



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**DISSERTAÇÃO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ARMAZENAMENTO  
E PROCESSAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

**OBTENÇÃO DE AMIDO DE INHAME E SUA UTILIZAÇÃO NO PREPARO DE  
ALIMENTOS À BASE DE LEITE**

**LEILA DE SOUSA NUNES**

**Campina Grande, Paraíba  
Fevereiro, 2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**LEILA DE SOUSA NUNES**

**OBTENÇÃO DE AMIDO DE INHAME E SUA UTILIZAÇÃO NO PREPARO  
DE ALIMENTOS À BASE DE LEITE**

**Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da  
Universidade Federal de Campina Grande,  
como requisitos para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia Agrícola na área de  
concentração em Armazenamento e  
Processamento de Produtos Agrícolas.**

**ORIENTADORES**

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Elita Martins Duarte**

**Prof. Dr. Mário Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata**

**Campina Grande, Paraíba**

**Fevereiro, 2009**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

LEILA DE SOUSA NUNES

OBTENÇÃO DE AMIDO DE INHAME E SUA UTILIZAÇÃO NO PREPARO DE ALIMENTOS  
À BASE DE LEITE.

BANCA EXAMINADORA

PARECER

*Meliana*  
Dra. Maria Elita Martins Duarte – Orientadora

APROVADO

*Mario Eduardo R. M. Cavalcanti Mata*  
Dr. Mario Eduardo R. M. Cavalcanti Mata – Orientador

APROVADO

*Alessandra Almeida Castro*  
Dra. Alessandra Almeida Castro – Examinadora

Aprovado

*Gabriel Francisco da Silva*  
Dr. Gabriel Francisco da Silva – Examinador

APROVADO

FEVEREIRO - 2009

***Dedicatória***

*A minha família, pelo carinho que  
enriquece a minha vida*

*A dúvida é o princípio da sabedoria*  
(Aristóteles)

*A mente que se abre a uma nova ideia jamais  
voltará ao seu tamanho original*  
(Albert Einstein)

## ***Agradecimentos***

*A Deus, autor e doador da vida, pela perfeição de Sua criação e pela fidelidade do amor com que, incondicionalmente, nos tem amado.*

*A minha família, pelo carinho.*

*Aos meus orientadores Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> **Maria Elita Martins Duarte** e Prof. Dr. **Mário Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata**, pelo empenho, orientação, paciência e pelos momentos de descontração.*

*Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida.*

*Ao Laboratório de Transferência em Meios Porosos do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande.*

*Ao Laboratório de Combustíveis e Materiais do Departamento de Química da Universidade Federal da Paraíba.*

*À Escola Municipal de Ensino Fundamental Euflaudízia Rodrigues.*

*Aos membros da banca examinadora, pela colaboração.*

*A todos os colegas de curso, pela amizade, apoio e ajuda nos momentos difíceis.*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xiv
<b>RESUMO</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvi
<b>1.0- INTRODUÇÃO</b> .....	01
1.1- Objetivos.....	02
1.1.1- Objetivos específicos.....	02
<b>2.0- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	03
2.1- Tuberosas amiláceas.....	03
2.2.1- Inhame ( <i>Dioscorea</i> sp.).....	03
2.2- Amido.....	05
2.2.1- Composição química do amido.....	06
2.2.2- Propriedades gerais do amido.....	08
2.2.2.1- Insolubilidade.....	08
2.2.2.2- Gelatinização.....	08
2.2.2.3- Retrogradação e sinérese.....	09
2.3- Extração do amido de inhame.....	09
2.4- Leite.....	10
2.5- Atividade de água e conservação de alimentos.....	11
2.5.1- Isoterma de equilíbrio higroscópico.....	13
2.6- Secagem.....	15
2.6.1- Secagem pelo processo de liofilização.....	15
2.6.1.1- Congelamento.....	16
2.7- Reologia.....	17
2.7.1- Classificação reológica dos fluidos.....	17
2.8- Análise sensorial.....	21

2.8.1- Métodos de avaliação sensorial.....	22
<b>3.0- MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
3.1- Isolamento do amido nativo de inhame.....	25
3.2- Matéria-prima.....	25
3.2.1- Higienização.....	25
3.2.2- Descascamento.....	26
3.2.3- Branqueamento.....	26
3.2.4- Corte.....	27
3.2.5- Trituração.....	27
3.2.6- Filtração.....	28
3.2.7- Decantação.....	28
3.2.8- Descarte do sobrenadante.....	28
3.2.9- Lavagem do amido.....	29
3.2.10- Congelamento .....	30
3.2.10.1- Cinética de congelamento.....	30
3.2.11- Secagem do amido (liofilização).....	32
3.2.12- Embalagem.....	33
3.3- Rendimento da extração.....	34
3.4- Caracterização físico-química.....	34
3.4.1- pH.....	35
3.4.2- Teor de água.....	35
3.4.3- Cinzas.....	35
3.4.4- Acidez titulável.....	35
3.4.5- Fibra.....	35
3.4.6- Amido.....	35
3.4.7- Proteína bruta.....	36
3.4.8- Lipídios.....	36
3.5- Análise microbiológica.....	36
3.6- Determinação da capacidade de absorção de água e índice de solubilidade em água .....	36
3.7- Isotermas de equilíbrio higroscópico .....	37
3.7.1- Ajuste matemático para as isotermas de equilíbrio higroscópico.....	38
3.8- Estudo reológico.....	38

3.8.1- Ajuste matemático dos dados experimentais reológicos.....	40
3.9- Análise sensorial.....	40
<b>4.0- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>44</b>
4.1- Cinética de congelamento do amido.....	44
4.2- Rendimento da extração do amido.....	46
4.3- Caracterização físico-química.....	47
4.4- Análise microbiológica do amido.....	49
4.5- Índice de solubilidade em água e capacidade de absorção de água do amido.....	50
4.6- Isotermas de equilíbrio higroscópico para o amido de inhame.....	51
4.6.1- Ajuste matemático para as isotermas de equilíbrio higroscópico.....	52
4.7- Estudo reológico.....	59
4.7.1- Comportamento reológico da pasta de amido de inhame.....	59
4.7.2- Viscosidade aparente da pasta de amido de inhame.....	63
4.7.3- Ajuste matemático para os dados experimentais reológicos do amido de inhame.....	66
4.8- Análise sensorial.....	73
<b>5.0- CONCLUSÕES.....</b>	<b>76</b>
<b>6.0- SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>78</b>
<b>7.0- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>96</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1-	Representação esquemática do grânulo de amido (MATSUGUMA, 2006).....	06
FIGURA 2.2-	Esquema estrutural da molécula de amilose (TEIXEIRA, 2007).....	07
FIGURA 2.3-	Esquema estrutural da molécula de amilopectina (TEIXEIRA, 2007).....	07
FIGURA 2.4-	Imagens de grânulos de amido de milho durante o processo de gelatinização: (a) a 40°C e (b) a 70°C (PENG et al., 2007a).....	08
FIGURA 2.5-	Tipos de isotermas de sorção (IUPAC, 1985).....	14
FIGURA 2.6-	Classificação reológica dos fluidos (Adaptado de STEFFE, 1996).....	18
FIGURA 2.7-	Curvas de escoamento típicas de fluidos não-newtonianos independentes do tempo (Adaptado de STEFFE, 1996).....	20
FIGURA 2.8-	Curvas de escoamento típicas de fluidos não-newtonianos dependentes do tempo (Adaptado de SCHRAMM, 2000).....	20
FIGURA 3.1-	Etapas do processo de obtenção e caracterização do amido de inhame e da análise sensorial dos mingaus.....	24
FIGURA 3.2-	Tubérculos de inhame ( <i>Dioscorea alata</i> L.).....	25
FIGURA 3.3-	Tubérculos higienizados.....	25
FIGURA 3.4-	Descascamento manual dos tubérculos de inhame.....	26
FIGURA 3.5-	Branqueamento dos tubérculos de inhame.....	26
FIGURA 3.6-	Tubérculos seccionados para posterior trituração.....	27
FIGURA 3.7-	Trituração dos tubérculos de inhame: (a) tubérculos seccionados, (b) adição da solução de NaOH e (c) trituração do material.....	27
FIGURA 3.8-	Filtração: (a) material triturado e (b) filtração do material em organza.....	28
FIGURA 3.9-	Decantação da suspensão de amido.....	28
FIGURA 3.10-	Descarte do sobrenadante após a primeira decantação: (a) parte da mucilagem presente nos tubérculos, (b) descarte da solução de NaOH juntamente com a mucilagem e (c) precipitado decantado (amido) no recipiente.....	29

