup>). Porém, as curvas de fluxo e de viscosidade obtidas para o produto concentrado a 90°C são superiores às obtidas para o produto concentrado a 70°C, indicando tensões e viscosidades superiores, para o primeiro, em toda a faixa de taxa de cisalhamento estudada. Este comportamento pode ser atribuído aos processos de gelatinização e retrogradação do amido presente no produto. De acordo com Hoover (2001), a gelatinização do amido de mandioca ocorre entre 57 e 84°C. Com base nisto, é possível afirmar que no produto concentrado a 50°C não ocorreu a gelatinização do amido; na concentração realizada a 70°C a gelatinização do amido foi parcial; já na concentração realizada a 90°C a gelatinização do amido foi total. A gelatinização ocorre quando os grânulos de amido são aquecidos em água, provocando uma desorganização estrutural e um inchamento irreversível dos grânulos (SINGH et al. 2003). À medida que os grânulos se expandem, a amilose contida no interior da estrutura do amido passa para a fase aquosa resultando no aumento das propriedades reológicas do sistema

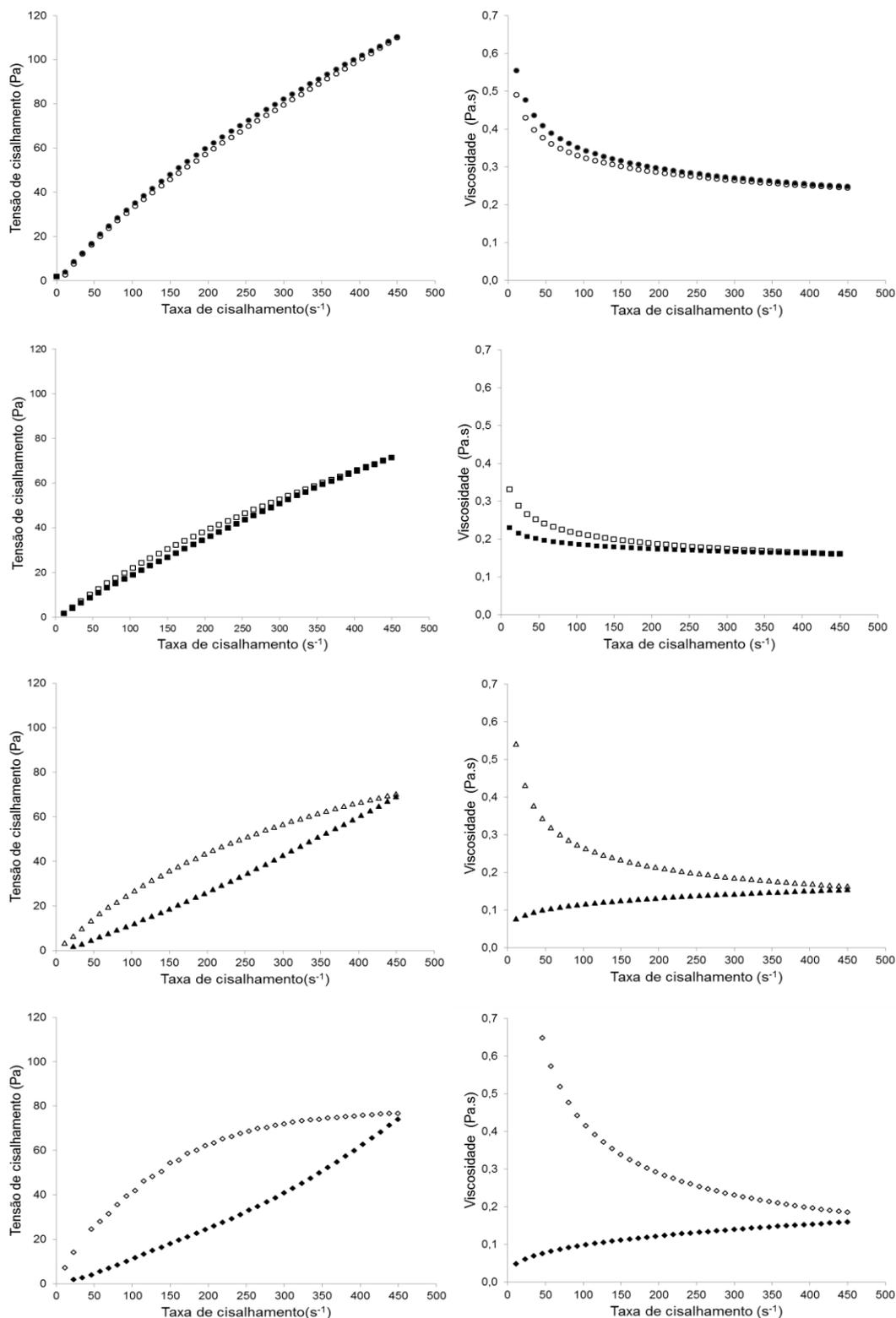
(THARANATHAN, 2002). Quando a máxima absorção de água pelo amido é alcançada, os grânulos começam a se romper, o que leva a uma diminuição da viscosidade, a qual pode ser acentuada se a taxa de deformação for elevada. Durante o resfriamento ocorre a retrogradação, quando os polímeros solubilizados do amido voltam a associar-se em uma estrutura ordenada. Dependendo do tipo e concentração do amido, a estrutura final pode ser a de uma solução espessa ou de um gel (ELIASSON, 1996; SINGH et al. 2003). Desta forma, como no tucupi concentrado a 90°C a gelatinização do amido foi total, a sua retrogradação foi também mais significativa, o que justifica a elevação da viscosidade.

Independentemente da concentração e da temperatura de concentração, todas as amostras de tucupi concentrado apresentaram comportamento típico de fluido não-newtoniano. A diminuição da tangente nas curvas de tensão (Figura 2.1A) e da viscosidade (Figura 2.1B), com o aumento da taxa de cisalhamento aplicada, classificam o produto como um fluido pseudoplástico (SCHRAMM, 2000). Este efeito foi mais evidente com o aumento da concentração do produto. Tecante e Doublier (1999), Zimeri e Kokini (2003) e Gencelep et al. (2015) observaram comportamento de fluido pseudoplástico, para produtos com amido na composição. Este tipo de comportamento foi também observado por Horne (1998) e Lucey (2002), para produtos proteicos. O comportamento pseudoplástico pode ser explicado pelo enfraquecimento das interações existentes entre as moléculas constituintes do produto, com o aumento da taxa de cisalhamento aplicada, o que provoca a diminuição da energia de interação molecular (PASEEPHOL et al., 2008; GOZZO; CUNHA; MENEGALLI, 2009).

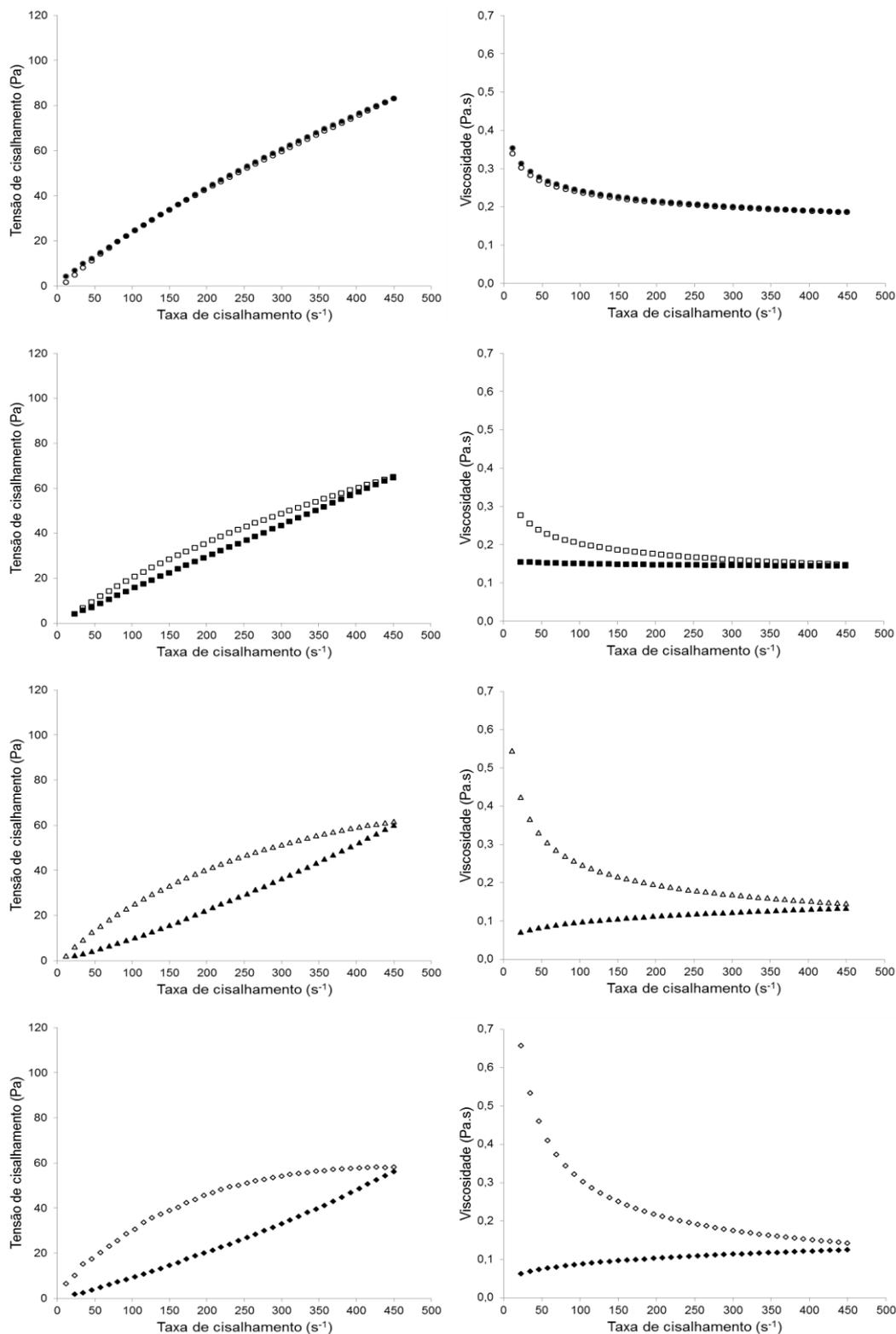
Nas Figuras 2.2, 2.3 e 2.4 são apresentadas as curvas de fluxo ( $\tau$  versus  $\gamma$ ) e de viscosidade ( $\eta$  versus  $\gamma$ ), para o tucupi com 40% de sólidos, onde são avaliados os efeitos da temperatura de concentração (50, 70 e 90°C) e da temperatura na qual foi realizada a análise reológica. De acordo com as curvas de fluxo, quando a análise reológica foi realizada a partir de 40°C, foram observadas histereses, área compreendida entre as curvas ascendente (ida) e descendente (volta) (HOLDSWORTH, 1993), a qual aumentou consideravelmente com o aumento da temperatura da análise reológica. O fato das curvas de fluxo descendentes estarem acima das curvas ascendentes caracteriza um aumento na viscosidade do produto com o tempo de cisalhamento, e evidencia um efeito oposto à tixotropia, que é característico de fluidos reopéticos (HOLDSWORTH, 1993; RAO, 1999;

SARAVACOS; MAROULIS, 2001). Suspensões de amido podem apresentar características tixotrópicas, em baixas concentrações, e reopéticas a medida em que aumenta a concentração da suspensão, ou ainda podem apresentar as duas características (TATTIYAKUL; RAO, 2000).

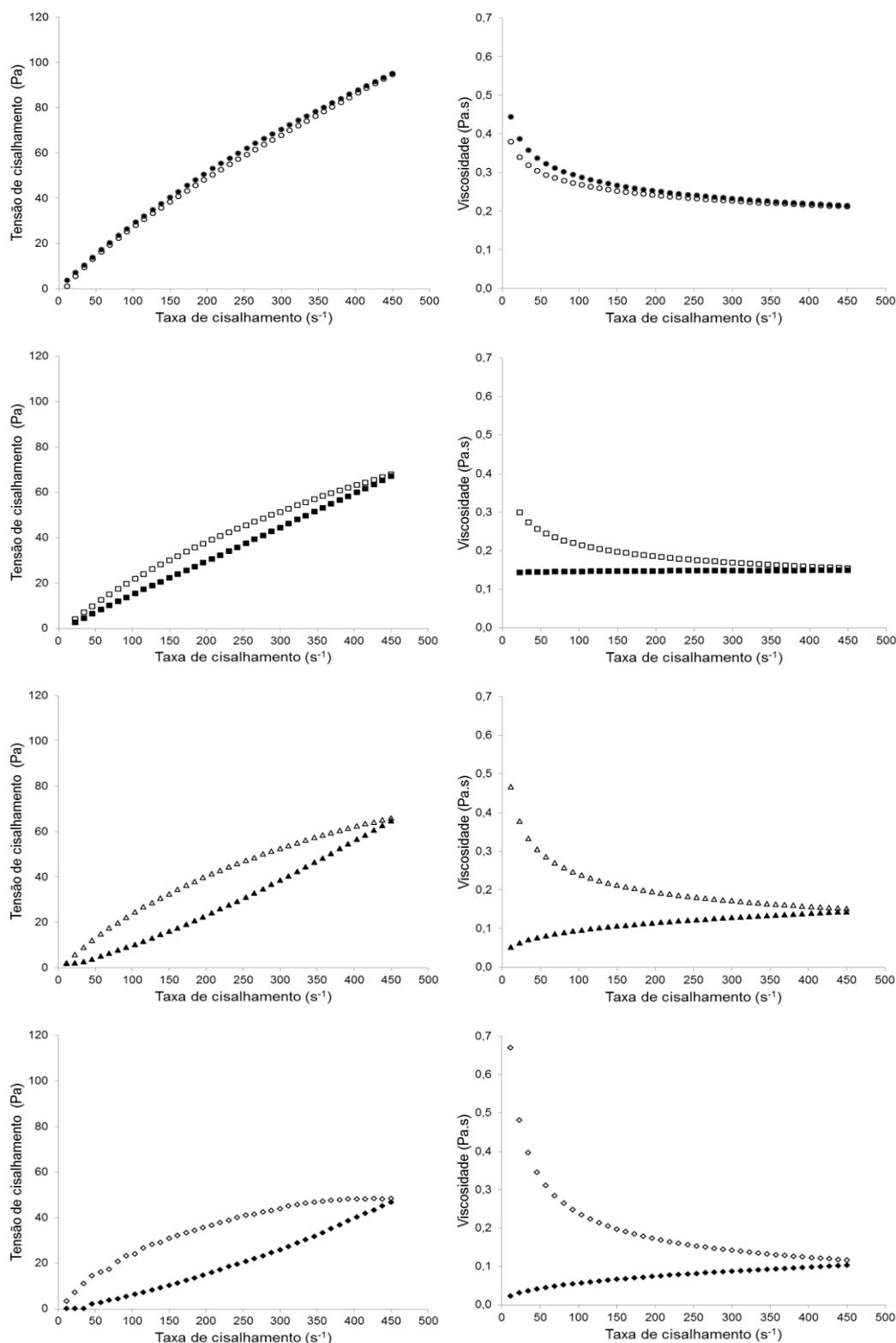
A tixotropia é comum para muitos fluidos, enquanto a reopexia é, de fato, muito rara (RAO, 1999; SCHRAMM, 2000). O comportamento reopético não é comumente observado em alimentos, mas tem sido observado em suspensões e pastas de amido concentradas. Segundo Tárrega, Véllez-Ruiz, Costell (2005), os géis de amido modificado de milho e mandioca, na concentração de 4%, apresentaram comportamento tixotrópico, com exceção do gel de amido de milho a 6%, que apresentou comportamento reopético. Tecante e Doublier (1999) e Nayouf, Loisel e Doublier (2003) observaram um comportamento reopético nas curvas de fluxo de pastas de amido de milho ceroso reticuladas e sugerem que o comportamento de reopexia poderia ser explicado por um empacotamento mais denso dos grânulos de amidos provocado pelo cisalhamento. Assim, em suspensões concentradas de amidos cerosos com baixo conteúdo de amilose, as características reológicas estariam determinadas pela fração volumétrica do amido e sua deformabilidade.



**Figura 2.2.** Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento e viscosidade e taxa de cisalhamento para o tucupi com 40% de sólidos, concentrado a 50°C, analisado a: (●) 25°C (ascendente); (○) 25°C (descendente); (■) 40°C (ascendente); (□) 40°C (descendente); (▲) 60°C (ascendente); (△) 60°C (descendente); (◆) 80°C (ascendente); (◇) 80°C (descendente).



**Figura 2.3.** Tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento e viscosidade e taxa de cisalhamento para o tucupi com 40% de sólidos concentrado a 70°C analisados a: (●) 25°C (ascendente); (○) 25°C (descendente); (■) 40°C (ascendente); (□) 40°C (descendente); (▲) 60°C (ascendente); (△) 60°C (descendente); (◆) 80°C (ascendente); (◇) 80°C (descendente).



**Figura 2.4.** Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento e viscosidade e taxa de cisalhamento para o tucupi com 40% de sólidos concentrado a 90°C analisados a: (●) 25°C (ascendente); (○) 25°C (descendente); (■) 40°C (ascendente); (□) 40°C (descendente); (▲) 60°C (ascendente); (△) 60°C (descendente); (◆) 80°C (ascendente); (◇) 80°C (descendente).

### 2.3.3 Modelagem matemática

Nas Tabelas 2.1 e 2.2 são apresentados os valores dos parâmetros dos ajustes dos modelos reológicos aos dados experimentais, obtidos para o tucupi concentrado, nas diferentes condições estudadas. De acordo com os resultados, o modelo de Ostwald-de-Waele apresentou melhores ajustes ( $R^2 > 0,998$ ;  $\chi^2 < 1,466$ ;  $RMSE < 0,194$ ), que o modelo de Newton ( $R^2 > 0,978$ ;  $\chi^2 < 30,491$ ;  $RMSE < 0,884$ ), para os dados reológicos obtidos a 25°C (Tabela 2.1); condição na qual não foi observado o efeito de histerese. Nas condições experimentais nas quais este fenômeno foi observado (40-80°C) (Tabela 2.1), o modelo de Ostwald-de-Waele apresentou excelentes ajustes para dados obtidos com taxas de deformação ascendentes ( $R^2 > 0,999$ ;  $\chi^2 < 1,005$ ;  $RMSE < 0,163$ ). Para os dados obtidos com taxas de deformação descendentes, os ajustes do modelo de Ostwald-de-Waele foram também muito bons, porém ocorreu um negligenciamento dos mesmos, com o aumento da temperatura na qual os dados reológicos foram obtidos: 40°C ( $R^2 > 0,998$ ;  $\chi^2 < 1,183$ ;  $RMSE < 0,176$ ), 60°C ( $R^2 > 0,994$ ;  $\chi^2 < 3,492$ ;  $RMSE < 0,299$ ) e 80°C ( $R^2 > 0,977$ ;  $\chi^2 < 17,185$ ;  $RMSE < 0,672$ ).

**Tabela 2.1.** Valores dos parâmetros da modelagem obtidos a 25°C, em função da concentração e da temperatura de concentração do tucupi.

Modelo	Parâmetro	Concentração do tucupi / Temperatura de concentração								
		30%			35%			40%		
		50°C	70°C	90°C	50°C	70°C	90°C	50°C	70°C	90°C
Newtoniano	$\eta$ (Pa.s)	0,075	0,056	0,060	0,143	0,113	0,130	0,269	0,196	0,226
	$R^2$	0,996	0,998	0,998	0,988	0,992	0,990	0,969	0,981	0,978
	$\chi^2$	0,356	0,077	0,080	3,356	1,398	2,342	30,491	10,519	16,126
	RMSE	0,098	0,046	0,047	0,297	0,192	0,248	0,884	0,519	0,643
Ostwald-de-Waele	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	0,113	0,061	0,062	0,300	0,208	0,255	0,879	0,525	0,640
	$n$	0,929	0,986	0,997	0,871	0,894	0,883	0,795	0,830	0,819
	$R^2$	0,999	0,998	0,998	0,999	0,999	0,999	0,998	0,999	0,999
	$\chi^2$	0,105	0,074	0,082	0,286	0,125	0,268	1,466	0,276	0,687
	RMSE	0,053	0,045	0,048	0,087	0,057	0,084	0,194	0,084	0,133

**Tabela 2.2.** Valores dos parâmetros da modelagem do tucupi com 40% de sólidos, em função da temperatura de concentração e da análise reológica.