FIGURA 3.11-	Lavagem do amido: (a) transferência da suspensão de amido para recipiente em vidro, (b) amido ressuspenso em água destilada e (c) amido após a segunda decantação.....	29
FIGURA 3.12-	Amido após sucessivas lavagens.....	30
FIGURA 3.13-	Cinética de congelamento: preparação da amostra de amido a ser congelada.....	31
FIGURA 3.14-	Congelamento do amido a -26°C.....	32
FIGURA 3.15-	Equipamento utilizado para secagem do amido: (a) Liofilizador Modelo LB 1500 e (b) câmara onde o amido é liofilizado.....	33
FIGURA 3.16-	Embalagem do amido seco: (a) saco de polietileno com fechamento “zip lock” (à esquerda) e embalagem de plástico metalizado (à direita), (b) porções de amido já embaladas e (c) caixa de poliestireno expandido para o armazenamento do amido.....	33
FIGURA 3.17-	Thermoconstanter Novasina TH-2.....	37
FIGURA 3.18-	Célula contendo a amostra de amido.....	37
FIGURA 3.19-	Acoplamento da célula ao equipamento.....	37
FIGURA 3.20-	Viscosímetro Brookfield- DVII.....	39
FIGURA 3.21-	Porta-amostra utilizado no viscosímetro Brookfield- DVII.....	39
FIGURA 3.22-	Tela com registro dos dados fornecidos nos ensaios reológicos.....	40
FIGURA 3.23-	Formulário utilizado na análise sensorial para avaliação de preferência em relação aos mingaus preparados à base de leite caprino e bovino, com diferentes concentrações de amido de inhame (ABNT, NBR 14141, citado por IAL, 2005).....	42
FIGURA 3.24-	Formulário utilizado na análise sensorial para avaliação da intenção de consumo dos mingaus preparados à base de leite caprino e bovino e com diferentes concentrações de amido de inhame (ABNT, NBR 13170, citado por IAL, 2005).....	43
FIGURA 4.1-	Curvas de congelamento para uma amostra de amido de inhame com forma semelhante a uma placa plana de 1,5cm de espessura a temperatura de -17°C.....	45

FIGURA 4.2-	Curvas de congelamento para uma amostra de amido de inhame com forma semelhante a uma placa plana de 1,5cm de espessura a temperatura de -26°C.....	45
FIGURA 4.3-	Isotermas de equilíbrio higroscópico para amostra de amido de inhame nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C (Dados experimentais ajustados pelo Modelo de Henderson).....	53
FIGURA 4.4-	Isotermas de equilíbrio higroscópico para amostra de amido de inhame nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C (Dados experimentais ajustados pelo Modelo de Henderson Modificado por Thompson).....	53
FIGURA 4.5-	Isotermas de equilíbrio higroscópico para amostra de amido de inhame nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C (Dados experimentais ajustados pelo Modelo de Oswin).....	54
FIGURA 4.6-	Isotermas de equilíbrio higroscópico para amostra de amido de inhame nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C (Dados experimentais ajustados pelo Modelo de Chung-Pfost).....	54
FIGURA 4.7-	Superfície de resposta para os teores de água de equilíbrio do amido de inhame ajustada pelo Modelo de Henderson nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C.....	57
FIGURA 4.8-	Superfície de resposta para os teores de água de equilíbrio do amido de inhame ajustada pelo Modelo de Henderson Modificado por Thompson nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C.....	57
FIGURA 4.9-	Superfície de resposta para os teores de água de equilíbrio do amido de inhame ajustada pelo Modelo de Oswin nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C.....	58
FIGURA 4.10-	Superfície de resposta para os teores de água de equilíbrio do amido de inhame ajustada pelo Modelo de Chung-Pfost nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C.....	58
FIGURA 4.11-	Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a pasta de amido de inhame a 20°C, nas concentrações de 4, 5 e 6%.....	61

FIGURA 4.12-	Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a pasta de amido de inhame a 30°C, nas concentrações de 4, 5 e 6%.....	61
FIGURA 4.13-	Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a pasta de amido de inhame a 40°C, nas concentrações de 4, 5 e 6%.....	62
FIGURA 4.14-	Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a pasta de amido de inhame a 50°C, nas concentrações de 4, 5 e 6%.....	62
FIGURA 4.15-	Efeito da taxa de deformação sobre a viscosidade aparente para a pasta com 4, 5 e 6% de amido de inhame, a temperatura de 20°C.....	64
FIGURA 4.16-	Efeito da taxa de deformação sobre a viscosidade aparente para a pasta com 4, 5 e 6% de amido de inhame, a temperatura de 30°C.....	64
FIGURA 4.17-	Efeito da taxa de deformação sobre a viscosidade aparente para a pasta com 4, 5 e 6% de amido de inhame, a temperatura de 40°C.....	65
FIGURA 4.18-	Efeito da taxa de deformação sobre a viscosidade aparente para a pasta com 4, 5 e 6% de amido de inhame, a temperatura de 50°C.....	65
FIGURA 4.19-	Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo de Herschel-Bulkley para a pasta com 4% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C.....	67
FIGURA 4.20-	Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo de Herschel-Bulkley para a pasta com 5% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C.....	68
FIGURA 4.21-	Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo de Herschel-Bulkley para a pasta com 6% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C.....	68
FIGURA 4.22-	Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo Lei da Potência para a pasta com 4% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C.....	70

FIGURA 4.23-	Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo Lei da Potência para a pasta com 5% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C.....	71
FIGURA 4.24-	Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo Lei da Potência para a pasta com 6% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C.....	71
FIGURA 4.25-	Teste de preferência realizado com um painel de 30 provadores de ambos os sexos e idade entre 10 e 14 anos, em alimentos elaborados com amido de inhame nas concentrações de 4, 5 e 6%, e leite bovino.....	73
FIGURA 4.26-	Teste de preferência realizado com um painel de 30 provadores de ambos os sexos e idade entre 10 e 14 anos, em alimentos elaborados com amido de inhame nas concentrações de 4, 5 e 6%, e leite caprino.....	74

## LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1-	Valores de difusividade térmica efetiva de cada fase do congelamento do amido e difusividade efetiva média, para temperaturas de -17 e -26°C.....	46
TABELA 4.2-	Composição físico-química do inhame e do amido.....	48
TABELA 4.3-	Índice de solubilidade em água e capacidade de absorção de água do amido de inhame.....	50
TABELA 4.4-	Valores experimentais de teor de água de equilíbrio (% b.s.) para as isotermas de equilíbrio higroscópico do amido nativo de inhame, em função da atividade de água para as temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C.....	51
TABELA 4.5-	Parâmetros de ajuste dos modelos de Henderson, Henderson Modificado por Thompson, Oswin e Chung-Pfost, coeficiente de determinação e desvio percentual médio para amido nativo de inhame, nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C.....	55
TABELA 4.6-	Coeficientes de determinação, desvios percentuais médios e parâmetros de ajuste do modelo reológico Herschel-Bulkley, obtidos para as pastas contendo 4, 5 e 6% de amido de inhame a diferentes temperaturas.....	69
TABELA 4.7-	Coeficientes de determinação, desvios percentuais médios e parâmetros de ajuste do modelo reológico Lei da Potência, obtidos para as pastas contendo 4, 5 e 6% de amido de inhame a diferentes temperaturas.....	72
TABELA 4.8-	Notas máxima, mínima e média, desvio padrão (D.P.) das notas dos julgadores e Coeficiente de Concordância (C.C.) obtidos para intenção de consumo.....	74

## Resumo

Existe um crescente interesse na busca de novas fontes de amido para uso, sobretudo nas indústrias de processamento de alimentos. Devido ao seu alto conteúdo de amido, o inhame é uma fonte potencial para o uso na fabricação de produtos alimentícios. O amido de inhame, juntamente com o leite (caprino e bovino), que é um produto de alto valor nutricional, pode ser utilizado na preparação de alimentos que proporcionem a manutenção corporal saudável. Objetivou-se, com este trabalho, obter maiores informações acerca de algumas propriedades do amido de inhame (*Dioscorea alata* L.) variedade São Tomé e estudar a possibilidade de sua utilização em alimentos à base de leite caprino e bovino (mingaus). O amido de inhame foi extraído por meio de trituração com solução de NaOH 0,03N e seco por liofilização. Foram investigados, assim, a cinética de congelamento do amido a -17 e -26°C, o rendimento da extração do amido, características físico-químicas e microbiológicas, o índice de solubilidade em água e a capacidade de absorção de água, as isothermas de equilíbrio higroscópico a 25, 30, 35, 40 e 45°C, o comportamento reológico das pastas de amido nas concentrações de 4, 5 e 6% nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C, além da análise sensorial de mingaus com três diferentes concentrações de amido (4, 5 e 6%). Para o amido com teor de água de 45% (b. u.), para a temperatura de -17°C, a difusividade térmica média efetiva foi de  $1,779 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , enquanto a -26°C o valor foi de  $2,196 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . O rendimento prático verificado na extração do amido foi de 18,28%. Com relação às características físico-químicas o amido de inhame apresentou pH igual a 6,50, teor de água de 5,81%, cinzas igual a 0,14%, percentagem de acidez de 0,98, teor de fibras de 0,18%, grau de pureza de 80,18%, proteína bruta igual a 1,24% e teor de lipídios de 3,33%. Através da análise microbiológica observou-se que não houve presença de nenhum dos micro-organismos investigados (*Salmonellas* sp., *Bacillus cereus* e *Coliformes* a 45°C). Encontraram-se valores de 2,02% e 0,25 grama de água por grama da amostra para o índice de solubilidade em água e capacidade de absorção de água, respectivamente. O comportamento das isothermas obtidas para o amido mostrou-se típico de isothermas do tipo II e o modelo de Chung-Pfost foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais e pode ser utilizado satisfatoriamente na predição das isothermas de equilíbrio higroscópico do amido de inhame. As pastas com 4, 5 e 6% de amido evidenciaram comportamento de fluido não-newtoniano e dependente do tempo, com predominância de caráter tixotrópico, sendo o modelo Lei da Potência o que melhor se ajustou aos dados experimentais reológicos. Por meio da análise sensorial foi possível verificar que os mingaus preparados com concentração de 6% de amido foram os mais aceitos e os mingaus com 4% de amido, os menos aceitos pela equipe de julgadores, independente do leite utilizado para sua elaboração. O amido de inhame obtido se encontra dentro padrões estabelecidos pela legislação brasileira e pela ANVISA, respectivamente e, devido ao seu grau de pureza (80,18%), pode-se considerar que o método de extração utilizado neste trabalho é eficiente para a extração de amido de inhame.

**Palavras-chave:** *Dioscorea alata* L., amido, isoterma de equilíbrio higroscópico, reologia, análise sensorial

## Abstract

There is a great interest in new sources of starch, especially by the food processing industries. Due to its high starch content, the yam is a potential source for use to produce industrialized food. The starch from yam, associated with milk (goat and cattle) which has a high nutritional value, can be used to produce food that provides healthful body maintenance. The objective of this work was to get more information about some proprieties of the yam starch (*Dioscorea alata* L.) São Tomé variety and study the possibility to use it to prepare foods with milk from goat and cattle (porridges) The starch was extracted by a grinding process using NaOH 0,03N solution and a dry process by freeze-drying. It was investigated the kinetics of freezing of starch at -17 and -26 °C, the content of extraction of starch, physic-chemical and microbiological characteristics, the index of solubility in water and water absorption capacity, the isotherms of hygroscopic equilibrium at 25, 30, 35, 40 and 45 °C, the rheological behavior of the pastes of starch in concentrations of 4, 5 and 6% at 20, 30, 40 and 50 °C, and the sensory analysis of porridges with three different concentrations of starch (4, 5 and 6%). For the starch with water content of 45% (w.b.), and to the temperature of -17 °C, the average effective thermal diffusivity was  $1.779 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , while at -26 °C the value was  $2.196 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . The practical yield observed in the extraction of starch was 18.28%. In relation to its physic-chemical characteristics the starch of yam showed pH equal to 6.50, with a water content of 5.81% (w.b.), ash equal to 0.14%, acid percentage of 0.98, fiber content of 0.18%, purity of 80.18%, protein of 1.24% and lipid content of 3.33%. Through the microbiological analysis it was observed that there was not presence of any micro-organisms investigated (*Salmonella* sp., *Bacillus cereus* and *Coliforms* at 45 °C). It was found values of 2.02% and 0.25 gram of water per gram of sample for the index of solubility in water and water absorption capacity, respectively. The behavior of the isotherms obtained for the starch was typical type II and Chung-Pfost model was the best one that adjusted to the experimental data and can be used satisfactorily in the prediction of isotherms of hygroscopic equilibrium of the yam starch. The paste with 4, 5 and 6% of starch showed non-Newtonian fluid behavior and that it depends on time, with predominance of thixotropic character and the Power Law model that best adjusted the experimental rheological data. By sensorial analysis was possible to verify that the porridges prepared with concentration of 6% of starch were the most accepted and porridges with 4% starch, the least accepted by the judges, independent of milk used to prepare it. The starch obtained from yam follow the standards established by Brazilian legislation and the ANVISA, respectively, and due to its pureness degree (80.18%), it can be considered that the method used in this work to extract it is efficient.

**Keywords:** *Dioscorea alata* L., starch, isotherm hygroscopic equilibrium, rheology, sensory analysis.

## **1.0- INTRODUÇÃO**

O mercado dinâmico e a concorrência acirrada evidenciam a necessidade constante do desenvolvimento de novos produtos para a sobrevivência, sobretudo, das indústrias de alimentos. O amido é um produto muito utilizado neste segmento industrial. Dentro das inúmeras aplicações possíveis e pela própria abundância, o amido possui importante papel comercial, passível, portanto de ser utilizado como agentes ligantes, espessantes, estabilizantes e formadores de filmes e gel.

Constituindo uma das mais abundantes fontes de carboidratos, o amido é a principal substância de reserva em plantas, responsável por 70-80% da energia calórica consumida pelo homem (YONEMOTO, 2006). Trata-se de um polissacarídeo obtido, na maioria das vezes, de grãos de milho, trigo, arroz e raízes, particularmente de batata, batata doce e mandioca (EERLINGEN e DELCOUR, 1995).

Cada vez mais o setor industrial mostra maior interesse em amidos naturais com características que atendam ao mercado consumidor. Frente a este fato, as pesquisas em torno de novas matérias-primas amiláceas se têm intensificado nos últimos anos.

Segundo HUANG et al. (2006), o amido é um produto globalizado que pode ser extraído, também, de tuberosas; no entanto, pouco se faz para aumentar o leque de aplicações dessas culturas. LEONEL e CEREDA (2002) evidenciaram em seus estudos com algumas tuberosas amiláceas, que o inhame, a araruta e o biri apresentam potencial de uso como matéria-prima industrial e, ainda, que o inhame e o biri tiveram maior rendimento de extração de amido; o inhame é uma fonte potencial para alimentos fabricados em muitos países tropicais e subtropicais devido ao seu alto conteúdo de amido; no entanto, SANTOS e MACÊDO (2002) afirmam que no Estado da Paraíba sua produtividade ainda é baixa, aproximadamente 11 ton/ha.

Juntamente com o leite (caprino e bovino), o amido de inhame pode ser utilizado na preparação de alimentos que, pelos seus valores nutricionais, proporcionem uma alimentação saudável para o crescimento e manutenção corporal. O leite bovino é um excelente alimento, composto de uma mistura dos elementos essenciais para a alimentação de recém-nascidos além de representar boa fonte de suplementação dietética para os

adultos enquanto pelas suas características nutricionais e excelente digestibilidade, o leite caprino também passa a ser um alimento importante, sobretudo nos países subdesenvolvidos, onde as deficiências alimentares são maiores.

## 1.1- Objetivos

Propôs-se, com esta pesquisa, a obtenção de amido a partir do inhame (*Dioscorea alata* L.) variedade São Tomé e o estudo da possibilidade de sua utilização em alimentos à base de leite caprino e bovino (mingaus).