Modelo	Parâmetro	Temperatura da análise reológica					
		40°C		60°C		80°C	
		Ascendente	Descendente	Descendente	Descendente	Ascendente	Descendente
<b>Concentração a 50°C</b>							
Newtoniano	$\eta$ (Pa.s)	0,166	0,172	0,145	0,181	0,145	0,224
	R <sup>2</sup>	0,997	0,984	0,993	0,945	0,983	0,608
	$\chi^2$	2,559	11,833	5,719	41,009	15,220	228,697
	RMSE	0,256	0,558	0,388	1,025	0,633	2,453
Ostwald-de-Waele	k (Pa.s <sup>n</sup> )	0,293	0,536	0,047	1,206	0,022	5,348
	N	0,902	0,803	1,194	0,671	1,324	0,450
	R <sup>2</sup>	0,999	0,999	0,999	0,997	0,999	0,977
	$\chi^2$	0,240	0,759	0,022	2,562	1,005	17,185
	RMSE	0,079	0,141	0,024	0,256	0,163	0,672
<b>Concentração a 70°C</b>							
Newtoniano	$\eta$ (Pa.s)	0,145	0,158	0,124	0,163	0,114	0,169
	R <sup>2</sup>	0,999	0,981	0,991	0,924	0,990	0,711
	$\chi^2$	0,152	11,855	5,208	43,122	5,368	110,788
	RMSE	0,063	0,559	0,370	1,052	0,376	1,685
Ostwald-de-Waele	k (Pa.s <sup>n</sup> )	0,170	0,539	0,035	1,318	0,028	3,335
	N	0,973	0,787	1,218	0,637	1,240	0,482
	R <sup>2</sup>	0,999	0,999	0,999	0,994	0,999	0,984
	$\chi^2$	0,022	0,791	0,034	3,492	0,190	7,676
	RMSE	0,024	0,144	0,030	0,299	0,071	0,444
<b>Concentração a 90°C</b>							
Newtoniano	$\eta$ (Pa.s)	0,148	0,166	0,132	0,168	0,091	0,137
	R <sup>2</sup>	0,999	0,979	0,988	0,954	0,975	0,805
	$\chi^2$	0,069	14,785	8,900	30,504	9,120	59,261
	RMSE	0,043	0,624	0,478	0,884	0,503	1,233
Ostwald-de-Waele	k (Pa.s <sup>n</sup> )	0,137	0,601	0,027	0,989	0,009	2,149
	N	1,013	0,777	1,275	0,693	1,406	0,523
	R <sup>2</sup>	0,999	0,998	0,999	0,997	0,999	0,988
	$\chi^2$	0,039	1,183	0,067	2,116	0,065	4,019
	RMSE	0,032	0,176	0,041	0,233	0,043	0,321

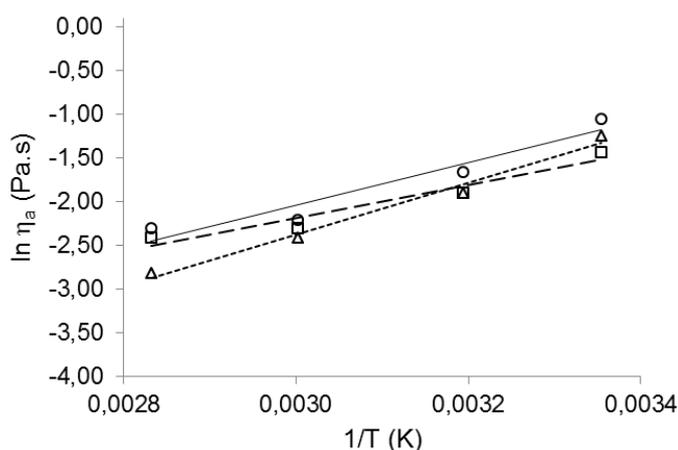
Os valores do índice de comportamento do fluido ( $n$ ) obtidos para o modelo de Ostwald-de-Waele (Tabelas 2.1 e 2.2) confirmam que, de maneira geral, o tucupi concentrado comportou-se como um fluido pseudoplástico ( $n < 1$ ), independente da concentração do produto e da temperatura da análise reológica; porém, o aumento da temperatura da análise reológica foi mais representativo sobre este comportamento, para as curvas de fluxo obtidas com taxas de cisalhamento descendentes (volta). No entanto, foram observados valores  $n > 1$  para as curvas de

fluxo obtidas com taxas de cisalhamento ascendentes, quando os ensaios reológicos foram realizados a 60°C e 80°C. Nestas condições, o produto se comportou como um fluido dilatante, e este comportamento se tornou mais evidente com o aumento da temperatura, tanto de concentração do produto, quanto da análise reológica.

De maneira geral, o valor do índice de consistência do fluido ( $k$ ) diminuiu com o aumento da temperatura de concentração do produto e com a temperatura da análise reológica, para as curvas de fluxo obtidas com taxas de cisalhamento ascendente. Por sua vez, o valor de  $k$  aumentou com a temperatura da análise reológica, para as curvas de fluxo obtidas com taxas de cisalhamento descendentes, independente da temperatura de concentração utilizada.

### 2.3.4 Energia de ativação

A equação análoga à Lei de Arrhenius (Equação 2.4) representou bem o efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente, calculada pelo modelo de Ostwald-de-Waele, para os dados reológicos obtidos com taxas de cisalhamento ascendentes ( $R^2 > 0,98$ ) (Figura 2.5). Por outro lado, quando os dados foram obtidos com taxas de cisalhamento descendentes, não foram observados bons ajustes ( $R^2 < 0,21$ ). Desta forma, para o cálculo da energia de ativação ( $E_a$ ) foram utilizados apenas os dados reológicos obtidos com taxas de cisalhamento ascendentes.



**Figura 2.5.** Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente do tucupi com 40% de sólidos concentrado a 50°C (○, —), 70°C (□, ---) e 90°C (△,.....), calculada para uma taxa de cisalhamento de 100 s<sup>-1</sup>.

Os valores de  $E_a$  calculados para uma taxa de cisalhamento de  $100 \text{ s}^{-1}$  foram: 20,11 kJ/mol para o produto concentrado a  $50^\circ\text{C}$ ; 16,86 kJ/mol para o produto concentrado a  $70^\circ\text{C}$ ; e 25,23 kJ/mol para o produto concentrado a  $90^\circ\text{C}$ . Coutinho e Cabello (2005) observaram um valor de  $E_a$  de 19,48 kJ/mol para um gel com 10% de amido de mandioca. Segundo Rao (1999), géis de polissacarídeos podem apresentar valores de  $E_a$  entre 10 e 273 kJ/mol. Os valores de  $E_a$  indicam a sensibilidade da viscosidade em função da temperatura; e quanto maior o valor de  $E_a$ , mais sensível é o produto as alterações reológicas (STEFFE, 1996). Dessa forma, a viscosidade do produto concentrado a  $90^\circ\text{C}$  apresentou uma maior sensibilidade térmica, enquanto a viscosidade do produto concentrado a  $70^\circ\text{C}$  sofreu menores efeitos da temperatura.

## 2.4 CONCLUSÕES

O estudo reológico a  $25^\circ\text{C}$  indicou que a concentração do tucupi (30 – 40%), em temperatura de gelatinização parcial do amido, provoca a redução da viscosidade do produto, enquanto que a utilização de uma temperatura de concentração, de gelatinização total do amido, provoca um aumento da viscosidade do produto. Em geral, o tucupi concentrado se comportou como um fluido pseudoplástico, no domínio experimental estudado; porém, para os ensaios reológicos realizados a  $60^\circ\text{C}$  e  $80^\circ\text{C}$ , com taxas de cisalhamento ascendentes, o produto se comportou como um fluido dilatante. Foram observadas histereses entre as curvas de fluxo (ascendente e descendente) obtidas em temperaturas a partir de  $40^\circ\text{C}$ , o que caracteriza o tucupi concentrado como um fluido reopético, em tais condições. O modelo de Ostwald-de-Waele mostrou-se altamente eficiente na predição das curvas de fluxo do produto analisado. A dependência da viscosidade aparente com a temperatura foi bem descrita por uma equação do tipo Arrhenius, para as curvas de fluxo obtidas com taxas de cisalhamento ascendentes, e os valores de energia de ativação ( $E_a$ ) obtidas para o tucupi concentrado variaram de 20,11 kJ/mol a 25,23 kJ/mol.

## REFERÊNCIAS

- ABU-JDAYIL, B.; AL-MALAH, K.; ASOUD, H. Rheological characterization of milled sesame. **Food Hydrocolloids**, v. 16, n. 1, p. 55-61, 2002.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis of association of Official Analytical Chemists International**. 18<sup>th</sup> ed. Arlington: AOAC International, 2010.
- BRENNAN, J. G.; BUTTERS, J. R.; COWELL, N. D. Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza, 1999.
- CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. Produtos Regionais a Base de Mandioca ou Derivados. In: CEREDA, M.P. **Tecnologia, Uso e Potencialidade de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v. 4, n. 1, p. 13-37, 2003.
- CHISTÉ, R. C., COHEN, K. O.; OLIVEIRA, S. S. Estudo das propriedades físico-químicas do tucupi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 437-440, 2007.
- COUTINHO, A. P. C.; CABELLO, C. Rheological characterization of cassava starch. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**. Botucatu, v. 1, n. 40-48, 2005.
- ELIASSON, A. C. **Carbohydrates in food**. New York: Marcel Dekker, p. 664, 1996.
- GENCCELEP, H.; SARICA OGLU, F. T.; ANIL, M.; AGAR, B.; TURHAN, S. The effect of starch modification and concentration on steady-state and dynamic rheology of meat emulsions. **Food Hydrocolloids**, v. 48, p. 135-148, 2015.
- GOZZO, A. M., CUNHA, R. L.; MENEGALLI, F. C. Viscosidade extensional e em cisalhamento de suspensões acidificadas de amido de amaranto e caseinato de sódio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n. 29, v. 3, p.587-596, 2009.
- HOLDSWORTH, S. D. Rheological models used for the prediction of the flow properties of food products: a literature review. **Transactions of the Institution of Chemical Engineers**, London, v. 71, n.c, p.139-179, 1993.
- HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrates Polymers**, v. 45, p. 253-267, 2001.
- HORNE, D. S. Casein interactions: casting light on the *Black Boxes*, the structure in dairy products. **International Dairy Journal**, Barking, v. 8, n. 3, p.171-177, 1998.
- IAL - Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 1 ed. Digital, São Paulo: IAL, 1020p. 2008.
- IBARZ, A.; CÁNOVAS, G. V. B. **Food preservation technology series: Unit operations in food engineering**. Ed: CRC Press Inc, v. 2, p. 89 – 139. 2002.
- LUCEY, J. A. Formation and physical properties of milk protein gels. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, n. 2, p. 281-294, 2002.
- NAYOUF, M., LOISEL, C.; DOUBLIER, J. L. Effect of thermomechanical treatment on the rheological properties of crosslinked waxy corn starch. **Journal of Food Engineering**, v. 59, n. 2-3, p. 209-219, 2003.
- NUESSLI, J., HANDSCHIN, S., CONDE-PETIT, B.; ESCHEN F. Rheology and structure of amylopectin potato starch dispersions without and with emulsifier addition. **Starch-Starke**, v. 52, n. 22–27, 2000.

PASEEPHOL, T.; SMALL, D. M., SHERKAT, F. Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition. **Journal of Texture Studies**, v. 39, n. 6, p. 617-634, 2008.

RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. **Engineering properties of foods**. 2 ed. New York: Marcel Dekker, p.531, 1995.

RAO, A. M. **Rheology of fluid and semisolid fluids: principles and applications** 1<sup>st</sup>. ed., Maryland: An Aspen Publication. 433, 1999.

SARAVACOS, D. G.; MAROULIS, Z. B. **Transport properties of food**. New York: Marcel Dekker, p. 63-105, 2001.

SCHRAMM, G. **A practical Approach to Rheology and Rheometry**, (2<sup>nd</sup> ed.), Thermo Haake Rheology, Germany, 2000.

SILVA, F. C., GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C.A. Rheology of acerola juice: effects of concentration and temperature. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n. 24, p. 121-126, 2005.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, n. 219-231, 2003.

STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**. (2<sup>nd</sup>ed.). East Lansing -Freeman Press. p. 412. 1996.

TÁRREGA, A., VÉLEZ-RUIZ, J. F.; COSTELL, E. Influence of milk on the rheological behaviour of cross-linked waxy maize and tapioca starch dispersions. **Food Research International**, v. 38, n. 7, p. 759-768, 2005.

TATTIYAKUL, J.; RAO, M. A. Rheological behavior of cross-linked waxy maize starch dispersion during and after heating. **Carbohydrate Polymers**, v. 43, n. 3, p. 215-222, 2000.

THARANATHAN, R.N. Food-derived carbohydrates – Structural complexity and functional diversity. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 22, p. 65-84, 2002.

TECANTE, A.; DOUBLIER, J. L. Steady flow and viscoelastic behavior of crosslinked waxy corn starch-k-carrageenan pastes and gels. **Carbohydrate Polymers**. v. 40, n. 3, p. 221- 231, 1999.

ZIMERI, J. E.; KOKINI, J. I. Rheological properties of inulin-waxy maize starch systems. **Carbohydrate Polymers**. v. 52, n.1, p. 67-85, 2003.

## CAPITULO 3

---

### 3 DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA E AVALIAÇÃO SENSORIAL DE MOLHO CREMOSO DE TUCUPI

#### RESUMO

O tucupi é um produto fermentado obtido da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), muito utilizado na culinária da região Norte do Brasil, mas sem qualquer aplicação industrial. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi obter uma formulação de molho cremoso adicionado de tucupi, e sua avaliação reológica. Foram testadas formulações do molho com adição de tucupi com 30% de sólidos, em proporções que variaram de 5 a 20%. Os molhos foram submetidos ao teste de aceitação, por meio de escala hedônica para avaliar a aceitabilidade em relação aos atributos cor, aroma, sabor, textura e impressão global. A avaliação reológica do produto foi realizada nas temperaturas de 25, 40 e 60°C e a energia de ativação ( $E_a$ ) foi calculada pela equação tipo Arrhenius. De acordo com os resultados obtidos pela técnica do mapa de preferência interno, a formulação com 10% de tucupi foi a mais aceita pelos julgadores. O teste de intenção de compra mostrou 99% de aceitação do produto, indicando que o tucupi tem potencial para ser utilizado na formulação de molho cremoso. Os ensaios reológicos aplicados ao molho cremoso com 10% de tucupi indicaram que o produto apresentou características de um fluido pseudoplástico. O modelo de Herschel-Bulkley mostrou-se muito eficiente ( $R^2 > 0,997$ ;  $\chi^2 < 11,081$ ;  $RMSE < 0,434$ ) na predição dos dados reológicos do produto, o qual apresentou  $E_a$  de 7,49 kJ/mol, no domínio experimental.

**Palavras-chave:** *Manihot esculenta*; mapa de preferência; manipueira; aceitabilidade.

## ABSTRACT

The tucupi is a fermented product obtained from cassava. This product is widely used in the cuisine of northern Brazil, but without any industrial application. In this context, the objective was to obtain a creamy sauce formulation added tucupi and study the rheological behavior of the product. Sauce formulations were tested with addition of tucupi with 30% solids, which varied from 5 to 20%. The tucupi sauces were subjected to acceptance testing using hedonic scale to assess the acceptability in relation to the attributes color, aroma, flavor, texture and overall impression. The rheological evaluation of the product was carried out at 25, 40 and 60 °C, and the activation energy ( $E_a$ ) was calculated by Arrhenius equation. According to the results obtained by the technique of internal preference map, the formulation with 10% tucupi was the most accepted by the judges. The purchase intention test showed 199% of acceptance of product, indicating that tucupi has the potential to be used in the creamy sauce formulation. Rheological essay indicated to the creamy sauce with 10% tucupi had characteristic of the pseudoplastic fluid. The Herschel-Bulkley model ( $R^2 > 0.997$ ;  $\chi^2 < 11.081$ ;  $RMSE < 0.434$ ) proved to be very efficient to the prediction of the rheological product data, which showed an  $E_a$  of 7.49 kJ/mol in the experimental domain.

**Keywords:** *Manihot esculenta*, map preferably, manipueira, acceptability.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O tucupi é um líquido amarelo obtido da extração da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Apresenta sabor exótico e constitui importante ingrediente no preparo de pratos típicos da culinária paraense, como o pato no tucupi e o tacacá. O produto é também utilizado no preparo de molho com pimenta (SANTOS; PASCOAL, 2013). O tucupi é um produto de segmento de base artesanal, que em geral é pouco competitivo pela baixa escala de produção e pela limitada atenção dispensada à apresentação do produto (JÚNIOR; ALVES, 2014).

O desenvolvimento de molhos industrializados deve garantir sua estabilidade e propriedades sensoriais e reológicas. Para tanto, são necessários o conhecimento e a experiência na identificação dos constituintes e processos, responsáveis por garantir um produto de qualidade ao consumidor. Os molhos são líquidos acidificados (água, leite ou extratos vegetais) que ganham corpo com a adição de espessantes ou ovos (CHARLEY, 1982). Outros constituintes como sal, açúcar, alho, pimenta, entre outros, podem ser adicionados, dependendo da preferência do consumidor (BABAJIDE; OLATUNDE, 2010).

Produtos como molhos para salada passam por etapas de bombeamento, esterilização, congelamento e acidificação durante o processamento, o que pode interferir, não apenas nas características sensoriais, mas também nas propriedades reológicas do produto. O amido, um aditivo amplamente empregado na formulação destes alimentos como agente espessante e gelificante, pode também provocar mudanças consideráveis em tais propriedades (KUHN; SCHLAUCH, 1994; MARQUES et al., 2006). Para controlar as propriedades reológicas de produtos à base de amido, é necessário conhecer os efeitos da temperatura de processo sobre a reologia do produto (LAGARRIGUE; ALVAREZ, 2001).

Tão importante quanto a reologia, é o conhecimento da aceitação sensorial do produto pelo consumidor. Neste contexto, a análise sensorial é aplicada na indústria de alimentos nas etapas de desenvolvimento de um novo produto, controle de qualidade e na seleção de métodos instrumentais que tenham correlação com atributos sensoriais (MININ, 2013).

Devido às suas características sensoriais exóticas, o tucupi vem ganhando ascensão gastronômica em outros países. Porém, ainda não há um produto industrializado que utilize como matéria-prima o tucupi. Diante do exposto, o objetivo

deste trabalho foi elaborar um molho cremoso de tucupi e avaliar as características reológicas e sensoriais do produto.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Matéria-prima

Para a formulação do molho cremoso foi utilizado tucupi comercial não condimentado, o qual foi concentrado até 30% de sólidos em rotaevaporador a 70°C, com pressão reduzida. Esta condição de processo foi definida em ensaios preliminares, tendo como referência as características do produto e o tempo de concentração. Foi também utilizado óleo de milho, amido de mandioca, açúcar, sal, alho desidratado e cebola desidratada, todos adquiridos no mercado local (Belém-PA).

### 3.2.2 Obtenção do molho

Na preparação do molho cremoso de tucupi os constituintes foram misturados e submetidos a aquecimento ao 90°C por 10 minutos, para garantir a gelatização total do amido, com agitação manual branda e constante. Foram avaliadas quatro diferentes formulações, nas quais a proporção tucupi/água variou de acordo com a Tabela 3.1, mantendo constantes as quantidades dos demais constituintes. O molho foi envasado a quente (90°C) em potes plásticos.

**Tabela 3.1.** Formulações para o molho cremoso de tucupi.

Constituintes	Formulação / composição (%)			
	M5	M10	M15	M20
Tucupi concentrado	5	10	15	20
Amido de milho	7,5	7,5	7,5	7,5
Óleo de milho	10	10	10	10
Água	70	65	60	55
Cloreto de sódio	1,5	1,5	1,5	1,5
Açúcar	5	5	5	5
Alho desidratado	0,5	0,5	0,5	0,5
Cebola desidratada	0,5	0,5	0,5	0,5

M5 – 5% de tucupi concentrado; M10 - 10% de tucupi concentrado; M15 - 15% de tucupi concentrado; M20 - 20% de tucupi concentrado.

### 3.2.3 Avaliação sensorial

A análise sensorial foi desenvolvida com a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Pará (CEP/ICS/UFPA), com parecer de aprovação nº 1.123.945 . A avaliação sensorial do produto foi realizada por 102 julgadores não treinados, de 18 a 60 anos, de ambos os sexos, que declararam gostar de tucupi. O teste foi conduzido no Laboratório de Análise Sensorial da UFPA.

Amostras do produto foram servidas em temperatura ambiente ( $\approx 25^{\circ}\text{C}$ ), em copos descartáveis de 50 mL. Para a degustação foram utilizadas colheres descartáveis e como veículo foram servidas fatias de pão de forma. Foram servidas, aproximadamente, 5 g de amostra de cada formulação, segundo delineamento proposto por Macfie e Bratchell (1989), de modo monádico e codificadas com números aleatórios de três dígitos. Entre as amostras foi requisitado o consumo de água, para evitar a fadiga sensorial.

Foi aplicado o teste de aceitação, no qual os julgadores avaliaram o produto quanto aos atributos de cor, aroma, textura, sabor e impressão global. Para este teste foi utilizada a escala hedônica de nove pontos, com os extremos “desgostei extremamente” (escore 1) e “gostei extremamente” (escore 9).

Na análise dos dados, foi utilizada a distribuição de frequência para os escores sensoriais de cada atributo e impressão global, de acordo com os seguintes intervalos de aceitação (DELLA LUCIA, 2008): região de rejeição, escores de 1-5 (localizados entre os termos hedônicos "desgostei muito" e "indiferente"), indicando que os julgadores não gostaram da amostra; e região de aceitação, escores de 6-9 (localizados entre os termos hedônicos "gostei ligeiramente" e "gostei extremamente"), indicando que os julgadores gostaram da amostra.