### 1.1.1- Objetivos específicos

- ✓ Extração de amido de inhame;
- ✓ estudo da cinética de congelamento do amido de inhame a -17 e -26°C;
- ✓ secagem do amido utilizando-se o processo de liofilização;
- ✓ caracterização físico-química dos tubérculos e do amido de inhame;
- ✓ caracterização microbiológica do amido de inhame;
- ✓ determinação do índice de solubilidade em água e da capacidade de absorção de água do amido de inhame;
- ✓ determinação das isotermas de equilíbrio higroscópico para o amido de inhame a 25, 30, 35, 40 e 45°C;
- ✓ estudo do comportamento reológico das suspensões gelatinizadas de amido de inhame (pastas) com três diferentes concentrações do amido (4, 5 e 6%);
- ✓ realização da análise sensorial dos mingaus à base de leite caprino e bovino preparados com concentrações de 4, 5 e 6% de amido de inhame.

## 2.0- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1- Tuberosas amiláceas

As culturas de tuberosas incluem um grande número de plantas com bulbos, raízes e tubérculos, extensamente utilizadas na culinária, em que as mais comuns são a mandioca, o inhame, o taro, a batata-doce, etc. A maioria dessas culturas é amilácea, ou seja, nelas o componente predominante é o amido.

As tuberosas receberam várias denominações, de acordo com o país de origem. Em diferentes países, além do nome científico elas também são conhecidas por nomes populares. No Brasil existe, ainda, certa “confusão” nas denominações populares dos gêneros *Colocasia* e *Dioscorea* apesar dos termos brasileiros já terem sido uniformizados segundo a denominação internacional, durante o primeiro Simpósio Nacional sobre as Culturas do Inhame e do Cará, em 2001. Foram propostas e aprovadas as denominações de Inhame, para o gênero *Dioscorea* e Taro, para o gênero *Colocasia esculenta* (CEREDA, 2002b).

Consideradas alimentos de subsistência, as tuberosas são capazes de proporcionar energia para populações carentes, em virtude do seu teor calórico. Dentre as raízes e tubérculos amiláceos mais cultivados no mundo se encontra a batata inglesa, visto que ela pode ser cultivada em clima temperado; no entanto, existem numerosas raízes e tubérculos, menos conhecidos que a batata inglesa, mas não de potencial inferior, podendo servir não só para consumo humano quanto para uso industrial. Os mais conhecidos são a mandioca, a batata-doce, o inhame e o taro, além da mandioquinha-salsa (VILPOUX, 2003). As culturas tuberosas merecem destaque especial como matéria-prima para a extração de amidos naturais, já que este componente está presente em quantidades consideráveis em quase todas as tuberosas CEREDA (2002a); entretanto, poucas como a araruta e o biri, são usados como matéria-prima alternativa.

#### 2.1.1- Inhame (*Dioscorea* sp.)

O inhame (*Dioscorea* sp.) é uma amilácea cultivada, na sua maioria, para o consumo direto, sendo produzido há mais de 2000 anos em regiões de clima tropical e

subtropical. De acordo com JAYAKODY et al. (2007), o gênero *Dioscorea* é bem adaptado a climas tropicais com temperaturas em torno de 30 a 34°C e precipitação anual em torno de 1500 mm, porém, no Brasil o inhame é uma cultura de pequenos produtores, utilizada sobretudo na alimentação humana. Segundo MONTEIRO e PERESSIN (2002), os maiores produtores e também consumidores deste tubérculo estão na África e na Ásia tropical.

Em algumas regiões brasileiras este tubérculo é conhecido como inhame, em outras como cará. Trata-se de plantas monocotiledonares pertencentes ao gênero *Dioscoreaceae*. A maioria das espécies desta família, assim como aquelas de importância econômica alimentar, é do gênero *Dioscorea* e produzem tubérculos aéreos ou subterrâneos.

Aproximadamente 600 espécies estão incluídas no gênero *Dioscorea*; no Brasil merece destaque a espécie *alata* L. variedade Flórida e *cayenensis* L. De menor importância mas ainda cultivadas, são as espécies *trifida* L. variedade mimoso legítimo, *bulbifera* L. e *opposita* Thunb. (MONTEIRO e PERESSIN, 2002). Na China, a espécie *opposita* Thunb. tem sido utilizada como um dos mais importantes alimentos com funções farmacêuticas como um significativo revigorante (SHUJUN et al., 2006).

As túberas de inhame são ricas em vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina, niacina, adermanina), carboidratos (amido, principalmente), e minerais, além de apresentarem propriedades medicinais e baixos teores de gordura (SANTOS et al., 2007). Por ser um alimento de excelente qualidade nutritiva, energética e de preço acessível, o inhame é um item importante na alimentação do povo nordestino, razão pela qual, segundo OLIVEIRA (2006), se concentra no Nordeste brasileiro 90% de todo o inhame produzido no Brasil, em que os maiores produtores são os Estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Bahia e Maranhão.

Em avaliação referente à potencialidade de plantas tropicais, LEONEL e CEREDA (2002) constataram que o inhame apresentou o maior potencial de produção de amido por área, com 6,1 t/ha, entre as sete espécies citadas. Conforme DAIÚTO e CEREDA (2003), em função do seu rendimento agrícola o inhame apresenta grande potencial para produção industrial de amido.

## 2.2- Amido

O amido constitui a fonte mais importante de carboidratos na alimentação humana, representando de 80-90% de todos os polissacarídeos da dieta, além de ser o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados (LOBO e SILVA, 2003).

Distribuído de forma ampla em diversas espécies vegetais como carboidrato de reserva, o amido é abundante em grãos, cereais, raízes, tubérculos e em plantas medicinais, a exemplo das espécies de *Fritillaria* utilizadas na indústria farmacêutica. Cerca de 50 a 65% do peso das sementes de cereais secos e até 80% da matéria seca de tubérculos são constituídos de amido (SHUJUN et al., 2005; TAPARELLI, 2005).

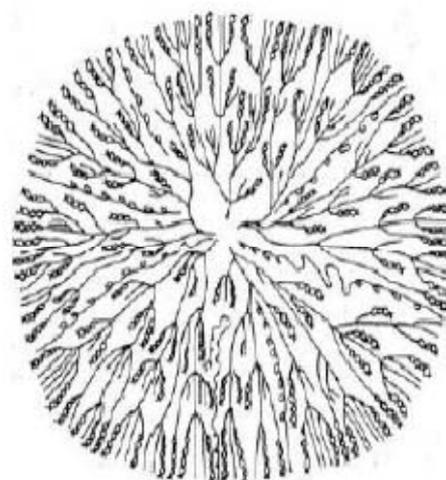
Dependendo do tipo, o amido pode ser utilizado para diversos fins na indústria metalúrgica, cosmética, farmacêutica, de papel, têxtil e, sobretudo, na indústria de alimentos. No setor frigorífico, devido à maior absorção de água que apresenta, o amido é usado para deixar os produtos mais macios e proporcionar maior rendimento. Na indústria de biscoitos o amido pode ser adicionado à matéria-prima para padronizar o teor de glúten da farinha de trigo, enquanto na fabricação de iogurtes ele é acrescentado com o objetivo de substituir a gelatina que dá, ao produto final, aspecto cremoso. Balas e caramelos contêm amido na sua composição; neste caso, o ingrediente fornece textura e controla o tempo de preparo das balas gelatinosas. O amido também entra na produção de patês e molhos como estabilizantes e na fabricação de pudins e sobremesas, para atribuir textura suave ao produto FRANCO et al. (2002).

No Brasil uma das principais fontes de amido para as indústrias de alimentos o milho. Amidos como o do inhame, têm menor aplicação comercial e, por isso, são menos divulgados em relação ao amido de milho (FREITAS et al., 2004). O inhame vem sendo estudado como fonte alternativa de amido, em razão das suas propriedades desejáveis, como estabilidade a alta temperatura e baixo pH (ALVES et al., 1999).

### 2.2.1- Composição química do amido

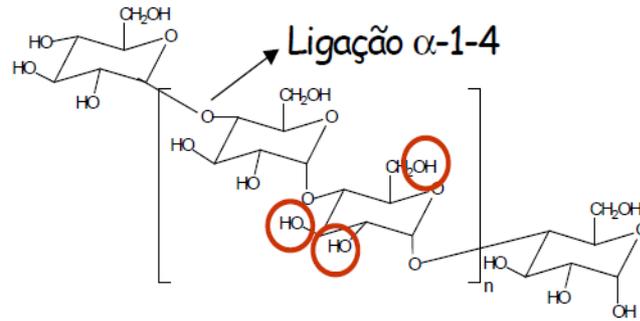
O amido é composto de dois polímeros de estruturas diferentes: *amilose* e *amilopectina*. As proporções em que estes são encontrados variam de acordo com a espécie da qual provém o amido e mesmo entre aqueles originários da mesma espécie, as proporções de amilose e amilopectina oscilam segundo o grau de maturação das plantas (KITAHARA e COPELAND, 2004). O amido pode variar qualitativa e quantitativamente, tal como suas propriedades físico-químicas e funcionais, de acordo com a origem botânica (NODA et al., 1995; KAUR et al., 2004).