Com base nas informações dos julgadores e aliado às médias dos resultados do teste de aceitação, foi utilizado o mapa de preferência interno para expressar os resultados por meio de uma técnica de análise multivariada, a qual explica as preferências dos julgadores individualmente, de forma mais abrangente e com informações mais detalhadas. Esta técnica permite a representação gráfica dos julgadores em um espaço bi-dimensional, facilitando a interpretação dos resultados e considerando cada julgador separadamente.

Foram avaliados também o Índice de Aceitabilidade do produto (IA) (Equação 3.1) e a intenção de compra do produto, para a qual foi utilizada uma escala de cinco

pontos, com os extremos “certamente não compraria” (escore 1) e “certamente compraria” (escore 5) (MINIM, 2013).

$$IA(\%) = A_m \cdot 100/B \quad (3.1)$$

Onde  $A_m$  = nota média obtida para o produto, e  $B$  = nota máxima dada ao produto.

### 3.2.4 Avaliação microbiológica

O produto foi avaliado quanto à qualidade microbiológica, conforme legislação para molhos e condimentos: coliformes à 45°C e salmonela (BRASIL, 2011).

### 3.2.5 Caracterização do produto

Para a caracterização do produto foram realizadas as análises de umidade (método 925.09), cinzas (método 923.03), lipídeos (método 920.85), proteínas (N x 6,25) (método 920.87) e cloretos (método 935.47), conforme descrito pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2010). Os sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT) e pH foram determinados por metodologias descritas pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008). A atividade de água ( $a_w$ ) foi determinada a 25°C, em termohigrômetro digital AquaLab 4TE, Decagon (USA). O teor de carotenoides totais foi determinado por espectrofotometria, com leitura no comprimento de onda de 450 nm, utilizando éter de petróleo como solvente e coeficiente de conversão de 2592, conforme metodologia descrita por Rodriguez-Amaya (2001), sendo os resultados expressos em  $\mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno/g do produto. Para efeito de cálculo do valor energético (BRASIL, 2001), o teor de carboidratos totais foi determinado por diferença (100 – (umidade + cinzas + lipídeos + proteínas) (AOAC, 2010). A cor instrumental foi determinada em colorímetro digital Konica-Minolta, Croma Meter CR 400 (Japan), pelo sistema CIE Lab. Foram avaliados o parâmetro  $L^*$  que define a luminosidade ( $L^* = 0$  - preto e  $L^* = 100$  - branco) e os parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  que são responsáveis pela cromaticidade ( $+a^*$  - vermelho e  $-a^*$  - verde;  $+b^*$  - amarelo e  $-b^*$  - azul). A título de comparação foram avaliados alguns parâmetros de três molhos de mostarda comerciais, bem como do tucupi comercial e do tucupi concentrado (30% de sólidos). Para tal foram utilizadas as metodologias

acima citadas. As análises foram realizadas em triplicata e os resultados apresentados como média das repetições.

### 3.2.6 Medidas reológicas

O comportamento reológico do molho cremoso de tucupi foi avaliado em reômetro (Brookfield, R/S PLUS - SST, Massachusetts, EUA), acoplado a um banho termostático (Lauda Ecoline, RE 200, New Jersey, EUA) e conectado a um sistema computadorizado para a aquisição de dados. Os dados reológicos foram obtidos pelo método de rampa CR (*Control Rate*), com variação da taxa de cisalhamento de 0 a 350 s<sup>-1</sup> (curva ascendente – ida) e de 350 a 0 s<sup>-1</sup> (curva descendente – volta), com leitura de 30 pontos em cada caso. Foi utilizado um sistema placa/placa, com *spindle* C25-1 e espaçamento de 1 mm. As curvas reológicas foram obtidas nas temperaturas de 25, 40 e 60°C e todos os ensaios foram realizados em duplicata.

### 3.2.7 Modelagem matemática

Para a predição do comportamento reológico do produto foram avaliados os ajustes dos modelos de Newton (Equação 3.2), Bingham (Equação 3.3), Ostwald-de-Waele (Equação 3.4) e Herschel-Bulkley (Equação 3.5), aos dados experimentais (STEFFE,1996). O coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e o valor do chi-quadrado reduzido ( $\chi^2$ ) e a raiz do erro médio quadrado (RMSE) foram os parâmetros utilizados para a avaliação dos ajustes.

$$\tau = \eta \cdot \gamma \quad (3.2)$$

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \cdot \gamma \quad (3.3)$$

$$\tau = k \cdot \gamma^n \quad (3.4)$$

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \gamma^n \quad (3.5)$$

Onde:  $\tau$  = tensão de cisalhamento (Pa);  $\tau_0$  = tensão inicial de cisalhamento (Pa);  $\gamma$  = taxa de cisalhamento (s<sup>-1</sup>);  $\eta$  = viscosidade (Pa.s);  $\eta_{pl}$  = viscosidade plástica (Pa.s);  $k$  = índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>);  $n$  = índice de comportamento.

Os valores de viscosidade aparente ( $\eta_a$ ) foram calculados pela Equação (3.6), na qual os valores de  $\tau$  foram calculados com o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais de  $\tau$  versus  $\gamma$ . O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente foi avaliado pela equação análoga à Lei de Arrhenius (Equação 3.7) (STEFFE, 1996). A partir do coeficiente angular da regressão linear de  $\eta_a$  versus  $1/T$  (Equação 3.8) foi obtido o valor da energia de ativação ( $E_a$ ) para o produto. Na regressão linear foram utilizados valores de  $\eta_a$  determinados para uma taxa de cisalhamento de  $100 \text{ s}^{-1}$ , para cada temperatura de trabalho ( $25 - 60^\circ\text{C}$ ).

$$\eta_a = \frac{\tau}{\gamma} \quad (3.6)$$

$$\eta_a = A \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}} \quad (3.7)$$

$$\ln \eta_a = \ln A - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad (3.8)$$

Onde,  $\eta_a$  = viscosidade aparente (Pa.s); A = constante de Arrhenius (adimensional);  $E_a$  = energia de ativação (kJ/mol), R = constante universal dos gases (8,314 J/mol.K) e T = temperatura absoluta (K).

### 3.2.8 Análise Estatística

Os dados da análise sensorial foram avaliados por variância (ANOVA) e teste complementar de comparação de médias de Tukey, ao nível de significância de 5% ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o programa *Statistical for Windows* versão 7.0. Este mesmo aplicativo foi utilizado na análise de regressão linear e não linear. Neste caso, foi utilizado a metodologia de estimativa de Levenberg-Marquardt e critério de convergência de  $10^{-6}$ .

Para a obtenção do Mapa de Preferência Interno (MACFIE; THOMSON, 1988), os escores de aceitação foram organizados numa matriz de produtos (em linhas) e julgadores (em colunas), a qual foi submetida à Análise de Componentes Principais (ACP). O procedimento foi realizado para cada característica (cor, aroma, sabor, textura) e para a impressão global separadamente, sendo obtidos cinco mapas. Os resultados foram expressos em gráficos de dispersão dos molhos e

correlações dos dados de cada consumidor com os dois primeiros componentes principais. As análises estatísticas foram realizadas utilizando procedimentos do software STAT/SAS 9.1.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

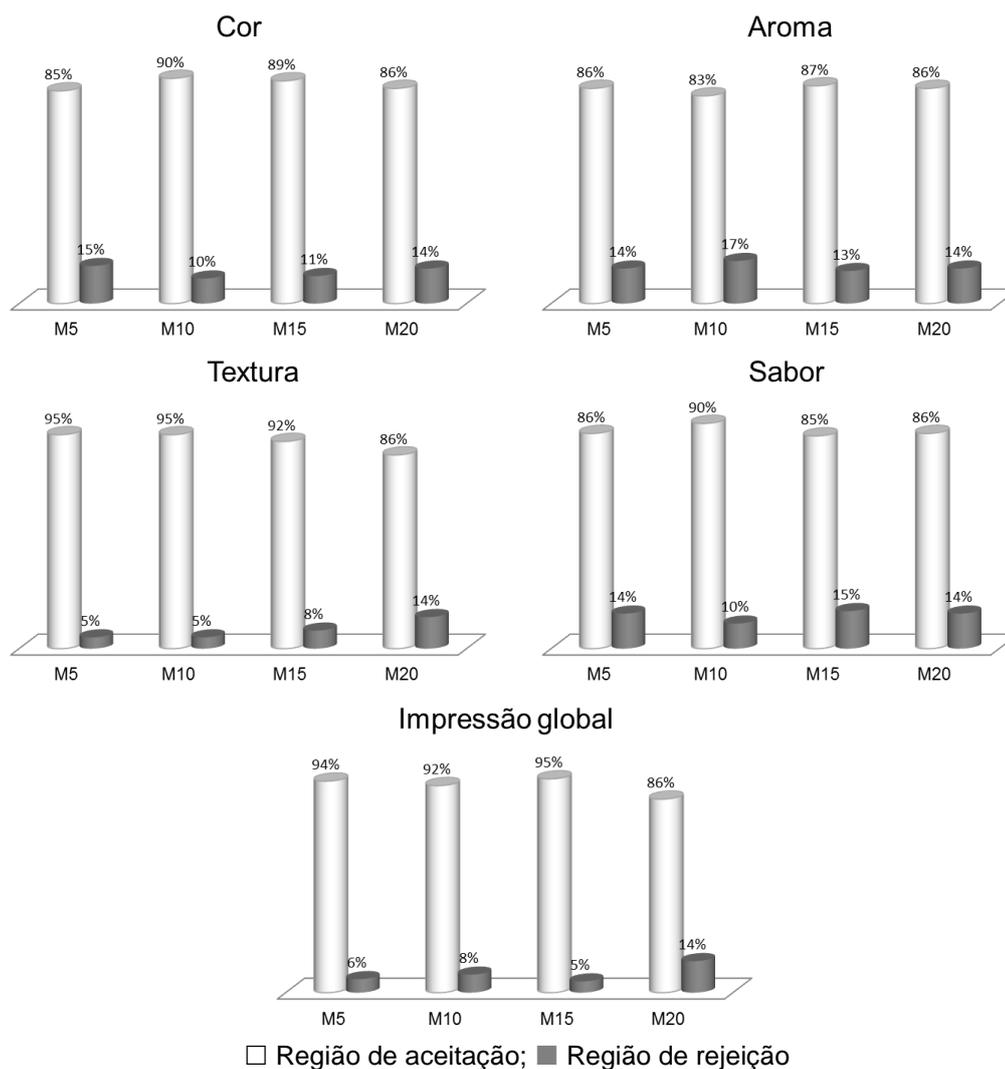
#### 3.3.1 Avaliação microbiológica

Valores  $< 3$  NMP/g para coliforme a 45°C e a ausência de salmonela indicaram que o molho cremoso com diferentes concentrações de tucupi atendeu aos padrões microbiológicos vigentes para este tipo de produto (BRASIL, 2011). Estes resultados indicaram que o produto estava apto para o consumo.

#### 3.3.2 Avaliação sensorial

##### 3.3.2.1 Testes de aceitação e intenção de compra

Os percentuais dos escores dos molhos com tucupi nas regiões de aceitação e de rejeição para os atributos de cor, aroma, sabor, textura e impressão global são entre 83 e 95% apresentados na Figura 3.1. São observados elevados percentuais de aceitação para todos os atributos avaliados e impressão global, independente da formulação, onde a maioria dos julgadores classificaram as amostras entre os termos “gostei ligeiramente” e “gostei extremamente”.



**Figura 3.1.** Histogramas dos percentuais das regiões de aceitação e de rejeição em relação à cor, ao aroma, ao sabor, a textura e a impressão global do molho cremoso de tucupi com 5% (M5), 10% (M10), 15% (M15) e 20% (M20) de tucupi concentrado.

Na Tabela 3.2 são apresentados os valores médios das notas das quatro formulações, quanto aos atributos sensoriais e a impressão global do molho cremoso de tucupi. Não houve diferença significativa, ao nível de 5%, quanto ao atributo cor entre os molhos com 10, 15 e 20% de tucupi, apesar do molho com 15% de tucupi ter apresentado o maior valor médio entre as formulações para este atributo. Para o atributo aroma as variações observadas não foram estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ). As médias para os atributos sabor e textura e impressão global dos molhos com 5, 10 e 15% de tucupi não diferiram entre si ( $p \leq 0,05$ ). De maneira geral, os valores dos índices de aceitabilidade foram superiores a 70%

(Tabela 3.3), o que indica que todas as formulações apresentaram repercussão favorável (MONTEIRO, 1984; DUTCOSKY, 1996).

**Tabela 3.2.** Médias das notas dos atributos para as formulações do molho cremoso de tucupi.

Atributos	Formulações			
	M5	M10	M15	M20
Cor	6,8 <sup>b</sup>	7,4 <sup>ab</sup>	7,5 <sup>a</sup>	7,3 <sup>ab</sup>
Aroma	7,0 <sup>a</sup>	7,2 <sup>a</sup>	7,2 <sup>a</sup>	7,1 <sup>a</sup>
Sabor	7,2 <sup>a</sup>	7,4 <sup>a</sup>	6,8 <sup>ab</sup>	6,3 <sup>b</sup>
Textura	7,4 <sup>a</sup>	7,6 <sup>a</sup>	7,5 <sup>a</sup>	6,8 <sup>b</sup>
Impressão global	7,2 <sup>ab</sup>	7,5 <sup>a</sup>	7,4 <sup>a</sup>	6,7 <sup>b</sup>

M5 – 5% de tucupi concentrado; M10 - 10% de tucupi concentrado; M15 - 15% de tucupi concentrado; M20 - 20% de tucupi concentrado. Na mesma linha, valores com letras iguais não diferem significativamente entre si ( $p \leq 0,05$ ), pelo Teste de Tukey.

**Tabela 3.3.** Índice de Aceitabilidade (%) das formulações de molho cremoso de tucupi.

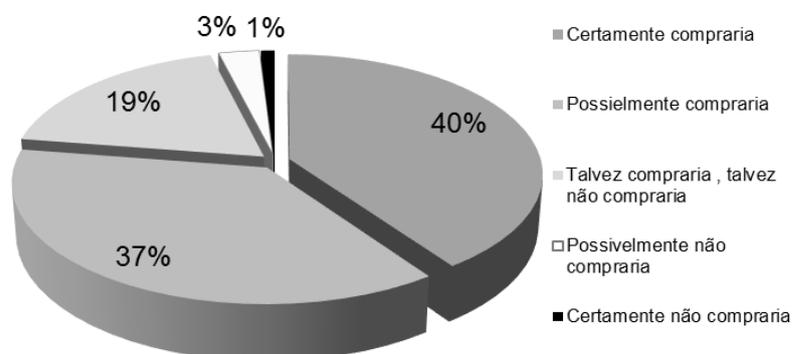
Atributos	Formulações			
	M5	M10	M15	M20
Cor	76,0	81,7	83,6	80,7
Aroma	78,1	80,1	79,5	78,8
Sabor	80,4	81,7	75,6	70,4
Textura	81,7	84,9	83,9	75,9
Impressão global	79,5	83,9	82,1	75,5

M5 – 5% de tucupi concentrado; M10 - 10% de tucupi concentrado; M15 - 15% de tucupi concentrado; M20 - 20% de tucupi concentrado.

Nos comentários feitos pelos julgadores, em relação às características desfavoráveis do molho com 20% de tucupi, os seguintes aspectos foram mencionados: sabor e cor característica de tucupi muito intensa, textura menos consistente e sabor muito ácido. Tais comentários justificam as notas médias e índices de aceitabilidade inferiores para esta formulação, para a maioria dos atributos analisados (Tabelas 3.2 e 3.3).

O teste de escala de atitude ou intenção de compra mostrou resultados positivos na intenção de compra para o molho cremoso de tucupi, uma vez que 99%

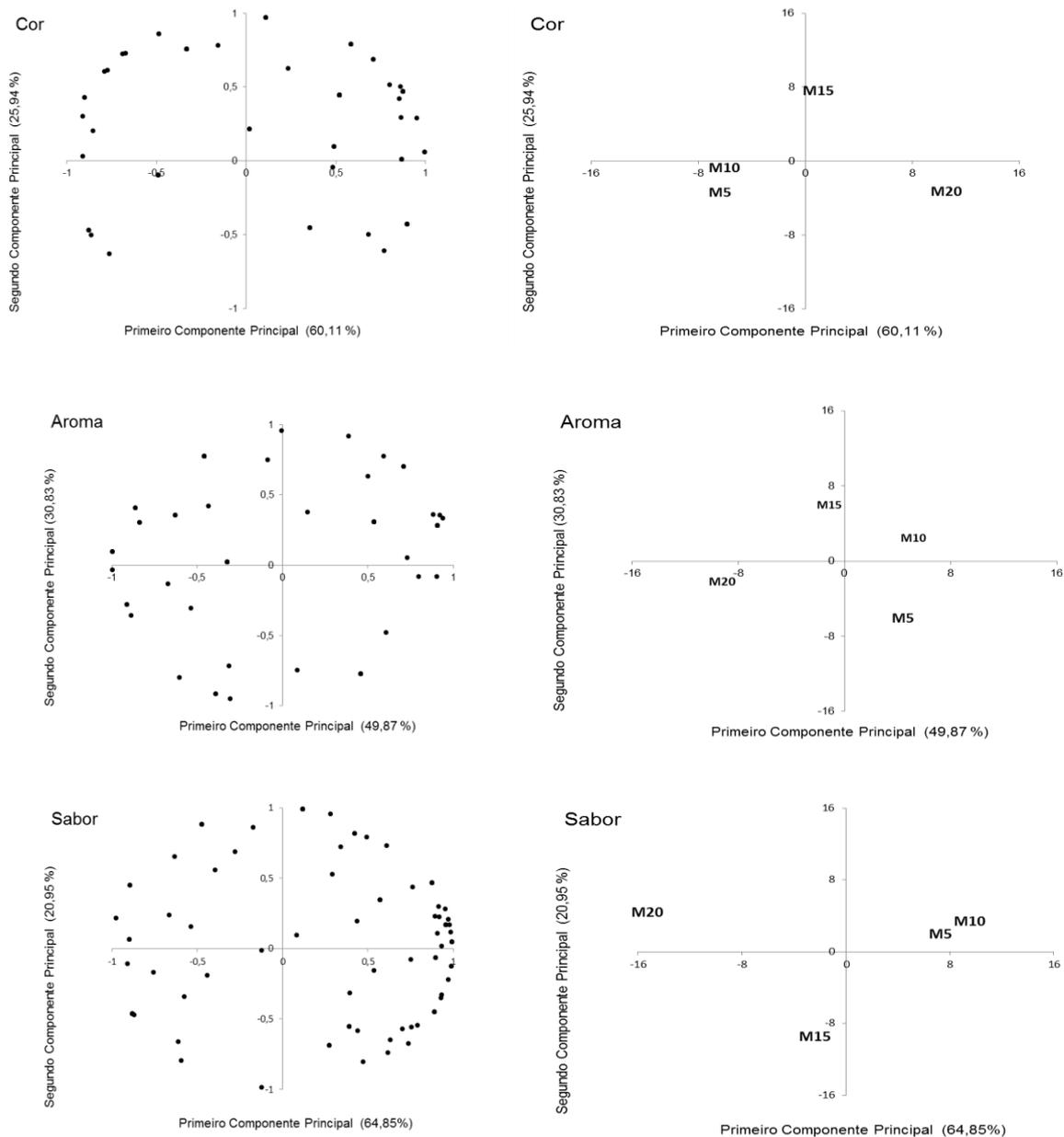
dos julgadores afirmaram que comprariam o produto (Figura 3.2). Este índice mostra que a utilização do tucupi, como matéria-prima, para elaboração de molho cremoso pode ser uma excelente alternativa para o aproveitamento do produto.



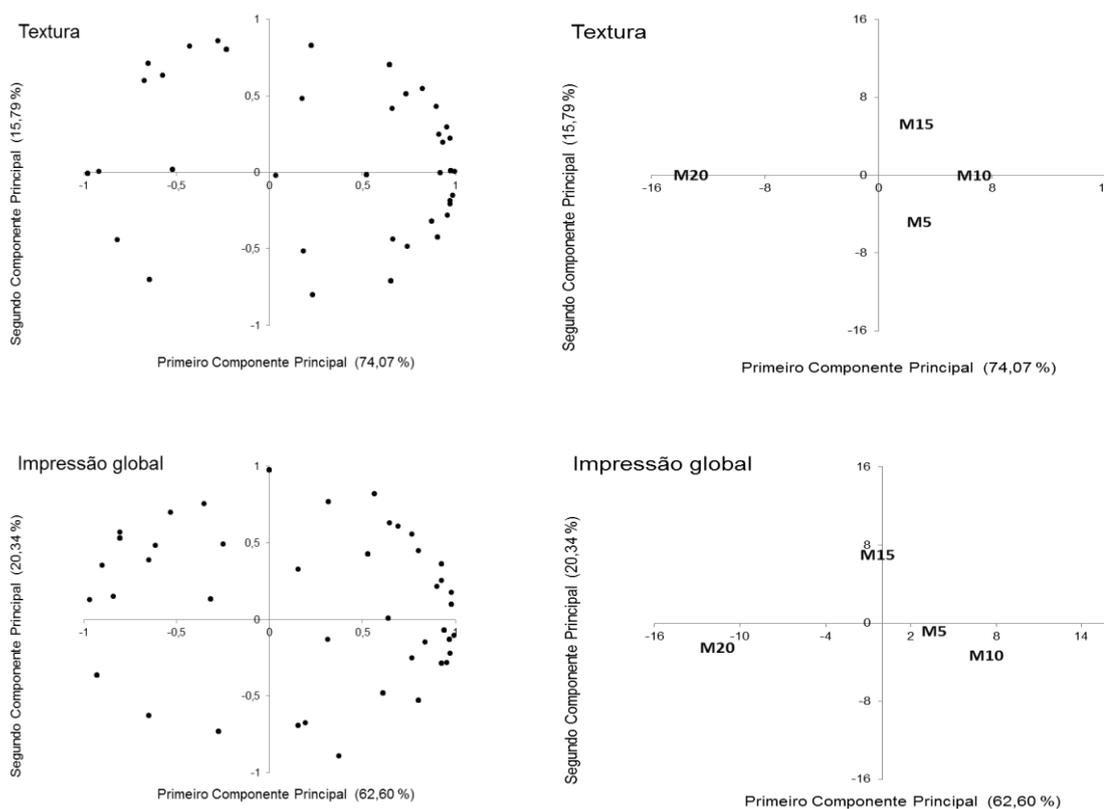
**Figura 3.2.** Intenção de compra para o molho cremoso de tucupi.

### 3.3.2.2 Mapa de preferência interno

As Figuras 3.3 e 3.4 apresentam os mapas de preferência gerados para os dados de aceitação do molho cremoso de tucupi com 5, 10, 15 e 20% de tucupi, quanto aos atributos de cor, aroma, sabor, textura e impressão global. A correlação dos consumidores com pelo menos um dos componentes ( $|r| > 0,50$ ) indica diferença na aceitação das formulações. Desta forma, os consumidores localizados na região central do gráfico não estão correlacionados com nenhum dos componentes e, portanto, não discriminam as formulações quanto à aceitação. É possível observar que há uma pequena concentração de julgadores na região central, o que indica que a maioria diferiu bem as formulações do molho, em relação à aceitação sensorial. Os julgadores estão localizados próximos aos produtos que eles preferiram.



**Figura 3.3.** Representação gráfica dos consumidores e das formulações de molho cremoso de tucupi em relação aos dois componentes principais, quanto aos atributos de cor, aroma e sabor. (●) julgadores; molho cremoso com: 5% (M5), 10% (M10), 15% (M15) e 20% (M20) de tucupi.



**Figura 3.4.** Representação gráfica dos consumidores e das formulações de molho cremoso de tucupi em relação aos dois componentes principais, quanto ao atributo textura e à impressão global. (●) julgadores; molho cremoso com: 5% (M5), 10% (M10), 15% (M15) e 20% (M20) de tucupi.

A separação espacial das formulações sugere a existência de grupos, de acordo com a aceitação das mesmas, em todos os atributos analisados. Assim, a presença de tucupi no molho indicou alterações nas características do produto, formando grupos distintos (Figuras 3.3 e 3.4). De acordo com Minim (2013), para que a correlação dos dados de aceitação de um produto seja explicada pela técnica estatística de análise de componentes principais, é necessário que a somatória dos dois componentes principais seja de no mínimo 70%.

Em relação ao atributo cor (Figura 3.3), o primeiro componente principal explicou 60,11% e o segundo 25,94% da variabilidade das respostas, totalizando 86,05% da variabilidade da aceitação entre as formulações. A maioria dos julgadores está correlacionado positivamente com o primeiro componente principal, situados no primeiro e quarto quadrantes, indicando maior aceitação pelo molho com 15% de tucupi. A separação espacial das amostras sugere a existência de três grupos, de acordo com a aceitação das mesmas, sendo um grupo formado pelas

amostras com 5 e 10% de tucupi e os outros pelas amostras com 15 e 20% de tucupi. A aproximação das amostras M5 e M10 indica que os julgadores não diferiam as mesmas quanto à aceitação deste atributo.

Para o atributo aroma (Figura 3.3) foi observada a formação de quatro grupos de julgadores, os quais foram dispersos em todos os quadrantes do gráfico, indicando que este atributo obteve a mesma aceitação por todos os julgadores. O primeiro componente principal explicou 49,87% da variabilidade dos dados, e o segundo componente explicou 30,83%, totalizando 80,70% da variação existente entre as formulações.

Para o atributo sabor (Figura 3.3), o primeiro e o segundo componente principal explicaram 85,80% da variação dos dados, sendo que o primeiro componente principal explicou a maior variação (64,85%) das respostas. A separação espacial das formulações mostra a formação de três grupos, sendo um grupo formado pelos produtos M5 e M10 e os outros dois grupos formados pelos produtos M15 e M20. Os resultados indicam uma mesma aceitação para as formulações M5 e M10, porém a maior concentração de julgadores próximos a amostra M10 sugerem uma maior aceitação para esta formulação. Os molhos M5 e M10, com diferentes níveis de tucupi combinados com diferentes teores de água obtiveram aceitação sensorial semelhante, isto é, o molho com 5% de tucupi e 70% de água (M5) apresentou aceitação sensorial, para sabor, equivalente ao molho com 10% tucupi e 65% de água (M10). Por outro lado, quantidades maiores de tucupi influenciaram negativamente a aceitação para este atributo, observado pela baixa concentração dos próximos aos molhos com 15 e 20% de tucupi. Comentários negativos sobre a alta acidez nestas amostras reforçam a menor aceitação. Os molhos com 15 e 20% de tucupi apresentaram acidez total de 17 e 23 mEq NaOH/100 mL, respectivamente, valores maiores que a acidez total encontrada para o tucupi comercial (7,7 mEq NaOH/100 mL), enquanto que para os molhos com 5 e 10% a acidez total foi de 6,17 e 11,91 mEq NaOH/100 mL, valores próximos ao determinado para o tucupi comercial e ao citado por Chisté et al. (2007), faixa de 3,92 a 10,66 mEq NaOH/100 mL.

Quanto ao atributo textura (Figura 3.4) foi observada a formação de dois grupos distintos, um formado pelas amostras M5, M10 e M15 outro formado pela amostra M20. Observa-se uma concentração maior próximo ao primeiro grupo, indicando que estes molhos foram os mais aceitos. A alta acidez no molho com 20%

de tucupi desestabilizou a estrutura do gel de amido, o que influenciou negativamente a textura do molho. Estudos tem mostrado a diminuição da viscosidade do amido de mandioca em condições de alta acidez (SRIBURI; HILL, 2000; HIRASHIMA et al., 2005). De acordo com Chisté et al. (2007), o tucupi comercial pode ser classificado como um alimento de alta acidez. Para as amostras M5, M10 e M15 o gel de amido permaneceu estável. Neste caso, os dois primeiros componentes explicaram 89,86% da variação das respostas. Campos et al. (2009) obtiveram um resultado similar na avaliação da aceitação sensorial de um molho a base de soja.

Para a impressão global (Figura 3.4), os dois componentes explicam 82,94% da variação das respostas, e também foram observados quatro grupos distintos de julgadores. Mas uma vez foi observada uma maior concentração de provadores próximos das formulações com 5 e 10% de tucupi, indicando que estas foram as mais aceitas e não havendo diferença entre elas.

De acordo com o mapa de preferência interno, os molhos de tucupi mais aceitos, quanto aos atributos de sabor, textura e impressão global foram aqueles que continham 5 e 10% de tucupi. No entanto, a caracterização físico-química do produto foi realizada somente na formulação com 10% de tucupi, pelo fato desta amostra estar mais próxima da amostra de maior aceitação do atributo cor, amostra com 15% de tucupi.

### **3.3.3 Caracterização do produto**

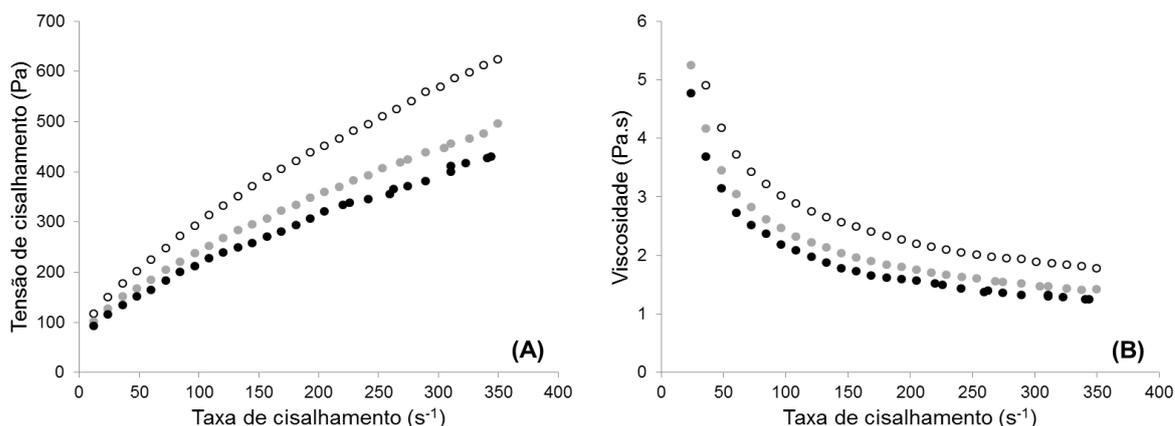
O molho com 10% de tucupi apresentou um pH de 3,47 e acidez titulável de 11,91 meqNaOH/100 mL. Os resultados indicam que a adição de 10% de tucupi com 30% de sólidos é suficiente para atingir um nível de pH que estabeleça uma condição desfavorável para a atividade bacteriana. Porém, nesta condição, não é possível garantir que não ocorrerá o desenvolvimento de fungos no produto, o que sugere a necessidade da utilização de conservantes ou da manutenção do produto sob refrigeração (ALZAMORA, 1994). Embora o pH do molho de tucupi tenha sido da mesma ordem de grandeza observada para três molhos de mostarda comerciais analisados (média de 3,28), a acidez do produto foi bem inferior a observada nas amostras de mostarda (30,32 a 57,24 meqNaOH/100 mL). Este comportamento é atribuído ao fato de não terem sido adicionados conservantes com caráter acidulante na formulação do produto.

O molho cremoso com 10% de tucupi apresentou na sua composição: 72,67% ( $\pm 0,11$ ) de umidade, 10,40% ( $\pm 0,27$ ) de lipídios, 0,52% ( $\pm 0,01$ ) de proteínas, 2,08% ( $\pm 0,01$ ) cinzas, 1,17% ( $\pm 0,05$ ) de cloretos, 14,33% ( $\pm 0,18$ ) de carboidratos totais e 7,37  $\mu\text{g/g}$  ( $\pm 0,38$ ) de  $\beta$ -caroteno. O produto apresentou um valor energético de 153 kcal/100g. Este valor foi superior aos referidos na rotulagem de molhos de mostarda comerciais (44,66 a 66,7 kcal/100g), porém próximos aos valores observados em rótulos de molho tipo catchup comerciais (112 a 138 kcal/100g).

A análise de cor instrumental do molho indicou valores de 53,38 ( $\pm 0,46$ ) para a luminosidade ( $L$ ), -6,58 ( $\pm 1,09$ ) e 42,33 ( $\pm 2,04$ ) para os parâmetros de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$ , respectivamente. Estes valores foram semelhantes aos observados para o tucupi comercial ( $L = 59,76 \pm 0,01$ ;  $a^* = -2,71 \pm 0,12$ ;  $b^* = 45,82 \pm 0,08$ ), o que indica que a cor amarela típica do tucupi foi preservada no molho cremoso. A cor amarela do tucupi é conferida pela presença de carotenoides. De acordo com Marinho e Arkcoll (1981), a manipueira extraída da mandioca apresenta, aproximadamente, 35% dos carotenoides presentes nas raízes.

### 3.3.4 Avaliação reológica

Na Figura 3.5 são apresentadas graficamente as curvas reológicas de tensão de cisalhamento e viscosidade *versus* taxa de cisalhamento, para o molho cremoso com 10% de tucupi, obtidas a 25, 40 e 60°C. As curvas foram construídas com médias dos dados reológicos obtidos nos ensaios com taxa de cisalhamento ascendente e descendente. A diminuição das declividades das curvas de fluxo com o aumento da taxa de cisalhamento indica que o produto se comportou como um fluido não-newtoniano, com característica pseudoplástica, na faixa de temperatura estudada. Este comportamento pode ser confirmado pela redução da viscosidade do produto com o aumento da taxa de cisalhamento (Figura 3.5B) (SCHRAMM, 2000). O mesmo comportamento foi observado por Campos et al. (2009), para molho cremoso a base de extrato de soja, e por Coutinho e Cabello (2005), para géis de amido de mandioca com 6% a 10% de amido.



**Figura 3.5.** Efeito da temperatura na tensão de cisalhamento (A) e viscosidade (B) do molho cremoso com 10% de tucupi. (○) 25°C, (●) 40°C, (●) 60°C

Na Tabela 3.4 são apresentados os valores dos parâmetros dos ajustes dos modelos reológicos aos dados experimentais, obtidos para o molho cremoso com 10% de tucupi, nas diferentes condições estudadas. De acordo com os valores de  $R^2$ ,  $\chi^2$  e RMSE, o modelo de Newton não obteve um bom ajuste aos dados reológicos ( $R^2 > 0,753$ ;  $\chi^2 < 5274,582$ ; RMSE  $< 10,301$ ). Este resultado confirma a relação não linear entre a tensão e a taxa de cisalhamento, o que classifica o molho com 10% de tucupi como um fluido não-newtoniano (STEFFE, 1996). Por sua vez, os modelos de Bingham ( $R^2 > 0,986$ ;  $\chi^2 < 277,875$ ; RMSE  $< 3,095$ ), de Ostwald-de-Waele ( $R^2 > 0,992$ ;  $\chi^2 < 53,300$ ; RMSE  $< 1,356$ ) e de Herschel-Bulkley ( $R^2 > 0,997$ ;  $\chi^2 < 11,081$ ; RMSE  $< 0,434$ ) apresentaram bons ajustes, e podem ser utilizados na predição das curvas de fluxo para o produto, nas condições estudadas. O modelo de Ostwald-de-Waele foi o mais eficiente na predição dos dados reológicos de molho de tomate (BHAMIDIPATI; SINGHZ, 1990) e de molho cremoso a base de extrato de soja (CAMPOS et al. 2009); enquanto que o modelo de Herschel-Bulkley obteve melhor ajuste aos dados experimentais reológicos para molhos de mostarda e de alho (IKHU-OMOREGBE; BUSHI, 2008)

**Tabela 3.4** Valores dos parâmetros da modelagem aos dados reológicos obtidos para o molho cremoso com 10% de tucupi a 25, 40 e 60°C.

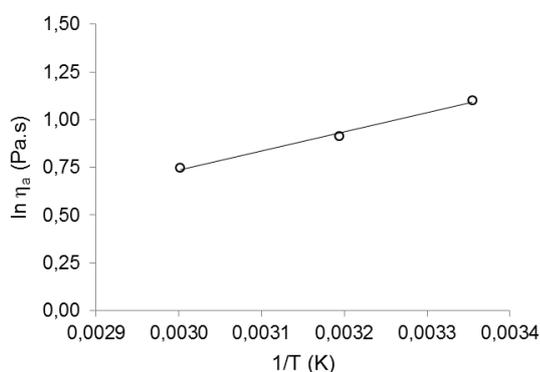
Modelo	Parâmetro	Temperatura da análise reológica		
		25°C	40°C	60°C
Newton	$\eta$ (Pa.s)	2,044	1,616	1,429
	R <sup>2</sup>	0,753	0,692	0,687
	$\chi^2$	5274,582	3836,480	3076,961
	RMSE	13,486	11,502	10,301
Bingham	$\tau_0$ (Pa)	142,732	122,322	56,077
	$\eta_{pl}$ (Pa.s)	1,381	1,100	0,955
	R <sup>2</sup>	0,987	0,987	0,986
	$\chi^2$	277,875	263,574	115,748
	RMSE	3,095	3,015	1,998
Ostwald-de-Waele	k (Pa.s <sup>n</sup> )	22,487	20,768	18,634
	n	0,526	0,540	0,534
	R <sup>2</sup>	0,997	0,996	0,992
	$\chi^2$	47,210	41,245	53,300
	RMSE	1,276	1,193	1,356
Herschel-Bulkley	$\tau_0$ (Pa)	55,461	54,374	52,733
	k (Pa.s <sup>n</sup> )	10,767	8,407	7,800
	n	0,680	0,673	0,697
	R <sup>2</sup>	0,999	0,999	0,997
	$\chi^2$	5,468	4,523	11,081
	RMSE	0,434	0,395	0,618

Os valores inferiores de  $\chi^2$  e RMSE observados para os ajustes do modelo de Herschel-Bulkley, permitem afirmar que este modelo é capaz de prever, com a melhor precisão, os dados experimentais do produto. Além disso, este modelo contempla o cálculo da tensão limite de escoamento ( $\tau_0$ ), que foi observada para as curvas de fluxo do molho cremoso, no domínio experimental (Figura 3.5A). O  $\tau_0$  é um parâmetro de fundamental importância para o processamento de um produto fluido (STEFFE, 1996).

O índice de comportamento (n) preditos pelos modelos de Ostwald-de-Waele e Herschel-Bulkley ( $n < 1$ ) confirmam o comportamento não-newtoniano do molho cremoso com 10% de tucupi, nas condições estudadas. Por sua vez, índice de consistência (K) diminuiu com o aumento da temperatura concordando com os resultados para fluidos alimentícios (HAMINIUK et al, 2006).

A viscosidade aparente, calculada pelo modelo de Herschel-bulkley, para uma taxa de cisalhamento de 100 s<sup>-1</sup> foi de 2,94; 2,41 e 2,14 Pa.s, para as temperaturas de 25, 40 e 60°C, respectivamente. Este mesmo comportamento foi observado para

molho de tomate (BHAMIDIPATI; SINGHZ, 1990) e pasta de mostarda (BHATTACHARYA; VASUDHA; MURTHY, 1999). O coeficiente de determinação ( $R^2 > 0,96$ ) indicou que a equação de Arrhenius (Equação 3.6) representou bem o efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente (Figura 3.6). O valor da energia de ativação ( $E_a$ ) calculado a partir do coeficiente angular da referida equação foi de 7,49 kJ/mol para o molho cremoso com 10% de tucupi, na faixa de temperatura estudada. Valores superiores de  $E_a$  foram observados por Ikhu-Omoregbe e Bushi (2008), para molhos de mostarda e de alho (11,94 e 18,37 kJ/mol, respectivamente) e por Bhamidipati e Singhz (1990) para molho de tomate (16,31 a 20,16 kJ/mol).



**Figura 3.6.** Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente do molho cremoso com 10% de tucupi, calculada para uma taxa de cisalhamento de  $100 \text{ s}^{-1}$ .

### 3.4 CONCLUSÕES

Os resultados da pesquisa mostraram que todas as formulações do molho cremoso de tucupi apresentaram boa aceitação sensorial (>70%), mas, de acordo com os comentários dos julgadores, concentrações com mais de 15% de tucupi tiveram influencia negativa no sabor e na textura do produto devida a alta acidez. O molho cremoso com 10% de tucupi apresentou cor e acidez semelhante ao tucupi comercial. O produto apresentou uma intenção de compra de 99%, indicando uma boa alternativa para o uso do tucupi. A formulação com 10% de tucupi apresentou  $7,37 \mu\text{g/g}$  of  $\beta$ -caroteno e valor energético de 153 kcal/100 g. O molho cremoso com 10% de tucupi apresentou comportamento de fluido não-newtoniano, com característica pseudoplástica, na faixa de temperatura estudada. O modelo de Herschel-Bulkley apresentou excelente desempenho na predição das curvas de fluxo do produto e a equação do tipo Arrhenius descreveu com boa precisão a dependência entre a viscosidade aparente e a temperatura, sendo observada uma energia de ativação de 7,49 kJ/mol para o produto.