A estrutura do grânulo de amido é vista na Figura 2.1. A massa molecular da amilose varia de  $10^5$  a  $10^6$  g/mol e o da amilopectina varia de  $10^7$  a  $5 \times 10^8$  g/mol (You, et al., citados por MATSUGUMA, 2006).



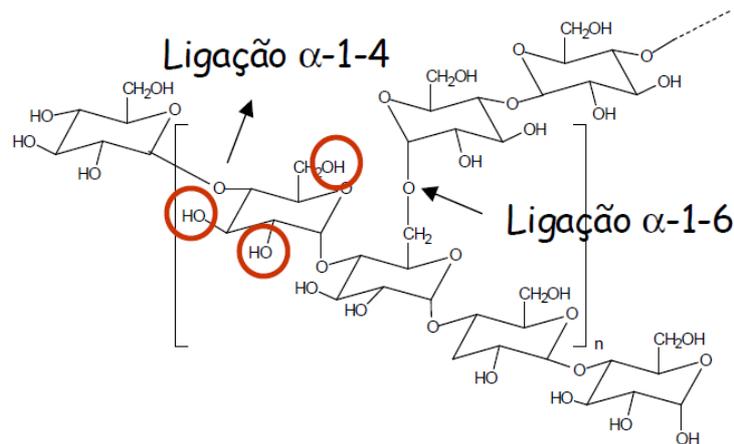
**Figura 2.1-** Representação esquemática do grânulo de amido (MATSUGUMA, 2006)

Na Figura 2.2 se encontra representada a estrutura da molécula de amilose. De acordo com BULÉON et al. (1998), a amilose é um polissacarídeo essencialmente linear formado por unidades de D-glicopiranosose unidas entre si por ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4, e um pequeno número de ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,6, que se apresentam na forma helicoidal havendo, no interior da hélice, átomos de hidrogênio e externamente a mesma grupos hidroxilas.



**Figura 2.2-** Esquema estrutural da molécula de amilose (TEIXEIRA, 2007)

No grânulo do amido existe uma fração altamente ramificada, a amilopectina, formada de cadeias constituídas de unidades de D-glicopiranosose unidas por ligações  $\alpha$ -1,4, estas ainda são ligadas entre si por ligações glicosídicas do tipo  $\alpha$ -1,6, conforme apresentado na Figura 2.3 (BELLO-PÉREZ et al., 1996).



**Figura 2.3-** Esquema estrutural da molécula de amilopectina (TEIXEIRA, 2007)

Os teores de amilose e amilopectina influenciam, respectivamente, as propriedades químicas e tecnológicas de um amido tanto quanto sua susceptibilidade a hidrólise enzimática, suas propriedades gelificantes e espessantes (MASSAUX et al., 2006).

Apesar constituído, essencialmente, de carboidratos, na composição do amido estão presentes, embora em pequenas quantidades, substâncias como lipídios, proteínas, cinzas e sais minerais.

## 2.2.2- Propriedades gerais do amido

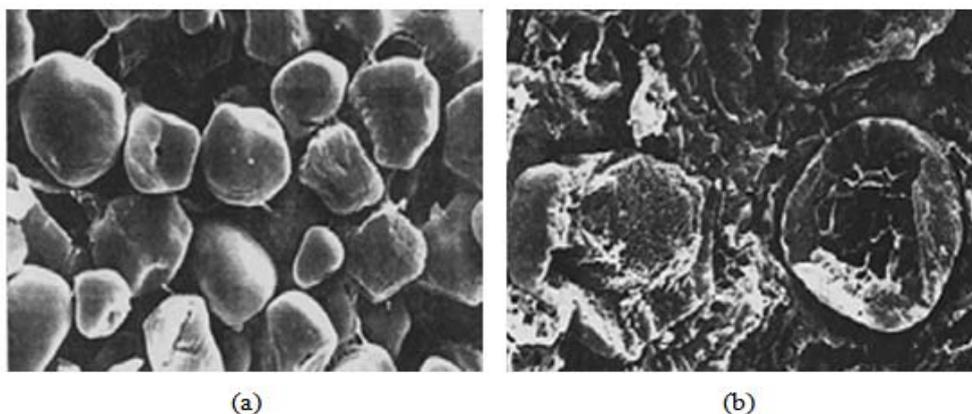
### 2.2.2.1- Insolubilidade

A qualidade de um alimento também está associada com a capacidade dos grânulos de amido reter água e se expandirem.

O amido puro tem coloração branca, é insípido e, apesar de sofrer certo grau de inchamento, é praticamente insolúvel em água fria formando apenas suspensões de aspecto leitoso, que sofre separação quando mantida em repouso. Apesar das hidroxilas presentes na estrutura do amido acarretarem uma natureza altamente hidrofílica, seus grânulos apresentam insolubilidade em virtude das fortes ligações de hidrogênio que mantêm as cadeias de amido unidas e reduzem a superfície disponível para as ligações entre a água e os grânulos de amido (FRANCO et al., 2002; TEIXEIRA, 2007).

### 2.2.2.2- Gelatinização

Em presença de água e aquecimento, o grânulo de amido sofre alterações permitindo que a água seja incorporada à sua estrutura e componentes mais solúveis, como a amilose, se dissociem e se difundam para fora do mesmo aumentando, assim, a viscosidade da suspensão, que neste ponto do processo é chamada pasta (Figura 2.4). Este processo é conhecido como *gelatinização* e a temperatura em que ele ocorre é chamada temperatura de gelatinização (PENG et al., 2007a)



**Figura 2.4** - Imagens de grânulos de amido de milho durante o processo de gelatinização: (a) a 40°C e (b) a 70°C (PENG et al., 2007a)

ROLEE e LEMESTE (1999) afirmam que a gelatinização do amido pode variar com a relação amilose/amilopectina, com a cristalinidade, o tamanho do grânulo e a distribuição e quantidade de componentes menores como lipídios, proteínas ou enzimas. De acordo com GOÑI et al. (2008), este fato pode causar influência sobre as propriedades reológicas e sensoriais dos alimentos.

### **2.2.2.3- Retrogradação e sinérese**

A *retrogradação* é um processo antecedido pela gelatinização do amido e pode ser definida como a reassociação das moléculas do amido (essencialmente a amilose), formando uma estrutura mais organizada conhecida como gel (CHENE, 2004). Em certas condições, o amido sofre, após o cozimento dextrinização e hidrólise parciais mas, posteriormente, sofre polimerizações, transformando-se em um produto insolúvel, ou seja, o amido volta à sua condição de insolubilidade em água fria e por isto a este processo é dado o nome de retrogradação (FRANCO et al., 2002).

Com a formação do gel, as moléculas do amido firmemente associadas, fazem com que a água presente entre suas cadeias seja expulsa. Esta liberação de água pelo gel é chamada *sinérese*.

A retrogradação prejudica os alimentos que contêm amido e que são estocados por um longo período de tempo, sobretudo se o armazenamento for sob refrigeração, fator este que acelera o fenômeno (LIMBERGER, 2006). Ao contrário do empastamento que ocorre durante a gelatinização do amido, a retrogradação e, conseqüentemente, a sinérese, são fenômenos totalmente indesejáveis.

### **2.3- Extração do amido de inhame**

O processo de extração do amido de inhame consiste na trituração do tubérculo com a finalidade de romper as células vegetais e liberar o amido de seu interior; em seguida, é procedida a separação do resíduo por peneiramento ou filtração obtendo-se o amido através de posterior decantação ou centrifugação.

DUFOUR et al. (2002) citam que 32 plantas testadas para extração apresentaram teores de amido e facilidade de extração, que permitiram a classificação em 4 grupos; no primeiro grupo estão as plantas que apresentam maior teor de amido e facilidade de extração, enquanto no segundo grupo se incluem as plantas com elevado teor de amido porém com dificuldades na extração; já no grupo três se classificam as plantas com teor médio de amido e dificuldade de extração - neste grupo se situam as espécies de inhame; o último grupo inclui plantas com baixo teor de amido e maior dificuldade de extração.