## REFERÊNCIAS

- ALZAMORA, S. M. **Fundamentos del método de conservación por factores combinados**. In: MAUPOEY, P. F.; GRAU, A. A.; BOIX, A. C. (Ed.). Aplicacion de factores combinados en la conservacion de alimentos. Valencia: Universidade Politecnica de Valencia, Servicio de Publicaciones, 1-26 p., 1994.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis of association of Official Analytical Chemists International**. 18<sup>th</sup> ed. Arlington: AOAC International, 2010.
- BABAJIDE, J. M.; OLATUNDE, O. O. Proximate Composition, Rheology and Sensory Qualities of Corn-Cocoyam Salad Cream. **World Journal of Dairy & Food Sciences**, v. 5, n. 1, p. 25-29, 2010.
- BHAMIDIPATI, S.; SINGHZ, R. Flow behavior of tomato sauce with or without particulates in tube flow'. **Journal of Food Process Engineering**, v. 12, p. 275-293, 1990.
- BHATTACHARYA, S.; VASUDHA, N. K. S.; MURTHY, K. Rheology of mustard paste: a controlled stress measurement. **Journal of Food Engineering**, v. 41, p. 187-191, 1999.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. RDC nº 40 de 21 de março 2001. Dispõe sobre o regulamento técnico referente a rotulagem nutricional de alimentos e bebidas embalados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 2001.
- BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n.12, de 02 de janeiro de 2001. **Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos**. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília. Secção 1, 2011. 45 p.
- CAMPOS, D.; ANTONIASSI, R.; DELIZA, R., FREITAS, S. C.; FELBERG, I. Molho cremoso à base de extrato de soja: estabilidade, propriedades reológicas, valor nutricional e aceitabilidade do consumidor. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 919-926, 2009.
- CHARLEY, H. **Food Science**. 2 ed., New York: John Wiley & Sons, 1982.
- COUTINHO, A. P. C.; CABELLO, C. Caracterização da fécula de mandioca. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v. 1, p. 40-48, 2005.
- DELLA LUCIA, S. M. Métodos estatísticos para avaliação da influência de características não sensoriais na aceitação, intenção de compra e escolha do consumidor. 116p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, 2008.
- DUTCOSKY, S.D. **Análise sensorial de alimentos**. Curitiba: Ed. DA Champagnat, 1996. 123 p.
- HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSKI, M. R.; VIDAL, J. R. M. B.; MASSON, M. L. Influence of temperature on rheological behavior of whole Araçá pulp (*Psidium cattleianum sabine*). **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie –Food Science and Technology**, Berlin, v. 39, n. 4, p. 427-431, 2006.
- IAL - Instituto Adolfo Lutz. Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análises de alimentos. 1 ed. Digital, São Paulo: IAL, 2008. 1020 p.

IKHU-OMOREGBE, D.; BUSHI, G. M. Rheological characteristics of South African commercial sauces. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, p. 2230–2236, 2008.

JÚNIOR, M. S. M.; ALVES, R. N. B. Rentabilidade da Produção Artesanal de Derivados de Mandioca: Tucupi e Goma. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Amazônia Oriental Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento** ISSN 1983-0483, 2014.

KUHN, K.; SCHLAUCH, S. Comparative study about commercially available starches for high shear and high temperature applications in food. **Starch/Stärke**, v. 46, n. 6, p. 208-218, 1994.

LAGARRIGUE, S.; ALVAREZ, G. The rheology of starch dispersions at high temperatures and high rates: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 50, n. 4, p. 189-202, 2001.

MARINHO, H. A.; ARKCOLL, D. B. Estudo sobre carotenos em algumas variedades amazônicas de mandioca. **Acta Amazônica**, v. 11, n. 1, p. 71-75, 1981.

MARQUES, P. T.; PÉRÉGOB, C.; LE MEINSB, J. F.; BORSALIB, R.; SOLDIA, V. Study of gelatinization process and viscoelastic properties of cassava starch: effect of sodium hydroxide and ethylene glycol diacrylate as cross-linking agent. **Carbohydrate Polymers**, v. 66, n. 3, p. 396-407, 2006.

MACFIE, H. J.; BRATCHELL, N. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. **Journal of Sensory Studies**, v.4, p.129-148, 1989.

MACFIE, H. J. H.; THOMSON, D. M. H. Preference mapping and multidimensional scaling. In J.R. PIGGOT (Ed.), **Sensory Analysis of Foods**, 2<sup>nd</sup> ed., London: Elsevier, 1988. 389 p.

MINIM, V. P. R. **Análise Sensorial: estudos com consumidores**. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2013.

MONTEIRO, C. L. B. **Técnicas de avaliação sensorial**. 2. ed. Curitiba: CEPPA-UFPR, 1984. 101 p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. A guide to carotenoid analysis in foods. Washington, ILSI Press. 2001. 64 p.

SANTOS, V. F. N.; PASCOAL, G. B. Aspectos gerais da cultura alimentar paraense. **Revista da Associação Brasileira de Nutrição**, n. 1, p. 73-80, 2013.

SCHRAMM, G. **A practical Approach to Rheology and Rheometry**. 2<sup>nd</sup> ed., Thermo Haake Rheology, Germany, 2000.

STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**. 2<sup>nd</sup> ed., East Lansing -Freeman Press. 1996. 412 p.

## CAPITULO 4

---

### 4 DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO HIGROSCÓPICA E AVALIAÇÃO SENSORIAL DE CONDIMENTO PREPARADO EM PÓ DE TUCUPI

#### RESUMO

O tucupi, líquido fermentado obtido da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), é um produto muito apreciado e indispensável na culinária tradicional do Norte do Brasil. No entanto, não há relatos científicos do uso industrial desta matéria-prima na formulação de produtos alimentícios. O presente trabalho teve por objetivo elaborar um condimento preparado em pó de tucupi, avaliar a aceitabilidade sensorial e o comportamento higroscópico do produto. O tucupi em pó utilizado na formulação foi obtido por secagem em *spray drier*. O produto foi avaliado quanto a aceitabilidade dos atributos cor, aroma, sabor, a impressão global e o teste de intenção de compra do produto por meio de escala hedônica. A avaliação sensorial mostrou um Índice de Aceitabilidade maior que 70% para a impressão global. O teste de intenção de compra indicou que 100% dos julgadores demonstraram a possibilidade de aquisição do produto, sugerindo que o tucupi tem potencial para ser utilizado na formulação de condimento em pó. A isoterma de adsorção do produto comportou-se como Tipo II, enquanto a isoterma de dessorção comportou-se como Tipo III, a 25°C. Na avaliação higroscópica foi observado um aumento exponencial na umidade do condimento, em  $a_w$  superiores a 0,6, indicando que o produto requer maiores cuidados quando armazenado em ambiente com umidade relativa superior a 60%, para evitar alterações indesejáveis. Foram testados os ajustes de oito modelos matemáticos aos dados de sorção, no entanto, apenas o modelo de Peleg apresentou um excelente desempenho na predição das isotermas de sorção de umidade do produto.

**Palavras-chave:** condimento; aceitabilidade; manipueira; *Manihot esculenta*.

## ABSTRACT

The tucupi is a fermented liquid obtained from cassava (*Manihot esculenta* Crantz). It is a very popular and indispensable product in the traditional cuisine of northern Brazil. However, there is no scientific reports the industrial use of this raw material in the product formulation. This study aimed to develop a tucupi powder condiment, and evaluate sensory acceptability and hygroscopic behavior of the product. The tucupi powder was obtained in the spray drier. The product was evaluated for attributes acceptability of color, aroma, flavor, overall impression and product purchase intention test by hedonic scale. The sensorial evaluation pointed a greater acceptability index (>70%) for overall impression. The purchase intention test indicated that 100% of the judges demonstrated possibility purchasing the product. This result suggests that tucupi has the potential to be used in powder condiment formulation. The adsorption isotherm of the product behaved like Type II while the isotherm desorption behaved like type III at 25 °C. In hygroscopic evaluation was observed an exponential increase in moisture of the condiment at  $a_w$  greater than 0.6. This indicates that the product will require more care in its storage with higher relative humidity (>60%), to avoid undesirable changes. Eight mathematical models were tested for the adjustment of the sorption data, however, only the model Peleg performed very well in the prediction of moisture sorption isotherm of the product.

**Keywords:** condiment; acceptability; manipueira; *Manihot esculenta*.

#### 4.1 introdução

A culinária paraense, parte rica da cozinha amazônica, é um verdadeiro panorama de sabores contrastantes. Ela é fina e exótica e, para se saborear determinadas preparações, exige-se a isenção de qualquer preconceito alimentar (RODRIGUES, 2000). Entre as mais famosas e apreciadas preparações da culinária tradicional da região Norte do Brasil, destacam-se o tacacá, o pato no tucupi e o arroz paraense, todos preparados com matérias-primas típicas da região (SANTOS; PASCOAL, 2013). Um ingrediente indispensável na elaboração destas iguarias é o tucupi, um produto líquido fermentado, de cor amarela, obtido da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) brava (RODRIGUES, 2000; ADEPARÁ, 2012).

Pós obtidos de extratos vegetais concentrados representam um mercado promissor, visto que mantém as características naturais da matéria-prima, apresentam maior estabilidade química e microbiológica, e são facilmente reconstituídos. Estes produtos podem ser usados para dar cor e sabor a diversos alimentos (BHANDARI et al., 1993). Além disso, um produto seco tem o seu volume e massa reduzidos, o que demanda menores custos de armazenamento, embalagem e transporte (BRENNAN, BUTTERS, COWELL, 1999; DOVA; PETROTOS; LAZARIDES, 2007).

A secagem por atomização é muito utilizada na indústria alimentícia para elaboração de produtos como: leite em pó, café solúvel e sucos em pó. Esta operação consiste na atomização do líquido em uma câmara que recebe um fluxo de ar quente. A rápida evaporação da água permite manter baixa a temperatura das partículas, de maneira que a alta temperatura do ar de secagem não afeta, significativamente, as características do produto (DAIUTO; CEREDA, 2003).

Condimentos ou temperos são definidos como produtos constituídos de uma ou mais substâncias sápidas, de origem natural, com ou sem valor nutritivo, empregado nos alimentos, com a finalidade de modificar ou realçar o sabor. Entre esses produtos figura o condimento preparado, que é o produto obtido pela simples mistura de condimentos naturais ou elaborados, com adição de outras substâncias alimentícias aprovadas e apresentadas sob a forma de pós, pastas, molhos, em emulsão ou suspensão (BRASIL, 2005).

Quando um material biológico é exposto a uma certa umidade, ele perde ou ganha água para ajustar sua própria umidade à uma condição de equilíbrio com o

ambiente. Isto ocorre quando a pressão de vapor d'água na superfície do material se iguala à pressão de vapor d'água do ar que o envolve (TREYBALL, 1968).

O conhecimento da higroscopicidade de produtos com baixa umidade, como os em pó, é de suma importância para estabelecer o comportamento do mesmo, quando submetido a ambientes com umidades relativas, que favoreçam o ganho ou a perda de água (HELDMAN; HARTEL, 2000). Para tal, é necessária a construção das isotermas de adsorção e dessorção de umidade, pois estas permitem estabelecer tanto condições de processo quanto definir o material de embalagem a ser utilizado, além de avaliar a estabilidade do produto durante o armazenamento e o transporte (KAYMAK-ERTEKIN; GEDIK, 2004; SAMAPUNDO et al., 2007; TUNC; DUMAN, 2007).

A utilização do tucupi em pó para a elaboração de um condimento preparado em pó pode representar uma alternativa tecnológica para a conservação e a agregação de valor ao produto. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo elaborar um condimento preparado em pó com tucupi, bem como avaliar a aceitabilidade sensorial e o comportamento higroscópico do produto.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Matéria-prima

Foi utilizado tucupi comercial não condimentado, com 5% de sólidos, o qual foi concentrado até 25% de sólidos a 70°C em rotaevaporador a com pressão reduzida. Esta condição de processo foi definida em ensaios preliminares, tomando como referência características do produto e o tempo de concentração. Foi também utilizado açúcar, cloreto de sódio, alho desidratado e cebola desidratada, todos adquiridos no mercado local (Belém-PA).

### 4.2.2 Secagem do tucupi

Para obtenção do tucupi em pó foi utilizado um tucupi concentrado com 25% de sólidos, ao qual foi adicionado 30% de maltodextrina 20 MD (Cargill Agrícola S.A.), como agente carreador. A mistura foi homogeneizada até a completa dissolução da maltodextrina e submetida à secagem em mini *spray dryer* (B-290, Buchi Labortechnik AG, Flawil, Switzerland). A injeção foi realizada à temperatura ambiente ( $\approx 25^{\circ}\text{C}$ ) e as condições de operação do equipamento foram: bico

atomizador com 0,7 mm de abertura, vazão do ar comprimido de 33 bar, vazão de alimentação de 10 mL/min, temperatura de ar de secagem de 180°C e temperatura de saída de 90°C. As condições de processo foram estabelecidas em estudos preliminares. O tucupi em pó apresentou 4,3% de umidade.

#### **4.2.3 Obtenção do condimento**

Foram obtidos sachês com 12 g do condimento preparado em pó, contendo: 7 g de tucupi em pó, 1,5 g de cloreto de sódio, 2,5 g de açúcar, 0,5 g de alho desidratado e 0,5 g de cebola desidratada. O produto foi obtido pela simples homogeneização das frações sólidas. Como foi utilizado tucupi em pó com 4,3% de umidade e 30% de maltodextrina (em base seca), cada sachê contém 4,7 g de sólidos oriundos apenas do tucupi. Desta forma, se um sachê (12 g) for dissolvido em 100 mL de água, será possível obter um produto com teor de sólidos (4,7%) equivalente ao encontrado em tucupis comerciais. Chisté, Cohen e Oliveira (2007) observaram teores de sólidos totais em 10 amostras de tucupis comerciais que variaram na faixa de 3,9 a 5,4 %.

#### **4.2.4 Caracterização do produto**

Para a caracterização do produto final foram realizadas as análises de umidade (método 925.09), cinzas (método 923.03), lipídeos (método 920.85), proteínas (N x 6,25) (método 920.87), amido (996.11) e cloretos (método 935.47), conforme descrito pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2010). Os sólidos solúveis totais (SST) e pH foram determinados por metodologias descritas pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008). A atividade de água ( $a_w$ ) foi determinada a 25°C, em termohigrômetro digital AquaLab 4TE, Decagon (USA). O teor de carotenoides totais foi determinado por espectrofotometria, com leitura no comprimento de onda de 450 nm, utilizando éter de petróleo como solvente e coeficiente de conversão de 2592, conforme metodologia descrita por Rodriguez-Amaya (2001), sendo os resultados expressos em  $\mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno/g do produto. Para efeito de cálculo do valor energético (BRASIL, 2001), o teor de carboidratos totais foi determinado por diferença (100 – (umidade + cinzas + lipídeos + proteínas) (AOAC, 2010). A cor instrumental foi determinada em colorímetro digital Konica-Minolta, Croma Meter CR 400 (Japan), pelo sistema CIE Lab. Foram avaliados o parâmetro  $L^*$  que define a

luminosidade ( $L^* = 0$  - preto e  $L^* = 100$  - branco) e os parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  que são responsáveis pela cromaticidade ( $+a^*$  - vermelho e  $-a^*$  - verde;  $+b^*$  - amarelo e  $-b^*$  - azul). As análises foram realizadas em triplicata e os resultados apresentados como média das repetições.

As análises físico-químicas foram realizadas no tucupi comercial e no condimento preparado em pó de tucupi.

#### **4.2.5 Avaliação microbiológica**

O produto foi avaliado quanto a qualidade microbiológica, conforme legislação para molhos e condimentos: coliformes a 45°C e salmonela (BRASIL, 2011).

#### **4.2.6 Avaliação sensorial**

A análise sensorial foi realizada sob a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Pará (CEP/ICS/UFGPA), com parecer de aprovação nº 1.123.945. As amostras foram avaliadas por 100 julgadores não treinados, de 18 a 60 anos, de ambos os sexos, que declararam gostar de tucupi. O teste foi conduzido no Laboratório de Análise Sensorial da UFGPA.

Para a avaliação sensorial do produto foi utilizado um arroz parboilizado como veículo. O arroz foi cozido em água, utilizando uma proporção de 10 g do condimento para cada 100 g de arroz. Para efeito de comparação foi utilizado uma amostra de arroz cozido com uma parte de água, uma parte de tucupi comercial e cloreto de sódio. As proporções do condimento em pó e do tucupi comercial utilizadas no cozimento do arroz foram definidas com base em testes preliminares. As amostras foram servidas aquecidas ( $\approx 40^\circ\text{C}$ ), em recipientes plásticos de 50 mL, os quais foram codificados em ordem aleatória de três dígitos. Foram oferecidos, aproximadamente, 5 g de amostra de cada formulação, de modo monádico e codificadas com números aleatórios de três dígitos. Entre as amostras foi requisitado o consumo de água, para evitar a fadiga sensorial.

Foi aplicado o teste de aceitação, no qual os julgadores avaliaram o produto quanto aos atributos de cor, aroma, sabor e impressão global. Para este teste foi utilizada a escala hedônica de nove pontos, com os extremos “desgostei extremamente” (escore 1) e “gostei extremamente” (escore 9).

Na análise dos dados foi utilizada a distribuição de frequência para os escores sensoriais de cada atributo e impressão global, de acordo com os seguintes

intervalos de aceitação (DELLA LUCIA, 2008): região de rejeição, escores de 1-5 (localizados entre os termos hedônicos "desgostei muito" e "indiferente"), indicando que os julgadores não gostaram da amostra; e região de aceitação, escores de 6-9 (localizados entre os termos hedônicos "gostei ligeiramente" e "gostei extremamente"), indicando que os julgadores gostaram da amostra.

Foram avaliados também o Índice de Aceitabilidade do produto (IA) (Equação 4.1) e a intenção de compra do produto, para a qual foi utilizada uma escala de cinco pontos, com os extremos “certamente não compraria” (escore 1) e “certamente compraria” (escore 5) (MINIM, 2013).

$$IA(\%) = A_m \cdot 100/B \quad (4.1)$$

onde:  $A_m$  = nota média obtida para o produto, e  $B$  = nota máxima dada ao produto.

#### 4.2.7 Avaliação higroscópica

O comportamento higroscópico do condimento preparado em pó de tucupi foi avaliado por isotermas de sorção de umidade, visando estabelecer condições de acondicionamento e de manutenção do produto. Para a obtenção dos dados de sorção, aproximadamente 1 g da amostra foi pesado e mantido em dessecador com sílica gel, sob vácuo e à temperatura ambiente, por 24 horas, para desidratação complementar do produto, de forma a assegurar  $a_w < 0,1$  (MARTINS; MARTINS; PENA, 2015). Após esta etapa, 500 mg da amostra foi pesada em cápsula de aço inoxidável do equipamento analisador de sorção de vapor (VSA), na balança micro analítica do próprio equipamento. O equipamento foi programado para obter dados em um ciclo adsorção-dessorção a 25°C, para uma faixa de 0,1 a 0,9 de  $a_w$ , pelo método dinâmico de sorção de vapor (DVS). Neste método, as leituras de massa e  $a_w$  são feitas sucessivamente pelo equipamento, até que se atinja a condição de equilíbrio pré-estabelecida. Esta condição foi programada para ocorrer quando em duas medidas consecutivas a relação entre a variação de massa e a variação de tempo ( $\Delta m/\Delta t$ ), entre duas leituras, atingisse um valor inferior a 0,05. O equipamento foi programado para obter dados de equilíbrio em intervalos de 0,05 de  $a_w$ . Após a análise, a massa seca da amostra contida na cápsula foi determinada em estufa a 105°C (AOAC, 2010). Os dados de sorção foram preliminarmente tratados com auxílio do aplicativo VSA Downloader (Decagon, Pullman, WA, USA) e exportados

para uma planilha do Excel, onde foram construídas as isotermas de adsorção e de dessorção de umidade.

As unidades equivalentes à monocamada ( $m_0$ ) para os processos de adsorção e dessorção foram determinadas por regressão linear, a partir da forma linearizada da equação de BET (Equação 4.2) (BRUNAUER, EMMET; TELLER, 1938).

$$\frac{a_w}{(1-a_w).m} = \frac{1}{m_0.c} + \frac{(c-1)}{m_0.c} .a_w \quad (4.2)$$

onde:  $m$  = umidade (g H<sub>2</sub>O/100g b.s.);  $a_w$  = atividade de água (adimensional);  $m_0$  = umidade da monocamada (g H<sub>2</sub>O/100 g b.s); e  $C$  = constante relacionada ao calor de sorção.

Foi avaliado o ajuste dos modelos matemáticos apresentados na Tabela 4.1 aos dados experimentais de sorção de umidade do produto.

#### 4.2.8 Análise Estatística

A avaliação dos resultados da análise sensorial foi feita por análise de variância (ANOVA) e teste complementar de médias de Tukey, ao nível de significância de 5% ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o programa *Statistical for Windows* versão 7.0. O mesmo aplicativo foi utilizado na análise de regressão não-linear, para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados de sorção. Para tanto, foi utilizada a metodologia de estimativa de Levenberg-Marquardt e critério de convergência de  $10^{-6}$ .

Para analisar o ajuste dos modelos foram utilizados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a raiz do erro médio quadrático (RMSE) (Equação 4.3) e o desvio médio padrão ( $p$ ) (Equação 4.4).

$$\text{RMSE} = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (m_{\text{exp}} - m_{\text{pred}})^2 \right]^{1/2} \quad (4.3)$$

$$p = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|m_{\text{exp}} - m_{\text{pred}}|}{m_{\text{pred}}} \quad (4.4)$$

onde:  $m_{\text{exp}}$  = umidade obtida experimentalmente (g H<sub>2</sub>O/100 g b.s.);  $m_{\text{pred}}$  = umidade predita pelo método ajustado (g H<sub>2</sub>O/100 g b.s.); N = número de medidas experimentais.

**Tabela 4.1.** Modelos matemáticos usados na predição das isotermas de sorção.

Modelo	Equações	Nº de parâmetros
Halsey <sup>a</sup>	$m = \left[ \frac{-a}{\ln a_w} \right]^{1/b}$	2
Henderson <sup>a</sup>	$m = \left[ \frac{-\ln(1-a_w)}{a} \right]^{1/b}$	2
Kuhn <sup>a</sup>	$m = -\frac{a_w}{\ln a_w} + b$	2
Mizrahi <sup>a</sup>	$a_w = \frac{a+m}{b+m}$	2
Oswin <sup>a</sup>	$m = a \left[ \frac{a_w}{1-a_w} \right]^b$	2
Ferro-Fontan <sup>b</sup>	$m = \left[ \frac{a}{\ln(b/a_w)} \right]^{1/c}$	3
GAB <sup>c</sup>	$m = \frac{m_o \cdot c \cdot k \cdot a_w}{[(1-k \cdot a_w) \cdot (1+(c-1) \cdot k \cdot a_w)]}$	3
Peleg <sup>d</sup>	$m = a \cdot a_w^c + b \cdot a_w^d$	4

<sup>a</sup>Chirife e Iglesias (1978); <sup>b</sup>Chirife et al. (1983); <sup>c</sup>Maroulis et al. (1988); <sup>d</sup>Peleg (1993); m = umidade (g H<sub>2</sub>O/100g b.s); a<sub>w</sub> = atividade de água; m<sub>o</sub> = umidade de monocamada (g H<sub>2</sub>O/100gb.s); a, b, c, k, n = constantes.

## 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3.1 Caracterização do produto

O condimento preparado em pó de tucupi apresentou na composição: 7,13% (±0,43) de umidade, 3,01% (±0,51) de lipídios, 9,55% (±0,23) de proteína bruta, 17,51% (±0,36) de cinzas, 14% (±0,52) de cloretos, 62,8% (±4,30) de carboidratos totais e 23,36 µg/g (±5,37) de β-caroteno. Com base na sua composição, o produto

apresentou um valor energético de 38 kcal por sachê com 12 g. Não foram encontrados dados de composição para este tipo de produto, na literatura científica.

O produto apresentou um valor de pH de 4 ( $\pm 0,01$ ) e  $a_w$  de 0,24 ( $< \pm 0,01$ ), o que assegura a estabilidade microbiológica do produto (CHIRIFE; FAVETO, 1992) e permite que o mesmo seja mantido à temperatura ambiente. Por sua vez, os valores dos parâmetros de cor instrumental  $L^*$  ( $68,20 \pm 0,21$ ),  $a^*$  ( $4,36 \pm 0,06$ ) e  $b^*$  ( $41,55 \pm 0,26$ ) indicam que o produto apresentou forte tendência à cor amarela e suave tendência à cor vermelha, com luminosidade mediana. A cor amarela do produto é atribuída ao tucupi, devido à presença de carotenoides no mesmo. De acordo com a literatura, a variedade de mandioca amarela, que é utilizada na obtenção do tucupi, contém em média 5,29  $\mu\text{g/g}$  de carotenoides (SSEMAKULA; DIXON; MAZIYA-DIXON, 2007).

#### **4.3.2 Avaliação microbiológica**

Valores  $< 3$  NMP/g para coliforme a 45°C e a ausência de salmonela indicaram que o condimento de tucupi atendeu aos padrões microbiológicos vigentes para este tipo de produto (BRASIL, 2011). Estes resultados indicaram ainda que o produto estava apto para o consumo.

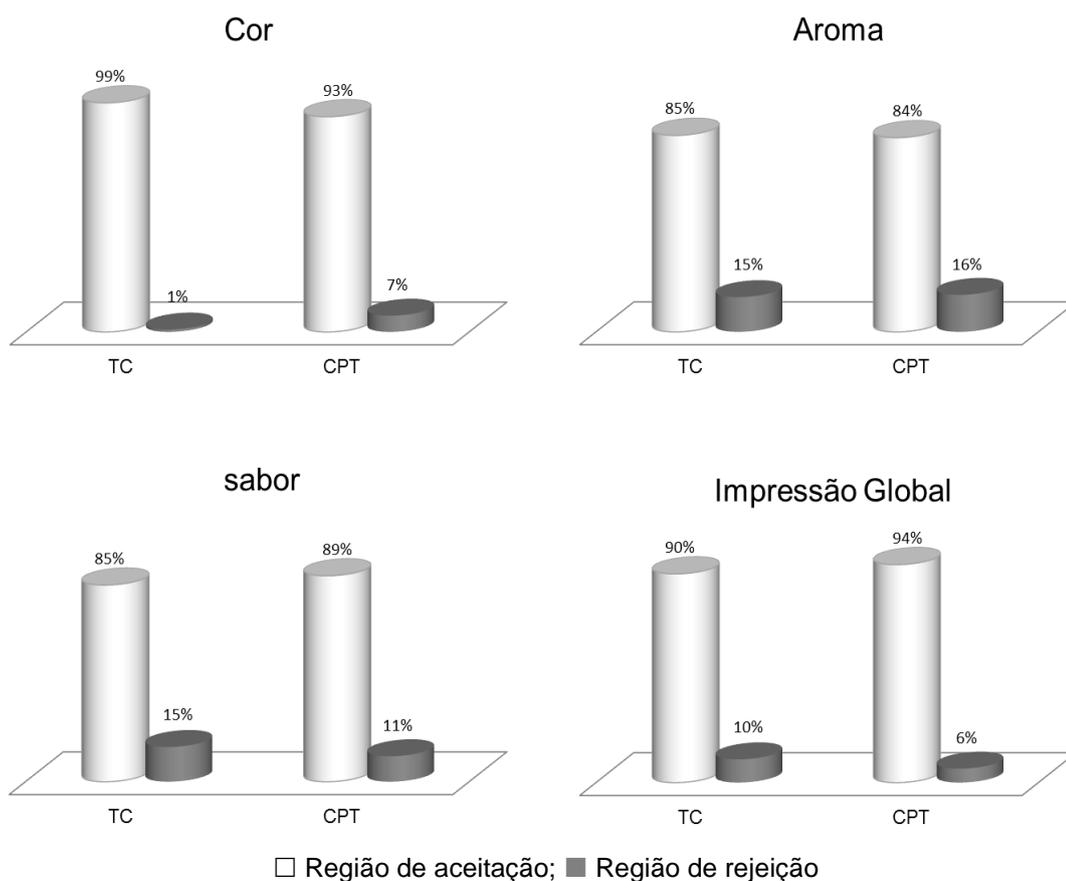
#### **4.3.3 Avaliação sensorial**

Os percentuais dos escores, nas regiões de aceitação e rejeição para os atributos de cor, aroma, sabor e impressão global, obtidos no teste de aceitação do arroz preparado com tucupi comercial e com o condimento preparado em pó de tucupi são apresentados na Figura 4.1. Os maiores percentuais são observados na região de aceitação para todos os atributos avaliados e para a impressão global, independente da formulação.

Na Tabela 4.2 são apresentadas as notas médias atribuídas ao arroz preparado com tucupi comercial e com o condimento preparado em pó de tucupi. De acordo com o teste de comparação de médias de Tukey, a 5% de significância, não houve diferença significativa entre as amostras para os atributos de aroma e sabor, e para a impressão global. A cor foi o único atributo para o qual foi atribuída uma maior nota média para o arroz preparado com o tucupi comercial. Porém, o valor da nota média atribuída ao arroz preparado com o condimento em pó de tucupi confirma que os julgadores conseguiram identificar, com clareza, a coloração característica do

tucupi neste produto. A diferença de cor observada pode ser atribuída à degradação dos pigmentos que conferem a cor característica do tucupi comercial, durante o processo de secagem.

Com base no valor do Índice de Aceitabilidade obtido para a impressão global do condimento preparado em pó de tucupi (>70%) é possível afirmar que o produto apresentou boa aceitação (MONTEIRO, 1984; DUTCOSKY, 1996). O teste de intenção de compra aplicado ao produto (Figura 4.2) mostrou uma tendência positiva, uma vez que a maioria dos julgadores declarou a possibilidade de aquisição do produto.

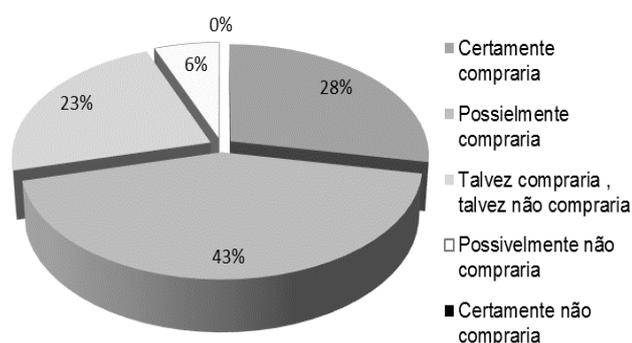


**Figura 4.1.** Histogramas com os percentuais das regiões de aceitação e de rejeição em relação à cor, ao aroma, ao sabor e a impressão global para o arroz com tucupi comercial (TC) e para o arroz com condimento preparado em pó de tucupi (CPT).

**Tabela 4.2.** Médias das notas atribuídas ao arroz com tucupi comercial e com o condimento em pó de tucupi.

Atributos	Arroz com tucupi comercial	Arroz com condimento preparado em pó de tucupi
Cor	7,8 <sup>a</sup>	7,2 <sup>b</sup>
Aroma	7,1 <sup>a</sup>	7,0 <sup>a</sup>
Sabor	7,1 <sup>a</sup>	7,1 <sup>a</sup>
Impressão global	7,3 <sup>a</sup>	7,3 <sup>a</sup>

Na mesma linha, valores com letras iguais não diferem significativamente entre si ( $p \leq 0,05$ ), pelo Teste de Tukey.



**Figura 4.2.** Intenção de compra para o condimento preparado em pó de tucupi.

A avaliação sensorial do condimento preparado em pó de tucupi mostrou uma possibilidade promissora de uso para o tucupi, uma vez que houve excelente repercussão do produto elaborado com esta matéria-prima. Vale ressaltar que o arroz e as quantidades de tucupi comercial e do condimento de tucupi foram utilizados apenas como propostas para viabilizar o estudo, uma vez que o produto desenvolvido poderia ser utilizado em qualquer preparação culinária, em quantidades adequadas.

#### 4.3.4 Avaliação higroscópica

Os dados de adsorção e dessorção de umidade a 25°C, para o condimento preparado em pó de tucupi, são apresentados na Tabela 4.3, e as respectivas isotermas de sorção estão na Figura 4.3. De acordo com a classificação de Yanniotis e Blahovec (2009), a isoterma de adsorção do produto se comportou como Tipo II, porém houve uma mudança no comportamento da isoterma de dessorção, a qual se comportou como Tipo III. Este tipo de mudança de comportamento, entre isotermas de adsorção e dessorção, não é comumente observada para alimentos, quando os

processos de sorção são realizados nas mesmas condições. De acordo com Salwin (1963), produtos constituídos majoritariamente por biopolímeros apresentam isothermas Tipo II enquanto produtos cujos constituintes principais são sólidos solúveis apresentam isothermas Tipo III. O fato do produto analisado apresentar praticamente as mesmas quantidades de biopolímeros (25,5% de amido e 9,5% de proteínas) e de sólidos solúveis (24% de açúcar e 12% de sal), sugere que os biopolímeros influenciaram o processo de adsorção, enquanto que os sólidos solúveis influenciaram na dessorção. Isothermas Tipo II foram observadas por diversos autores, para produtos derivados da mandioca (CHISTÉ et al. 2012, CHISTÉ et al. 2015; SANTOS; FIGUEIREDO; QUEIROZ, 2004).

**Tabela 4.3.** Dados de sorção para o condimento preparado em pó de tucupi.

Adsorção		Dessorção	
$a_w$	*m	$a_w$	*m
0,10	7,70	0,90	148,42
0,15	8,31	0,85	102,83
0,20	8,82	0,80	77,54
0,25	8,87	0,75	62,10
0,30	10,02	0,70	51,64
0,35	10,58	0,65	43,41
0,40	11,33	0,60	37,07
0,45	12,14	0,55	31,79
0,50	13,46	0,50	27,83
0,55	15,89	0,45	24,82
0,60	20,34	0,40	23,12
0,65	32,58	0,35	22,80
0,70	45,91	0,30	22,43
0,75	61,37	0,26	21,40
0,80	77,21	0,20	21,23
0,85	100,91	0,15	21,15
0,90	148,42	0,10	21,03

\*Umidade (g H<sub>2</sub>O/100 g b.s.); valores médios.

Na isoterma de adsorção (Figura 4.3) é possível observar que ocorre um aumento exponencial na umidade do produto, em  $a_w$  superiores a 0,6. Isto indica que o produto irá requerer maiores cuidados quando armazenado em ambiente com umidade relativa superior a 60%, para evitar alterações indesejáveis (ASSUNÇÃO; PENA, 2007). Com base nos dados de adsorção, é possível afirmar que o produto

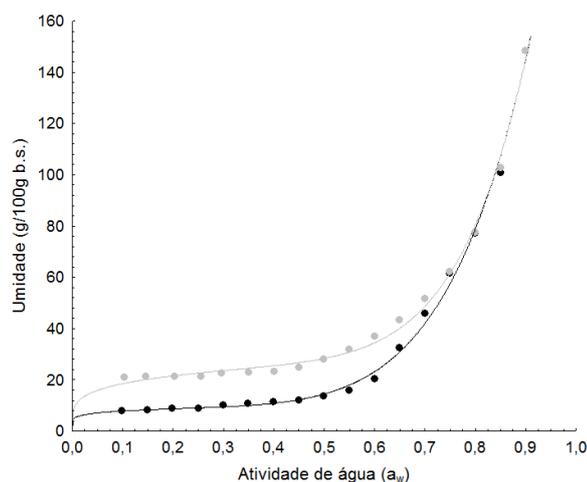
terá estabilidade microbiológica a 25°C ( $a_w < 0,6$ ) (SALWIN, 1963; ROCKLAND; NISHI, 1980), quando apresentar umidade inferior a 20,34 g H<sub>2</sub>O/100 g b.s. Porém, o valor da monocamada ( $m_o$ ) indica que 6,82 g H<sub>2</sub>O/100 g b.s. ( $R^2 = 0,994$ ) é o nível de maior estabilidade para o produto. Neste nível de umidade, além da estabilidade microbiológica, é possível evitar o escurecimento enzimático e não-enzimático do produto, além de outras reações degradativas (ROCKLAND, 1969).

Um material muito utilizado na confecção de embalagem primária de produtos alimentícios líquidos e sólidos é o PETmet/PEBD (Politereftalato de etileno metalizado/polietileno de baixa densidade), pois possui baixa permeabilidade ao oxigênio e ao vapor de água, quando comparado a outros polímeros (PIERGIOVANNI, 1998; COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003, ALVES et al, 2012).

O PETmet/PEBD apresenta uma taxa de permeabilidade ao vapor d'água de 0,93 g H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>.dia, se exposto em um ambiente com temperatura de 38°C e umidade relativa (UR) de 90% (ALVES et al, 2012). Embalagens comumente utilizadas para acondicionar condimentos em pó apresentam dimensões de 6,5 cm x 4 cm e têm capacidade para 5 g de produto. Assim, se 5 g do condimento preparado em pó de tucupi, com umidade de 7,13% (7,68 g H<sub>2</sub>O/100 g b.s.) fosse acondicionado em uma embalagem de PETmet/PEBD, com as especificações mencionadas, demandaria 115 dias para atingir a umidade limite para estabilidade microbiológica do produto (20,34 g H<sub>2</sub>O/100 g b.s.), se armazenada a 38°C e 90% de UR. Ressalta-se que estas são condições drásticas para o armazenamento de alimentos. A seguinte equação foi utilizada para prever o tempo de estabilidade microbiológica do produto:

$$t = \frac{M}{100\Phi A} \left[ m_{\max} - \left( \frac{m_{\max}}{100} + 1 \right) X \right] \quad (4.5)$$

onde: t = tempo de estabilidade microbiológica do produto; M = massa do produto (g);  $m_{\max}$  = umidade do produto para  $a_w = 0,6$  (g H<sub>2</sub>O/100 g b.s.); X = umidade inicial do produto (g H<sub>2</sub>O/100 g);  $\Phi$  = permeabilidade ao vapor de água do material da embalagem (g H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>.dia); A = área de contato da embalagem.



**Figura 4.3** Isotermas de adsorção (●) e dessorção (●) do condimento preparado em pó de tucupi a 25°C, e isotermas obtidas pelo modelo de Peleg (linhas).

Na Figura 4.3 pode ser observado um afastamento entre as isotermas de adsorção e dessorção, conhecido como efeito de histerese. Este efeito, que inicia na região de condensação capilar ( $a_w \approx 0,8$ ) e se prolonga até a região da monocamada ( $a_w \approx 0,2$ ) (LABUZA, 1968), é comumente observado para isotermas de alimentos. Para o preparado em pó de tucupi, o laço de histerese iniciou em, aproximadamente, 0,8 de  $a_w$  e aumentou progressivamente até um nível de  $a_w$  de 0,45, quando se manteve constante até o menor nível utilizado ( $a_w = 0,1$ ). Nesta faixa de  $a_w$  a distância entre as isotermas de adsorção e dessorção se manteve em  $12,53 \pm 0,45$  g  $H_2O/100$  g b.s. O comportamento de histerese semelhante ao observado para o produto, não foi encontrado para outro produto alimentício, na literatura científica. Porém, segundo Wolf et al. (1972), as histereses de alimentos proteicos e amiláceos se estendem até baixos níveis de  $a_w$ , sendo que, no caso dos amiláceos, a diferença entre as isotermas de adsorção e dessorção é mais pronunciada. Assim, a presença destas macromoléculas no produto estudado pode justificar o comportamento observado. As estruturas complexas destas macromoléculas, que favorecem a adsorção de moléculas de água em baixos níveis de  $a_w$ , também podem ser as responsáveis pela retenção das moléculas de água durante o processo de dessorção, nestes níveis de  $a_w$ .

Na Tabela 4.4 são apresentados os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), do desvio médio relativo (P) e da raiz do erro médio quadrático (RSME), parâmetros estatísticos utilizados para avaliar os ajustes da modelagem matemática. Com exceção dos modelos de Henderson e Oswin, para os demais modelos

testados foram observados valores de  $R^2 > 0,98$ , tanto para a adsorção quanto para a dessorção. Entretanto, apenas para o ajuste do modelo de Peleg foi observado um valor de  $P < 20\%$ , para os dois processos. Segundo Peng et al. (2007), valores de  $P < 10\%$  são indicadores de bons ajustes para isotermas de sorção, para propósitos práticos. Com base nisto, o modelo de Peleg foi o único que se mostrou capaz de prever, com boa precisão estatística, as isotermas de adsorção e dessorção de umidade do produto estudado. Os valores de RMSE também confirmam os bons ajustes deste modelo, o que pode ser observado na Figura 4.1.

**Tabela 4.4.** Coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvios médios relativos (P%) e raiz do erro médio quadrático (RSME) obtidos para a modelagem matemática das isotermas.

Modelos	Adsorção			Dessorção		
	$R^2$	P (%)	RSME	$R^2$	P (%)	RSME
Halsey	0,983	20,9	5,1	0,987	12,0	3,9
Henderson	0,987	31,5	4,4	0,923	27,7	9,6
Kuhn	0,985	23,7	4,8	0,995	7,1	2,3
Mizrahi	0,986	20,6	4,6	0,996	6,0	2,1
Oswin	0,986	24,4	4,6	0,967	18,3	6,2
Ferro-Fontan	0,992	22,3	3,6	0,991	10,1	3,3
GAB	0,990	26,4	3,9	0,997	6,2	2,0
Peleg	0,996	5,2	2,5	0,996	5,4	2,3

#### 4.4 CONCLUSÃO

Os testes de aceitabilidade dos atributos sensoriais e da impressão global mostraram que o condimento em pó desenvolvido obteve uma excelente aceitação pelos julgadores (> 70%). Por sua vez, o teste de intenção de compra apontou o produto elaborado como uma alternativa promissora para a agregação de valor ao tucupi. O condimento preparado em pó de tucupi apresentou isoterma de adsorção do Tipo II e isoterma de dessorção do Tipo III, e a sua avaliação higroscópica indicou que o produto requer maiores cuidados quando armazenado em ambiente com umidade relativa superior a 60%. Uma embalagem de PETmet/PEBD, e os dados de higroscopicidade, proporcionaria uma estabilidade microbiológica de 115 dias para o produto. O modelo de Peleg apresentou excelente desempenho na predição das curvas de sorção do produto.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DO PARÁ (ADEPARÁ). Norma de identidade, qualidade, acondicionamento e rotulagem do tucupi. **Cartilha: Tucupi. Gerencia de Inspeção de Produtos de Origem Vegetal – GIPOV**, 2012.
- ALVES, R. M. V.; ITO, D.; CARVALHO, J. L. V.; MELO, W. F.; GODOY, R. L. O. Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.15, n. 1, p. 59-71, 2012.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. Official methods of analysis of association of **Official Analytical Chemists International**. 18<sup>th</sup> ed. Arlington: AOAC International, 2010.
- ASSUNÇÃO, A. B.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico do resíduo seco de camarão-rosa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 27, n. 4, p. 786-793, 2007.
- BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, v. 15, n. 2, p. 671-684, 1997.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. RDC nº 40 de 21 de março 2001. Dispõe sobre o regulamento técnico referente a rotulagem nutricional de alimentos e bebidas embalados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 22 março de 2001.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 276, de 22 de setembro de 2005b. **Aprova o regulamento técnico para especiarias, temperos e molhos**. 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n.12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília. Seção 1, p.45.10 mai. 2011.
- BRENNAN, J. G.; BUTTERS, J. R.; COWELL, N. D. **Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos**. Editorial Acribia, Zaragoza, 1999.
- BRUNAUER, S.; EMMET, T.H.; TELLER, F. Adsorption of gases in multimolecular layers. In: **Journal of the American Chemical Society**, v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938.
- CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1 - A review. **Journal of Food Technology**, v. 13, p. 159-174, 1978.
- CHIRIFE, J.; BOUQUET, R.; FERRO-FONTAN, C.; IGLESIAS, H. A. A new model for describing the water sorption isotherm of foods. **Journal of Food Science**, v. 48, p. 1382-1383, 1983.
- CHIRIFE, J.; FAVETO, G.J. Some physico-chemical basis of food preservation by combined methods. **Food Research International**, Kidlington, v.25, n.5, p.389-396, 1992.
- CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. O.; OLIVEIRA, S. S. Estudo das propriedades físico-químicas do tucupi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 437-440, 2007.