A extração e a decantação do amido de inhame são dificultadas pela presença de mucilagens, que mantêm o amido em suspensão. FRANCO et al. (2002) sugerem que o aproveitamento do mucopolissacarídeo presente nos tubérculos de inhame como espessante, na mesma ordem que as gomas e mucilagens tradicionais, poderia viabilizar a extração do seu amido.

#### **2.4- Leite**

O leite é, hoje, um dos principais alimentos mundialmente consumidos e considerado um dos mais completos por apresentar vários elementos importantes para a nutrição humana sendo, por isso, ideal para a dieta de crianças e adultos (MESQUITA, 2005).

Além da importância econômica, o leite apresenta grande valor nutricional, em razão da presença de proteínas, carboidratos, gordura, sais minerais e vitaminas, em teores adequados tanto no aspecto qualitativo como no quantitativo, o que favorece o crescimento, a proteção imunológica e a manutenção de uma vida saudável (SOUZA, 2007; VENTURINI et al., 2007).

O leite bovino é a variedade de leite mais explorada. Segundo Fox e Mcsweeney, citados por PEDRAS (2007), sua composição média é de aproximadamente: 12,7% sólidos totais, 3,7% gordura, 3,4% proteína, 4,8% lactose e 0,7% cinzas. As proteínas são, ainda, divididas em caseínas, que representam aproximadamente 80% do total, e as proteínas do soro, que correspondem a aproximadamente 20%.

O leite caprino vem ganhando cada vez mais espaço nas prateleiras das redes de supermercados e, com ele, seus derivados (iogurtes, leite em pó, queijos e sorvetes). O grande potencial deste alimento decorre das características inerentes ao produto, extremamente relacionadas com o novo perfil de consumo.

Em relação ao leite bovino, o leite caprino tem características únicas, como alta digestibilidade e hipoalergenicidade. Por isto é bastante recomendado para pessoas convalescentes, idosas e crianças, especialmente aquelas alérgicas ao leite bovino. A elevada digestibilidade do leite caprino decorre do tamanho reduzido e da fácil dispersão dos seus glóbulos de gordura e pela sua proteína de coagulação que forma uma coalhada fina, macia e com perfeita digestão em curto espaço de tempo (COSTA, s/d; PRATA et al., 1998; FISBERG 1999).

Com relação à composição do leite caprino, é semelhante à do leite bovino, apesar de apresentar menores teores de cobalto e variações quanto aos teores de cobre e ferro (JARDIM, 1984).

## **2.5- Atividade de água e conservação de alimentos**

A água presente em um alimento está sujeita a interações que podem modificar não apenas suas propriedades mas também aquelas dos materiais com os quais interagem (BARUFFALDI e OLIVEIRA, 1998).

Um dos fatores que proporcionam o crescimento e desenvolvimento de micro-organismos nos alimentos é a água. A redução da água livre de um alimento eleva a pressão osmótica do seu meio, diminuindo a proliferação de micro-organismos e a atividade de enzimas que provocam alterações no mesmo.

Usualmente, o teor de água de um alimento é expresso pelo valor obtido na determinação da água total nele contida; entretanto, este valor não fornece informações de como é a distribuição de água nesse alimento nem, tampouco, permite saber se toda a água está ligada do mesmo modo ao alimento.

Segundo BOBBIO e BOBBIO (1992), nos alimentos existem pelo menos dois tipos de água:

- A água livre, fracamente ligada ao substrato, funciona como solvente, permitindo o crescimento de micro-organismos e o desenvolvimento de reações químicas e é eliminada com relativa facilidade;
- A água combinada é fortemente ligada ao substrato, mais difícil de ser eliminada, não utilizada como solvente e, portanto, não permite o desenvolvimento de micro-organismos e retarda as reações químicas.

O teor de água de um produto não é, por si só, suficiente para prever sua estabilidade. Não é o teor de água que dá a idéia da disponibilidade aos agentes deteriorantes e, sim, sua condição no alimento. É a água disponível para atividade bioquímica, enzimática e microbiana a que, na realidade, determina a vida útil de um produto, e é expressa pelo conceito de atividade de água ( $A_w$ ). De acordo com SILVA (2000), é a atividade de água que dá a ideia correta da disponibilidade de água nos alimentos, independente do seu valor quantitativo.

A atividade de água é dada pela relação entre a pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o alimento ( $P$ ), e a pressão de vapor da água pura ( $P_0$ ) a mesma temperatura:

$$A_w = \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

O movimento do vapor d'água de um alimento para o ambiente depende tanto do alimento (teor de água e composição) quanto das condições do ar (temperatura e umidade). A uma temperatura constante o teor de água do alimento é alterado até entrar em equilíbrio com o vapor d'água no ar circundante - este fato é chamado teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) do alimento, e a umidade relativa da atmosfera de armazenagem é conhecida como umidade relativa de equilíbrio ( $URE$ ) (FELLOWS, 2006).

A medida do valor da atividade de água se baseia no evento de que a pressão  $P$  do vapor de água sobre um alimento após atingir o equilíbrio a determinada temperatura,

corresponde à percentagem da *URE* do alimento (BOBBIO e BOBBIO, 1992). A atividade de água será então, igual a *URE*, comumente expressa por

$$A_w = \frac{URE}{100} \quad (2)$$

Os micro-organismos possuem uma  $A_w$  máxima, ótima e mínima para seu crescimento. Como a  $A_w$  da água pura é 1,00 e nela os micro-organismos não se podem desenvolver, o limite máximo para o crescimento é em uma  $A_w$  menor que 1,00.

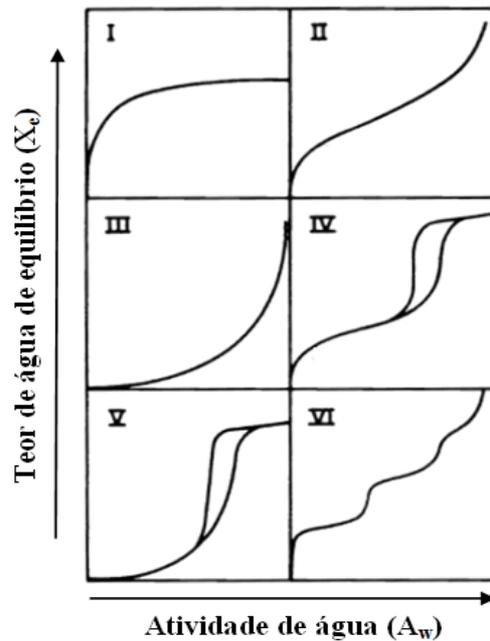
Em valores elevados de  $A_w$ , da ordem de 0,98 até aproximadamente 1,00, quase todos os micro-organismos se desenvolvem bem. Neste intervalo são as bactérias que se fazem predominantes, pelo fato de crescerem com muito mais rapidez que os bolores e as leveduras, nas mesmas condições. Quando os valores de  $A_w$  são menores que 0,87, normalmente, o crescimento de bactérias e da maioria das leveduras, está sendo inibido. Apenas os bolores podem proliferar (LIMA et al., 2002).

### **2.5.1- Isoterma de equilíbrio higroscópico**

O estudo da atividade de água pode ser feito através das isotermas de sorção que descrevem a relação de equilíbrio de uma quantidade de água sorvida por componentes do alimento e a pressão de vapor ou umidade relativa, a dada temperatura (AL-MUHTASEB et al., 2002; BROD, 2003). A construção de uma isoterma de equilíbrio higroscópico é de fundamental importância, pois permite previsões da estabilidade e de variação na qualidade do produto durante seu acondicionamento e armazenamento (HOSSAIN et al., 2001).

Uma isoterma de sorção pode ser dita de adsorção ou dessorção: a primeira é feita quando um material mais seco é colocado em várias atmosferas, aumentando a umidade relativa e medindo o aumento de peso devido ao ganho de água; na segunda, o material, inicialmente úmido, é colocado sob as mesmas condições ambientais utilizadas na adsorção, sendo medida a perda de peso, em virtude da saída de água (KUROZAWA et al., 2005).

O formato da isoterma é função do tipo de porosidade do sólido. Várias são as formas de isotermas conhecidas até hoje, porém, todas são variações de seis tipos principais. Os cinco primeiros tipos foram sugeridos, antes, por Brunauer em 1938, sendo o sexto tipo proposto mais tarde (TEIXEIRA et al., 2001). Na Figura 2.5 se encontram os seis tipos de isotermas.



**Figura 2.5-** Tipos de isotermas de sorção (IUPAC, 1985)

Conforme ORDÓNEZ PEREDA et al. (2005), para os alimentos, a maioria das isotermas de equilíbrio higroscópico apresenta forma sigmóide, com pequenas variações, de acordo com sua estrutura física, composição química, temperatura e capacidade de retenção de água.

A utilização de modelos matemáticos na predição de isotermas de sorção de água tem, como vantagem, o fato de que eles são necessários com poucos pontos experimentais para construir uma isoterma PENA et al. (2000). Dentre os modelos matemáticos capazes de prever uma isoterma de equilíbrio higroscópico, estão os modelos de Henderson, Henderson modificado por Thompson, Oswin e Chung-Pfost, representados pelas Equações 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

$$X_e = \left[ \frac{\ln(1 - A_w)}{-a \cdot T} \right]^{1/b} \quad (3)$$

$$X_e = \left\{ \frac{\ln(1 - A_w)}{[-a(T + b)]} \right\}^{1/c} \quad (4)$$

$$X_e = \frac{(a + bT)}{\left[ \frac{(1 - A_w)}{A_w} \right]^{1/c}} \quad (5)$$

$$X_e = a - b \cdot \ln[-(T + c) \cdot (\ln A_w)] \quad (6)$$

em que:

$X_e$  = teor de água de equilíbrio (kg de água/kg de massa seca);

$A_w$  = atividade de água (adimensional);

$T$  = temperatura (°C);

$a$ ,  $b$  e  $c$  = constantes das equações.

## 2.6- Secagem

A secagem é um dos mais antigos processos empregados como método de conservação; apesar de ainda ser utilizado não o é, porém, nas formas empíricas anteriores mas, sim, dentro dos moldes e controles tecnológicos.

Segundo GAVA (1998), os processos de secagem de produtos de origem animal e vegetal se enquadram dentro de dois grupos: *secagem natural* ou *ao sol* e *secagem artificial* ou *desidratação* ou, ainda, *dessecação*.

### 2.6.1- Secagem pelo processo de liofilização

Os alimentos podem ser conservados por meio do processo de desidratação, no qual o calor é utilizado para remover a água do alimento reduzindo, dessa forma, a atividade de água do produto; no entanto, o calor afeta as características organolépticas e a qualidade nutricional do alimento. Na liofilização se obtém o efeito conservante pela redução da atividade de água sem o aquecimento do alimento e, como resultado, uma retenção maior da qualidade nutricional e das características organolépticas do produto.

A liofilização, também chamada *criodesidratação* ou *criosecagem* (freeze-drying) é um tipo especial de desidratação por sublimação ou transformação direta do gelo do alimento em vapor d'água, sem passar pelo estado de água líquida. Este processo permite o armazenamento do alimento por longo período de tempo e é utilizado, sobretudo, para secar alimentos que têm aromas ou texturas delicados, como café, cogumelos, ervas e especiarias, suco de frutas, carnes, frutos do mar, hortaliças e refeições completas para rações militares ou para expedições (FELLOWS, 2006).

De acordo com EVANGELISTA (1998), a liofilização traz algumas vantagens em relação a outros métodos de conservação de alimentos:

- ✓ alimentos facilmente reidratados;
- ✓ os alimentos, após serem reconstituídos, representam fielmente o produto original;
- ✓ redução da perda de vitaminas e de constituintes voláteis;
- ✓ diminuição da desnaturação das proteínas;
- ✓ pela ausência de oxigênio no processo, a ação de micro-organismos anaeróbios é impedida;
- ✓ os alimentos são leves e não necessitam de refrigeração;
- ✓ proporciona maior tempo de armazenamento para o produto.

Para que a liofilização ocorra, a temperatura e a pressão parcial de vapor d'água devem ser inferiores às do ponto triplo da água, isto é, 0,0099°C e 610,5Pa (ORDÓÑEZ PEREDA et al., 2005).

### **2.6.1.1- Congelamento**

A água ou solução aquosa existente no produto que se pretende sublimar durante a liofilização, deve estar na fase sólida, razão pela qual o passo prévio à liofilização é o congelamento do produto com o objetivo de transformar as soluções aquosas dos alimentos em uma mistura de duas fases, uma constituída de cristais de gelo e a outra pela solução concentrada dos solutos. O tipo de congelamento exerce grande influência na estrutura do produto final pois a distribuição dos seus poros depende do tamanho e da localização dos cristais de gelo formados (ORDÓÑEZ PEREDA et al., 2005).

Caso não haja o congelamento prévio do produto, algumas modificações indesejáveis podem ocorrer durante a liofilização, como contração pronunciada dos produtos sólidos, migração de sólidos solúveis para a superfície, desnaturação de proteínas, perda de compostos voláteis, formação de camadas duras e impermeáveis na superfície e dificuldade de reidratação posterior (GAVA, 1998).

## **2.7- Reologia**

A reologia é definida como a ciência da deformação de objetos sob a influência de forças aplicadas ou estudo da mobilidade dos fluidos ou, ainda, estudo da mecânica da deformação permanente ou temporária dos materiais sólidos e líquidos (BOBBIO e BOBBIO, 1992; ESTELLER, et al., 2004; FELLOWS, 2006).

Existem numerosas áreas nas quais dados reológicos são necessários no processamento industrial de alimentos como, por exemplo, na determinação da funcionalidade de certos ingredientes durante o desenvolvimento de alguns produtos, no controle de qualidade intermediário ou final de um produto, na determinação da vida de prateleira e na avaliação da textura de alimentos, assim como nos cálculos envolvidos no dimensionamento de equipamentos, como bombas e misturadores (STEFFE, 1996).

Segundo VIDAL e GASPARETTO (2000), devido à grande importância econômica de diversos fluidos e equipamentos de manipulação industrial, a necessidade do conhecimento de parâmetros reológicos para esses fluidos se vem tornando, atualmente, cada vez mais crescente.

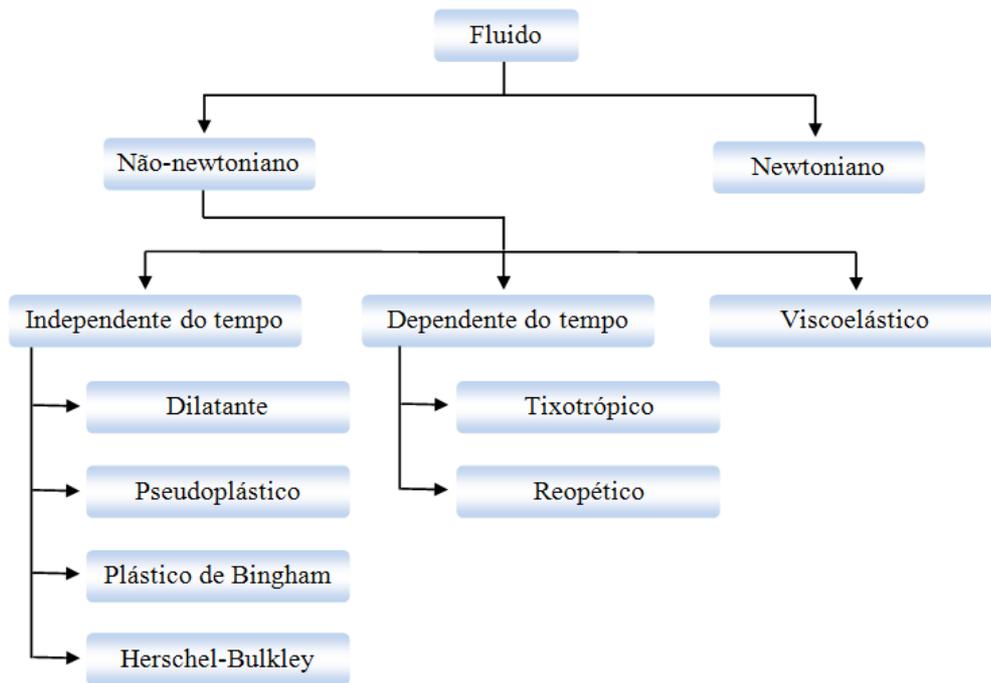
### **2.7.1- Classificação reológica dos fluidos**

Um fluido é definido como uma substância que se deforma continuamente quando se submete a um esforço constante, sem se importar quão pequeno seja este esforço (HAMINIUK, 2005).