- CHISTÉ, R. C.; SILVA, P.; LOPES, A.; PENA, R. S. Sorption isotherms of tapioca flour. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 870–874, 2012.
- CHISTÉ, R. C.; CARDOSO, J. M.; SILVA, D. A.; PENA, R. S. Hygroscopic behaviour of cassava flour from dry and water groups. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p. 1515-1521, 2015.
- COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA L. C. Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2003.
- DAIUTO, E. R.; CEREDA, M. P. Amido como suporte na desidratação por atomização e em microencapsulamento. In: CEREDA, M. P. (Coord.). **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v.3, n. 16, p. 449-454, 2003.
- DELLA LUCIA, S. M. Métodos estatísticos para avaliação da influência de características não sensoriais na aceitação, intenção de compra e escolha do consumidor. 116p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, 2008.
- DOVA, M. I.; PETROTOS, K. B.; LAZARIDES, H. N. On the direct osmotic concentration of liquid foods. Part I. Impact of process parameters on process performance. **Journal of Food Engineer**, v. 78, p. 422-430, 2007.
- DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. Curitiba: Da Champagnat, p.123, 1996.
- HELDMAN, D. R.; HARTEL, R. W. **Principles of Food Processing**. Chapman & Hall Food Science Book. p. 288, 2000.
- IAL - Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 1 ed. Digital, São Paulo: IAL, p. 1020, 2008.
- LABUZA, T. P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, v. 22, n. 3, p. 263-272, 1968.
- KAIMAK-ERTEKIN, F.; GEDIK, A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes apricots, apples and potatoes. **LWT - Food Science and Technology**, v. 37, p. 429- 438, 2004.
- MARTINS, M.; MARTINS, D. E. G.; PENA, R. S. Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 144–151, 2015.
- MAROULIS, Z. B.; TSAMI, E.; MARINOS-KOURIS, D.; SARAVACOS, G. D. Application of the GAB model to the moisture sorption isotherms for dried fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 7, p. 63-70, 1988.
- MINIM, V. P. R. **Análise sensorial: estudos com consumidores**. Viçosa: Editora UFV, p. 101-122, 2013.
- PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Process Engineering**, v. 16, p. 21-37, 1993.
- PENG, G.; CHEN, X.; WU, W.; JIANG, X. Modeling of water sorption isotherm for corn starch. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 2, p. 562-567, 2007.

- PIERGIOVANNI, L. Materiais de embalagem e tecnologias de envase. In: BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M.N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. p.219-278.
- ROCKLAND, L. B.; NISHI, S. K. Influence of water activity on food product quality and stability. **Food Technology**, v. 59, p. 42144-46, 1980.
- ROCKLAND, L.B. Water activity and storage stability. **Food Technology**, v. 23, p.1241-51, 1969.
- RODRIGUES, A. B. Sabor Selvagem. **Revista “Nosso Pará”**, v. 7, p.30-52. 2000
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. A. **Guide to Carotenoides Analysis in Food**. Washington: International Life Sciences Institute Press, p. 64, 2001.
- SALWIN, H. Moisture levels required for stability in dehydrated foods. **Food Technology**, v. 17, n. 9, p. 1114-1121, 1963.
- SAMAPUNDO, S.; DEVLIEGHIERE, F.; MEULENAER, B.; ATUKWASE, A., LAMBONI, Y.; DEBEVERE, J. Sorption isotherms and isosteric heats of sorption of whole yellow dent corn. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 168–175, 2007.
- SANTOS, F. S. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade de farinhas de mandioca temperadas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 149-155, ISSN 1517-8595, 2004.
- SANTOS, V. F. N.; PASCOAL, G. B. Aspectos gerais da cultura alimentar paraense. **Revista da Associação Brasileira de Nutrição**. São Paulo, n. 1, p. 73-80, 2013.
- SSEMAKULA, G.; DIXON, A. G. O.; MAZIYA-DIXON, B. Stability of total carotenoid concentration and fresh yield of selected yellow-fleshed cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Journal of Tropical Agriculture**, v. 45, p. 14-20, 2007.
- TREYBALL, R.B. **Drying. Mass Tranfer Operations**. New York: McGraw-Hill, p. 569-575, 1968.
- TUNC, S.; DUMAN, O. Thermodynamic properties and moisture adsorption isotherms of cottonseed protein isolate and different forms of cottonseed samples. **Journal of Food Engineering**, v. 81, p. 133-143, 2007.
- WOLF, M.; WALKER, J.E.; KAPSALIS, J. G. Water vapor sorption hysteresis in dehydrated food. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 20, n. 5, p. 1073-1077, 1972.
- YANNIOTIS, S., BLAHOVEC, J. Model analysis of sorption isotherms. **LWT-Food Science and Technology**, v. 42, p. 1688-1695, 2009.

## CAPITULO 5

---

### 5 DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E AVALIAÇÃO SENSORIAL DE UM CALDO EM TABLETE DE TUCUPI

#### RESUMO

O tucupi é um produto muito popular e um ingrediente importante em pratos tradicionais na Região Norte do Brasil. Este produto vem ganhando visibilidade mundial por seu apelo em preparações do tipo *gourmet*, porém não há relatos de estudos que tenham utilizado o tucupi como matéria-prima na elaboração de produtos. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo formular, caracterizar e avaliar a aceitação sensorial de um caldo em tablete de tucupi. Nas formulações do caldo foram usados 10, 15 e 20% de tucupi com 50% de sólidos. O caldo em tablete de tucupi foi avaliado quanto a aceitação dos atributos cor, aroma, sabor e impressão global, e intenção de compra, por meio de escala hedônica. De acordo com os resultados obtidos pela técnica do mapa de preferência interno, o caldo em tablete com 20% de tucupi apresentou a melhor aceitação. Na intenção de compra, 98% dos julgadores demonstraram possibilidade de compra do produto, o que demonstra a potencialidade do caldo em tablete de tucupi. O caldo em tablete com 20% de tucupi apresentou 8,87% de umidade, 3,85% de lipídios, 5,58% de proteínas, 56,3% de cinzas, 25,40% de carboidratos, 14,79 µg/g de carotenóides totais e um valor energético de 16,28 kcal/10g.

**Palavras-chave:** *Manihot sculenta*; manipueira; aceitabilidade; mapa de preferência; desenvolvimento.

## ABSTRACT

The tucupi is a very popular product and a important ingredient in traditional dishes in Northern Brazil. This product is gaining worldwide exposure for their appeal in preparations type gourmet, but there are no reports of studies that use the tucupi as raw material in development of the products. In this context, this study aimed to develop, to characterize and to evaluate the sensory acceptance and purchase intent of a bouillon cube. In the formulations of the bouillon cube was used 10, 15 and 20% tucupi with 50% of solids content. The bouillon cube was evaluated for acceptance of the color, aroma, flavor and overall impression, and purchase intent, by hedonic scale. According to the results obtained by the technique of internal preference map, the bouillon cube with 20% tucupi showed the best acceptance. The intent to purchase showed 98% of possibility of purchasing the product, which demonstrates the potential of bouillon cube of the tucupi. The bouillon cube with 20% tucupi had 8.87% moisture, 3.85% fat, 5.58% protein, 56.3% ash, 25.40% carbohydrates, 14.79 g/g of total carotenoids and an energy value of 16.28 kcal/10 g.

**Keywords:** *Manihot sculenta*; manipueira; acceptability; preference map; development.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Um componente indispensável em pratos tradicionais da culinária da Região Norte do Brasil é o tucupi (SANTOS; PASCOAL, 2013). Este produto é obtido da manipueira que é o líquido extraído da mandioca brava (*Manihot esculenta* Crantz), que após a separação do amido, é fermentado e depois fervido e condimentado com especiarias (CAGNON; CEREDA; PANTAROTO, 2002).

O tucupi apresenta uma elevada umidade (94,64 - 97,46%) e um baixo valor de pH (2,99 - 4,35), o que classifica o produto como um alimento de alta acidez (GAVA, 1983). Apesar desta característica, a elevada umidade faz com que o tucupi seja considerado um produto de vida de prateleira curta (CHISTÉ; COHEN; OLIVEIRA, 2007). Apesar do tucupi ser muito empregado na culinária da região Norte do Brasil, são incipientes informações na literatura científica sobre a aplicação de tecnologias para a conservação do produto. Estudos sobre a potencialidade de aproveitamento do tucupi na elaboração de novos produtos, com valor agregado, também não tem sido reportados.

Uma das potencialidades tecnológicas de aproveitamento do tucupi é a sua utilização na elaboração de um caldo em tablete. Os caldos em tabletes começaram a ser produzidos em 1908 e por serem muito comuns nas preparações culinárias, são produtos que apresentam grande mercado, em todo o mundo. Este tipo de produto é utilizado com a finalidade de aumentar as propriedades de sabor de alimentos (AKPANYUNG, 2005). Segundo Gupta e Bongers (2011), os caldos em tablete variam principalmente quanto ao sabor em que são formulados, tipo: carne bovina, ave, peixe, vegetais, entre outros. Os constituintes comumente utilizados na formulação dos caldos em tablete são: cloreto de sódio, glutamato monossódico, amido, óleos ou gorduras vegetais, corantes, extratos vegetais e animal e especiarias (RMRDC, 2003).

A limitada diversificação de uso para o tucupi, como matéria-prima no setor alimentício, estimulou este trabalho, que tem por objetivo desenvolver um caldo em tablete de tucupi, bem como realizar a caracterização química do produto e submetê-lo a um teste de aceitação sensorial e a um teste de intenção de compra.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.1 Matéria-prima

Foi utilizado tucupi comercial não condimentado, com 5% de sólidos, o qual foi concentrado até 50% de sólidos em rotaevaporador a 70°C com pressão reduzida. Esta condição de processo foi definida em ensaios preliminares, tomando como base as características do produto e o tempo de concentração. Foi também utilizado açúcar, sal, gordura hidrogenada, alho desidratado e cebola desidratada, todos adquiridos em estabelecimentos comerciais do município de Belém (PA).

### 5.2.2 Obtenção do caldo em tablete

O caldo em tablete foi elaborado tomando como base formulações citadas na literatura (FABRÍCIO et al., 2013). Foram obtidos produtos com 10, 15 e 20% de tucupi, com 50% de sólidos, conforme as formulações apresentadas na Tabela 5.1. O produto foi obtido pela mistura dos constituintes, seguido da moldagem dos tabletes em formas de acetato. Após esta etapa, o produto foi mantido a 20°C por 72 h, em ambiente com umidade relativa reduzida (< 10%), para maturação. Em seguida o produto foi embalado em folha de alumínio e armazenado em ambiente seco à temperatura ambiente ( $\approx 25^\circ\text{C}$ ).

**Tabela 5.1.** Formulações do caldo em tablete de tucupi.

Constituintes (%)	Formulação		
	C10	C15	C20
Sal	50	50	50
Tucupi (com 50% de sólidos)	10	15	20
Amido	14	14	14
Açúcar	15	10	5
Gordura hidrogenada	4	4	4
Glutamato monossódico	5	5	5
Cebola desidratada	1	1	1
Alho desidratado	1	1	1

C10 = caldo em tablete com 10% de tucupi, C15 = caldo em tablete com 15% de tucupi, C20 =caldo em tablete com 20% de tucupi.

### 5.2.3 Avaliação microbiológica

A qualidade microbiológica do produto foi avaliada conforme recomenda a legislação para os padrões microbiológicos de alimentos (BRASIL, 2011). Foram então determinados: coliforme a 35 e 45°C e salmonela.

### 5.2.4 Avaliação sensorial

A análise sensorial foi realizada sob a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Pará (CEP/ICS/UFGPA), com parecer de aprovação nº 1.123.945. As amostras foram avaliadas por 100 julgadores não treinados, de 18 a 60 anos, de ambos os sexos, que declararam gostar de tucupi. O teste foi conduzido no Laboratório de Análise Sensorial da UFGPA.

Para a avaliação sensorial do produto foi utilizado um arroz parboilizado como veículo. O arroz foi cozido em água, utilizando uma proporção de 1 tablete (10 g) para cada 200 g de arroz. Para efeito de comparação, foi utilizado uma amostra de arroz cozido com uma parte de água, uma parte de tucupi comercial e cloreto de sódio. As proporções do caldo em tablete e do tucupi comercial utilizadas no preparo do arroz foram definidas com base em testes preliminares. As amostras foram servidas aquecidas ( $\approx 40^{\circ}\text{C}$ ), em recipientes plásticos de 50 mL. Foram oferecidos, aproximadamente, 5 g de amostra de cada formulação, segundo delineamento proposto por Macfie e Bratchell (1989), de modo monádico e codificadas com números aleatórios de três dígitos. Entre as amostras foi requisitado o consumo de água, para evitar a fadiga sensorial. Foi aplicado o teste de aceitação, no qual os julgadores avaliaram o produto quanto aos atributos de cor, aroma, sabor e a impressão global. Para este teste foi utilizada a escala hedônica de nove pontos, com os extremos “desgostei extremamente” (escore 1) e “gostei extremamente” (escore 9).

Na análise dos dados, foi utilizada a distribuição de frequência para os escores sensoriais de cada atributo e impressão global, de acordo com os seguintes intervalos de aceitação (DELLA LUCIA, 2008): região de rejeição, escores de 1-5 (localizados entre os termos hedônicos "desgostei muito" e "indiferente"), indicando que os julgadores não gostaram da amostra; e região de aceitação, escores de 6-9 (localizados entre os termos hedônicos "gostei ligeiramente" e "gostei extremamente"), indicando que os julgadores gostaram da amostra.

Com base nas informações dos julgadores e aliado às médias dos resultados do teste de aceitação, foi utilizado o mapa de preferência interno para expressar os resultados por meio de uma técnica de análise multivariada, a qual explica as preferências dos julgadores individualmente, de forma mais abrangente e com informações mais detalhadas. Esta técnica permite a representação gráfica dos julgadores em um espaço bi-dimensional, facilitando a interpretação dos resultados e considerando cada julgador separadamente.

Foram avaliados também o Índice de Aceitabilidade do produto (IA) (Equação 5.1) e a intenção de compra do produto, para a qual foi utilizada uma escala de cinco pontos, com os extremos “certamente não compraria” (escore 1) e “certamente compraria” (escore 5) (MINIM, 2013).

$$IA(\%) = A_m \cdot 100/B \quad (5.1)$$

Onde:  $A_m$  = nota média obtida para o produto, e B = nota máxima dada ao produto.

### 5.2.5 Caracterização do produto

Na caracterização do produto foram realizadas as análises de umidade (método 925.09), cinzas (método 923.03), lipídeos (método 920.85), proteínas (N x 6,25) (método 920.87) e cloretos (método 935.47), conforme descrito pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2010). O pH foi determinado por metodologia descrita pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008). A atividade de água ( $a_w$ ) foi determinada a 25°C, em termohigrômetro digital AquaLab 4TE, Decagon (USA). O teor de carotenoides totais foi determinado por espectrofotometria, com leitura no comprimento de onda de 450 nm, utilizando éter de petróleo como solvente e coeficiente de conversão de 2592, conforme metodologia descrita por Rodriguez-Amaya (2001), sendo os resultados expressos em  $\mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno/g do produto. Para efeito de cálculo do valor energético (BRASIL, 2001), o teor de carboidratos totais foi determinado por diferença (100 – (umidade + cinzas + lipídeos + proteínas) (AOAC, 2010). A cor instrumental foi determinada em colorímetro digital Konica-Minolta, Croma Meter CR 400 (Japan), pelo sistema CIE Lab. Foram avaliados o parâmetro  $L^*$  que define a luminosidade ( $L^* = 0$  - preto e  $L^* = 100$  - branco) e os parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  que são responsáveis pela cromaticidade ( $+a^*$  - vermelho e  $-a^*$  - verde;  $+b^*$  - amarelo e  $-b^*$  - azul). A título de comparação foram avaliados alguns

parâmetros de três caldos em tabletes comerciais. Para tal foram utilizadas as metodologias acima citadas. As análises foram realizadas em triplicata e os resultados apresentados como média das repetições.

### **5.2.6 Análise Estatística**

Os resultados da análise sensorial foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e teste complementar de comparação de médias de Tukey, ao nível de significância de 5% ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o programa *Statistical for Windows* versão 7.0.

Para a obtenção do Mapa de Preferência Interno (MACFIE; THOMSON, 1988), os escores de aceitação foram organizados numa matriz do arroz com o tucupi comercial e com os caldos em tablete de tucupi (em linhas) e julgadores (em colunas), a qual foi submetida à Análise de Componentes Principais (ACP). O procedimento foi realizado para cada característica (cor, aroma, sabor e impressão global) separadamente, sendo obtidos cinco mapas. Os resultados foram expressos em gráficos de dispersão dos molhos e correlações dos dados de cada consumidor com os dois primeiros componentes principais. As análises estatísticas foram realizadas utilizando procedimentos do software STAT/SAS 9.1.

## **5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.3.1 Avaliação microbiológica**

Para o caldo em tablete de tucupi foram observados valores menores que 3 NMP/g para coliforme a 45°C e a ausência de salmonela, o que indica que o caldo em tablete atendeu aos padrões microbiológicos vigentes para este tipo de produto e está apropriado para o consumo (BRASIL, 2011).

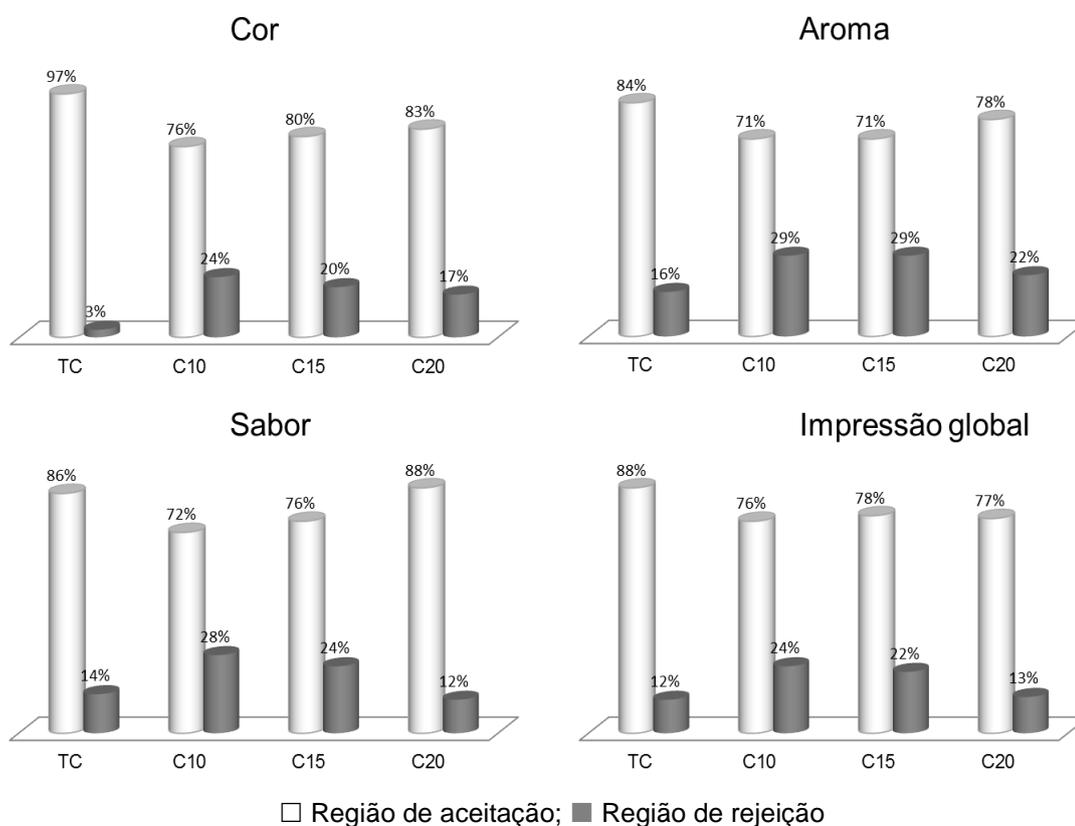
### **5.3.2 Avaliação sensorial**

#### **5.3.3.1 Testes de aceitação e intenção de compra**

Os percentuais dos escores obtidos para o arroz com os caldos em tablete de tucupi com 10% (C10), 15% (C15) e 20% (C20) de tucupi, e para a amostra controle nas regiões de aceitação e de rejeição para os atributos de cor, aroma, sabor, textura e impressão global são apresentados na Figura 5.1. Os maiores percentuais

são observados na região de aceitação para todos os atributos avaliados e impressão global, independente da formulação.

Na Tabela 5.1 são apresentados os valores médios das notas relativas aos atributos sensoriais e a impressão global, para as amostras preparadas com caldo em tablete de tucupi e para a amostra controle. Para todos os atributos e para a impressão global não foi observada diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre o produto com 15 e 20% de tucupi. A amostra controle foi a que obteve as maiores médias para todos os atributos analisados e para a impressão global. Por sua vez, para os atributos de aroma e sabor, e para a impressão global, a amostra preparada com o caldo com 20% de tucupi (C20) apresentou resultados estatisticamente semelhantes à amostra controle ( $p > 0,05$ ). A preferência pela amostra C20, quando comparada com as demais formulações do produto, é confirmada pelos índices de aceitabilidade (Tabela 5.3). Embora a formulação com 20% de tucupi tenha apresentado o maior desempenho sensorial, os valores do Índice de Aceitabilidade ( $> 70\%$ ) observados indicam que todas as formulações do caldo em tablete de tucupi apresentaram repercussão favorável (MONTEIRO, 1984; DUTCOSKY, 1996).



**Figura 5.1.** Histogramas dos percentuais das regiões de aceitação e de rejeição em relação à cor, ao aroma, ao sabor e a impressão do arroz com tucupi comercial (TC) e com o caldo em tablete com 10% (C10), 15% (C15) e 20% (C20) de tucupi.

**Tabela 5.2.** Médias das notas dos atributos e da impressão global para o arroz preparado com tucupi comercial (TC) e com o caldo em tablete com 10, 15 e 20% de tucupi.

Atributos	Formulações			
	TC	C10	C15	C20
Cor	7,79 <sup>a</sup>	6,49 <sup>c</sup>	6,87 <sup>bc</sup>	7,10 <sup>b</sup>
Aroma	7,09 <sup>a</sup>	6,43 <sup>b</sup>	6,51 <sup>b</sup>	6,74 <sup>ab</sup>
Sabor	7,03 <sup>a</sup>	6,37 <sup>b</sup>	6,65 <sup>ab</sup>	7,01 <sup>a</sup>
Impressão global	7,37 <sup>a</sup>	6,40 <sup>c</sup>	6,66 <sup>bc</sup>	6,99 <sup>ab</sup>

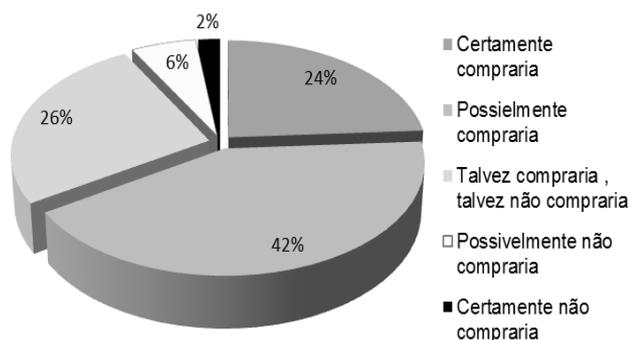
TC – tucupi comercial; caldo em tablete com 10% (C10), 15% (C15), 20% (C20) de tucupi. Valores com letras iguais, em uma mesma linha, não diferem significativamente entre si ( $p \leq 0,05$ ), pelo Teste de Tukey.

**Tabela 5.3.** Índice de Aceitabilidade (%) de arroz com tucupi comercial (TC) e arroz com caldo em tablete com 10, 15 e 20% de tucupi.

Atributos	Formulações			
	TC	C10	C15	C20
Cor	86,6	72,1	76,3	78,9
Aroma	78,8	71,4	72,3	74,9
Sabor	78,1	70,8	73,9	77,9
Impressão global	81,9	71,1	74,0	77,7

TC – tucupi comercial; C10 – caldo em tablete com 10% de tucupi, C15 – caldo em tablete com 15% de tucupi, C20 – caldo em tablete com 20% de tucupi.

O teste de escala de atitude ou intenção de compra mostrou resultados positivos na intenção de compra para o caldo em tablete de tucupi, uma vez que 98% dos julgadores manifestaram possibilidade de compra do produto (Figura 5.2). Os resultados indicam que o caldo em tablete de tucupi se apresenta como uma alternativa promissora para a utilização do tucupi e para a agregação de valor a esta matéria-prima; bem como para dar maior visibilidade ao produto, no Brasil e no exterior.



**Figura 5.2** Intenção de compra para o caldo em tablete de tucupi.

### 5.3.3.2. Mapa de preferência interno

A Figura 5.3 apresenta os mapas de preferência gerados para os dados de aceitação do caldo em tablete de tucupi com 10, 15 e 20% de tucupi, quanto aos atributos de cor, aroma, sabor e textura e para a impressão global. A diferença entre as formulações é indicada quando há uma correlação dos julgadores com pelo menos um dos componentes ( $|r| > 0,50$ ). Dessa forma, é possível observar que não houve uma concentração de julgadores na região central, o que indica que estes diferiram bem as formulações do produto, em relação à aceitação sensorial. Os julgadores estão localizados próximos aos produtos que preferiram.

A separação espacial das formulações sugere a existência de grupos de acordo com a aceitação das mesmas. Desta forma, a distribuição observada indica que a presença de tucupi, em diferentes níveis, promoveu alterações nas características sensoriais do produto, formando grupos distintos (Figura 5.3). De acordo com Minim (2013) é necessária que a soma dos dois componentes principais seja de no mínimo 70% para que esta técnica estatística explique a relação dos dados de aceitação de um produto.

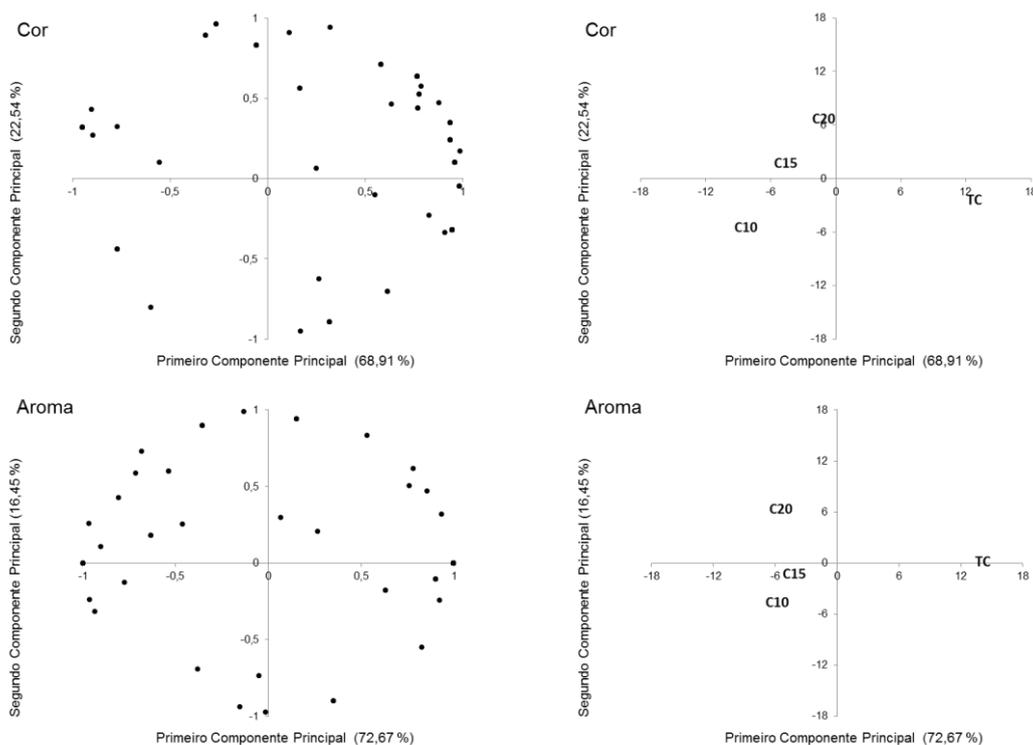
Em relação aos atributos sensoriais e à impressão global (Figura 5.3) é possível observar que houve uma maior concentração dos julgadores próximos da amostra preparada com tucupi comercial, o que indica que houve maior preferência por esta amostra. Por sua vez, entre as amostras com caldo em tablete, a amostra C20 (com 20% de tucupi) foi a que obteve a maior preferência.

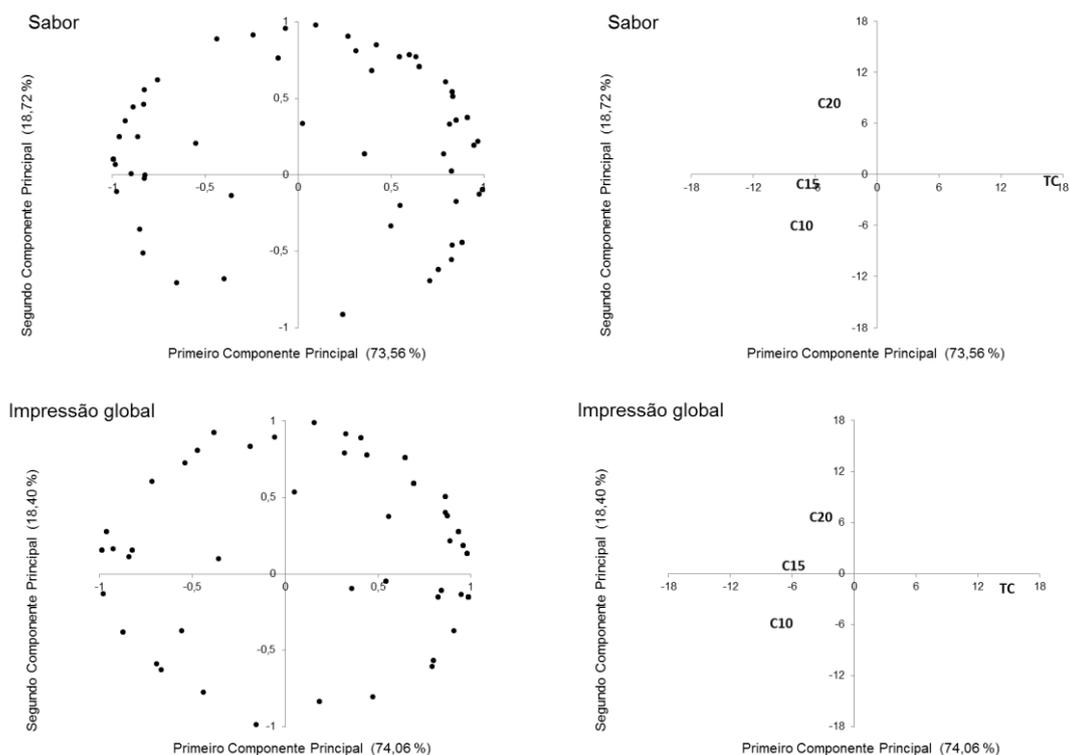
Em relação ao atributo cor (Figura 5.3), o primeiro componente principal explicou 68,91% e o segundo 22,54% da variabilidade das respostas, totalizando

91,45% da variabilidade da aceitação entre as formulações. Para esse atributo, é observada a formação de quatro grupos e entre as amostras com caldo em tablete; a C20 foi a preferida uma vez que contemplou uma maior concentração de julgadores que as demais formulações.

Para o atributo aroma foi observada a formação de três grupos de julgadores, sendo um grupo formado pelas amostras com 10 e 15% de tucupi e os outros pelas amostras com 20% de tucupi e com o tucupi comercial. A maior preferência foi dada a amostra com tucupi comercial seguida da amostra com 20% de tucupi. O primeiro componente principal explicou 72,67% da variabilidade dos dados e o segundo componente explicou 16,45%, totalizando 89,12% da variação existente entre as formulações.

Quanto ao atributo sabor, o primeiro e o segundo componente principal explicaram 92,28% da variação dos dados, sendo que o primeiro componente principal explicou a maior variação (73,56%) das respostas. A separação espacial das formulações mostra a formação de quatro grupos, para os quais é observada uma maior concentração dos julgadores próximos da amostra com tucupi comercial, seguida da amostra C20.





**Figura 5.3.** Representação gráfica dos julgadores e das amostras com tucupi comercial e com caldo em tablete de tucupi, em relação aos dois componentes principais, quanto aos atributos de cor, aroma, sabor e à impressão global. (●) julgadores; amostra com tucupi comercial (TC); amostras com caldo em tablete com 10% (C10), 15% (C15) e 20% (C20) de tucupi.

Para a impressão global os dois componentes principais explicam 92,46% da variação das respostas, e também foram observados quatro grupos distintos de julgadores. Mas uma vez foi observada uma concentração de provadores próximos da amostra com o tucupi comercial, seguida do produto com 20% de tucupi (C20). A maior aceitação da formulação com 20% de tucupi já era esperada, uma vez que a impressão global reflete, de forma geral, os atributos sensoriais avaliados.

Uma avaliação geral dos resultados da análise sensorial, pelos testes de médias e pelo mapa de preferência, aponta que o caldo em tablete com 20% de tucupi foi o que obteve melhor aceitação pelos julgadores, entre as formulações do produto analisadas.

### 5.3.3 Caracterização do produto

O caldo em tablete com 20% de tucupi apresentou na sua composição: 8,87% ( $\pm 0,19$ ) de umidade, 3,85% ( $\pm 0,29$ ) de lipídios, 5,58% ( $\pm 0,27$ ) de proteínas bruta, 56,3% ( $\pm 0,058$ ) de cinzas, 50,3% ( $\pm 0,10$ ) de cloretos, 25,4% ( $\pm 0,9$ ) de carboidratos totais e 14,79  $\mu\text{g/g}$  ( $\pm 2,79$ ) de  $\beta$ -caroteno. O teor de proteínas, lipídios e carboidratos foram próximos aos resultados encontrados por Al-Subhi (2013), para caldo em tablete de legumes (4,8%, 2,9% e 23,4%, respectivamente). O alto teor de cinzas é justificado pela elevada concentração de cloreto de sódio na formulação deste tipo de produto. Valores da mesma ordem de grandeza foram observados para os três caldos em tabletes comerciais analisados, para efeitos de comparação (46,5 a 49,3%). Resultados semelhantes de cinzas foram relatados por Guimarães e Marquez (2002) (61,25 a 54,14%), Barbosa et al. (2006) (66,3%) e Akpanyung (2005) (48,15 a 63,2%). O valor energético do produto foi de 16,28 kcal por tablete de 10g. Al-Subhi (2013) observaram um valor energético de 14 kcal/10g para caldos em tablete com extratos vegetais e valores que variaram de 18,4 a 28,1 kcal/10g, para caldos com extratos de origem animal.

O produto apresentou pH de 4,16 e  $a_w$  de 0,52, o que indica que a adição de 20% de tucupi com 50% de sólidos é suficiente para atingir um nível de pH que assegure uma condição desfavorável para a atividade bacteriana (ALZAMORA, 1994), no caldo em tablete de tucupi. Os valores de pH e  $a_w$  observados para o produto apresentaram-se dentro da faixa encontrada para os três caldos em tabletes comerciais analisados (pH 4,6 a 6 e  $a_w$  de 0,58 a 0,62).

A análise de cor instrumental indicou valores de 34,36 ( $\pm 0,21$ ) para a luminosidade ( $L$ ), 7,19 ( $\pm 0,11$ ) e 25,04 ( $\pm 0,28$ ) para os parâmetros de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$ , respectivamente. Estes resultados indicam que o produto apresentou tendência a cor amarela e suave tendência a cor vermelha. A cor amarela do produto é atribuída aos carotenóides presente no tucupi. De acordo com Marinho e Arkcoll (1981), a manipueira – porção líquida da mandioca – da qual é obtida o tucupi, apresenta, aproximadamente, 35% dos carotenoides presentes na raiz, que, no caso da mandioca amarela, apresenta em média 5,29  $\mu\text{g/g}$  de carotenoides (SSEMAKULA; DIXON; MAZIYA-DIXON, 2007).

#### 5.4 CONCLUSÃO

Os testes de aceitabilidade dos atributos sensoriais e de impressão global mostraram que a formulação do caldo em tablete com 20% de tucupi foi a que obteve a melhor aceitação pelos julgadores (> 70%). De acordo com o teste de intenção de compra, 98% dos julgadores manifestaram possibilidade de aquisição do produto, sugerindo que o caldo em tablete de tucupi pode ser uma alternativa promissora para a agregação de valor ao tucupi.

## REFERÊNCIAS

- AL-SUBHI, F. M. M. Evaluation of mushrooms broth cube and its compared with maggi broth cube products in Saudi Arabia. **Journal of American Science**; v.9, n. 5, p. 250-255, 2013.
- AKPANYUNG, E. O. Proximate and mineral element composition of bouillon cubes produced in Nigeria. **Pakistan Journal of Nutrition**. v.45, n. 5, p. 327-329, 2005.
- Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Arlington: AOAC, 2010.
- BARBOSA, R. C. M. V.; POSSIK, P. A.; MONZANI, R.; TEIXEIRA, E.; AMANTE, E. R. Desenvolvimento e análise sensorial de tablete de pequi (*Caryocar brasiliense*). Revista Ceres, v. 53, n. 310, p. 579-588, 2006.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. RDC nº 40 de 21 de março 2001. Dispõe sobre o regulamento técnico referente a rotulagem nutricional de alimentos e bebidas embalados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 2001.
- BRASIL . Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n.12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2011.
- CAGNON, J. R.; CEREDA, M. P.; PANTAROTTO, S. *Série: Cultura de tuberosas amiláceas latino-americanas*. Vol.2 – Cultura de Tuberosas Amiláceas Latinoamericanas, 2002.
- CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. O.; OLIVEIRA, S. S. Estudo das propriedades físico-químicas do tucupi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 437-440, 2007.
- DELLA LUCIA, S. M. Métodos estatísticos para avaliação da influência de características não sensoriais na aceitação, intenção de compra e escolha do consumidor. 116p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, 2008.
- DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. Curitiba: Da Champagnat, p. 123, 1996.
- European Patent Specification, Unilever Australia R & D. **Process for making bouillon or seasoning cubes**. EP 1853124B1, WO 2006/063694, 2008.
- European Patent Specification, Unilever Australia R & D. **Bouillon or seasoning concentrate and process for preparing the same**. EP 2091359B1, WO 2008/068138, 2011.
- FABRÍCIO, L. F. F.; PIMENTA, M. E. S. G.; REIS, T. A.; MESQUITA, T. C.; FUKUSHIMA, K. L.; OLIVEIRA, R. M. E.; ZANGERONIMO, M. G. Elaboração de caldo de peixe em cubos compactados utilizando pirambeba (*Serrasalmus brandtii*) e tilápia (*Oreochromis niloticus*). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n.1, p. 241-252, 2013.
- GAVA, A. J. **Princípios de Tecnologia de Alimentos**. São Paulo, Nobel, 1983.

GUIMARÃES, C. P.; MARQUEZ, U. M. L. Composição química de tabletes de caldo de carne: nitrogênio protéico, não-protéico e fenilalanina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 3, p. 308-313, 2002.

GUPTA, S.; BONGERS, P. Bouillon cube process design by applying product driven process synthesis. **Chemical Engineering and Processing**, v. 50, p. 9-15, 2011.

IAL - Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 1 ed. Digital, São Paulo: IAL, p. 1020, 2008.

MACFIE, H. J.; BRATCHELL, N. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. **Journal of Sensory Studies**, v.4, p.129-148, 1989.

MACFIE, H. J. H.; THOMSON, D. M. H. Preference mapping and multidimensional scaling. In J.R. PIGGOT (Ed.), **Sensory Analysis of Foods**, 2<sup>nd</sup> ed., London: Elsevier, 389 p., 1988.

MARINHO, H. A.; ARKCOLL, D. B. Estudo sobre carotenos em algumas variedades amazônicas de mandioca. **Acta Amazônica**, v. 11, n. 1, p. 71- 75, 1981.

MINIM, V. P. R. **Análise Sensorial: estudos com consumidores**. 3<sup>o</sup> Ed. Viçosa: Editora UFV, 2013.

MONTEIRO, C. L. B. **Técnicas de avaliação sensorial**. 2 ed. Curitiba: CEPPA-UFPR, p.101, 1984.

RMRDC, Multi-Disciplinary Committee Report of the Techno-Economic Survey of Food, Beverage and Southern Spain measured with duplicate diet Tobacco Sector (4 Update). **Raw Materials, Research and Development Council, Federal Ministry of Science and Technology**, Abuja, Nigeria, 2003.

SANTOS, V. F. N.; PASCOAL, G. B. Aspectos gerais da cultura alimentar paraense. **Revista da Associação Brasileira de Nutrição**. São Paulo, v. 1, p.73-80, 2013.

SSEMAKULA, G.; DIXON, A.G.O.; MAZIYA-DIXON, B. Stability of total carotenoid concentration and fresh yield of selected yellow-fleshed cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Journal of Tropical Agriculture**, v.45, p.14-20, 2007.