Em muitas operações e tratamentos ocorrem mudanças das características do produto, sendo oportuno se conhecer como a viscosidade varia com o tratamento utilizado (MARTINS et al., 2005). Muitos fluidos têm sua viscosidade alterada durante processos

como aquecimento e resfriamento o que influencia, por exemplo, na força necessária para bombear esses produtos no decorrer do seu processamento industrial.

Em função do comportamento reológico viscoso, os fluidos podem ser classificados, basicamente, em *newtonianos* (água, alguns óleos, gases e soluções simples de açúcares e sais) e *não-newtonianos* (emulsões, suspensões e soluções concentradas que contêm amidos, pectinas, gomas e proteínas), conforme a Figura 2.6 (SATO, 2005).



**Figura 2.6-** Classificação reológica dos fluidos (Adaptado de STEFFE, 1996)

Em fluidos newtonianos, a tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) é diretamente proporcional à taxa de deformação ( $\dot{\gamma}$ ) de modo que a viscosidade newtoniana do sistema ( $\eta$ ) independe da taxa de deformação aplicada, como observado na Equação 7.

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (7)$$

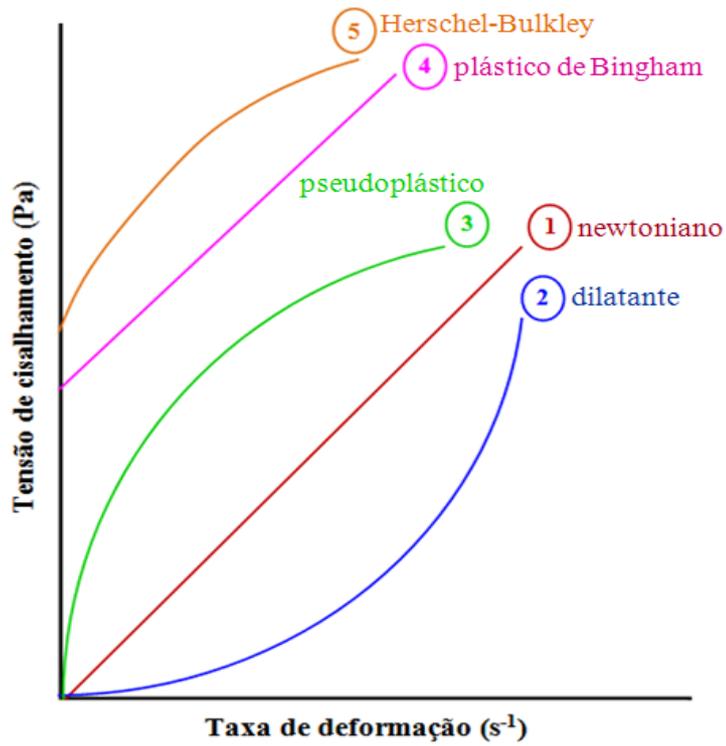
Para fluidos não-newtonianos o termo viscosidade é substituído por  $\eta_{ap}$  que é a viscosidade aparente e é função do gradiente de velocidade (Vidal, citado por HAMINIUK, 2005) (Equação 8).

$$\eta_{ap} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (8)$$

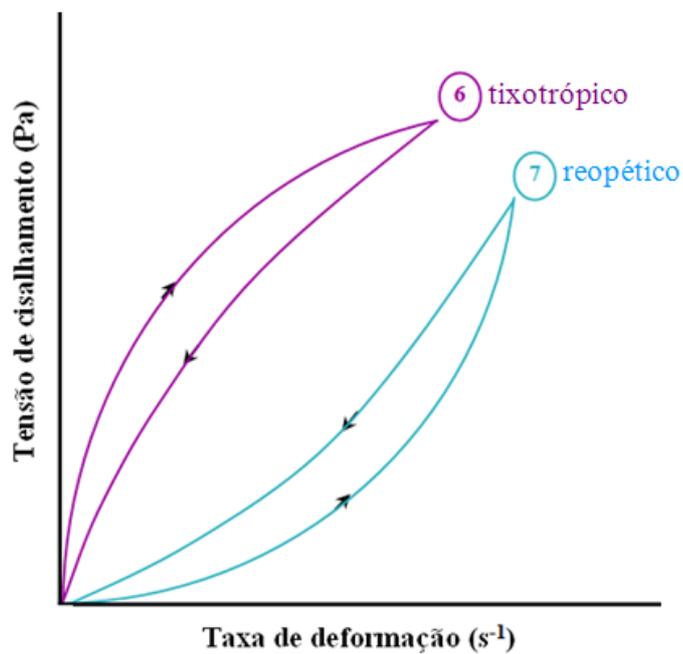
A relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação define o comportamento reológico dos fluidos, conforme representado graficamente nas Figuras 2.7 e 2.8 (SCHRAMM, 2000).

De modo geral, os fluidos não-newtonianos podem ser:

- ✓ *fluidos dilatantes*: a viscosidade aparente aumenta com a taxa de deformação;
- ✓ *fluidos pseudoplásticos*: a viscosidade aparente decresce com o aumento da taxa de deformação;
- ✓ *fluidos plásticos (Bingham e Herschel-Bulkley)*: esses fluidos não fluem até que uma tensão de cisalhamento crítica seja excedida; a partir de então se a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação for linear, tratar-se-á de um plástico de Bingham, caso contrário, o fluido será do tipo Herschel-Bulkley;
- ✓ *fluidos tixotrópicos*: apresentam menor viscosidade com o tempo para uma taxa de deformação constante;
- ✓ *fluidos reopéticos*: neste caso, a estrutura se fortalece com o tempo e a viscosidade aumenta com o tempo a uma taxa de deformação constante;
- ✓ *fluidos viscoelásticos*: exibem propriedades viscosas e elásticas ao mesmo tempo.



**Figura 2.7-** Curvas de escoamento típicas de fluidos não-newtonianos independentes do tempo (Adaptado de STEFFE, 1996)



**Figura 2.8-** Curvas de escoamento típicas de fluidos não-newtonianos dependentes do tempo (Adaptado de SCHRAMM, 2000)

Dentre as equações matemáticas utilizadas para estimar a relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação, estão os Modelos de Herschel-Bulkley e o de Ostwald-de-Waele ou Lei da Potência representados pelas Equações 9 e 10.

$$\tau = \tau_0 + k_{hb} \cdot \gamma^{n_{hb}} \quad (9)$$

$$\tau = k_{lp} \cdot \gamma^{n_{lp}} \quad (10)$$

em que:

$\tau$  = tensão de cisalhamento (Pa);

$\tau_0$  = tensão de cisalhamento inicial (Pa);

$k_{hb}$  = índice de consistência para o modelo de Herschel-Bulkley (Pa.s<sup>n<sub>hb</sub></sup>);

$k_{lp}$  = índice de consistência para o modelo Lei da Potência (Pa.s<sup>n<sub>lp</sub></sup>);

$\gamma$  = taxa de deformação (s<sup>-1</sup>);

$n_{hb}$  = índice de comportamento do fluido para o modelo de Herschel-Bulkley (adimensional);

$n_{lp}$  = índice de comportamento do fluido para o modelo Lei da Potência (adimensional).

## 2.8- Análise sensorial

Do ponto de vista da ciência dos alimentos, a qualidade é composta pelas características de que se diferenciam unidades de um produto como fator crítico à determinação do grau de aceitabilidade do consumidor (FERREIRA et al, 2003).

O consumidor é um provador sensorial em potencial que além de decidir o que e como utilizará determinado produto, exige cada vez mais qualidade, diversificação, facilidade, rapidez e praticidade do mesmo.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, análise sensorial é a disciplina científica usada para evocar, medir, analisar e interpretar reações das características dos alimentos e dos materiais, da forma que são percebidas pelos sentidos da visão, do olfato, do gosto, do tato e da audição (ABNT, 1993). Através deste tipo de análise é possível promover o desenvolvimento de novos produtos levando-se em

consideração as preferências individuais do consumidor e a reformulação de produtos já existentes no mercado, além de incentivar a otimização e a melhoria da qualidade dos mesmos.

### 2.8.1- Métodos de avaliação sensorial

Diferentes métodos de avaliação são utilizados a fim de se determinar o perfil sensorial, a aceitação e preferências acerca de determinados produtos. Segundo NASSU (2007), os métodos sensoriais podem ser divididos em analíticos (discriminativos e descritivos) e afetivos.

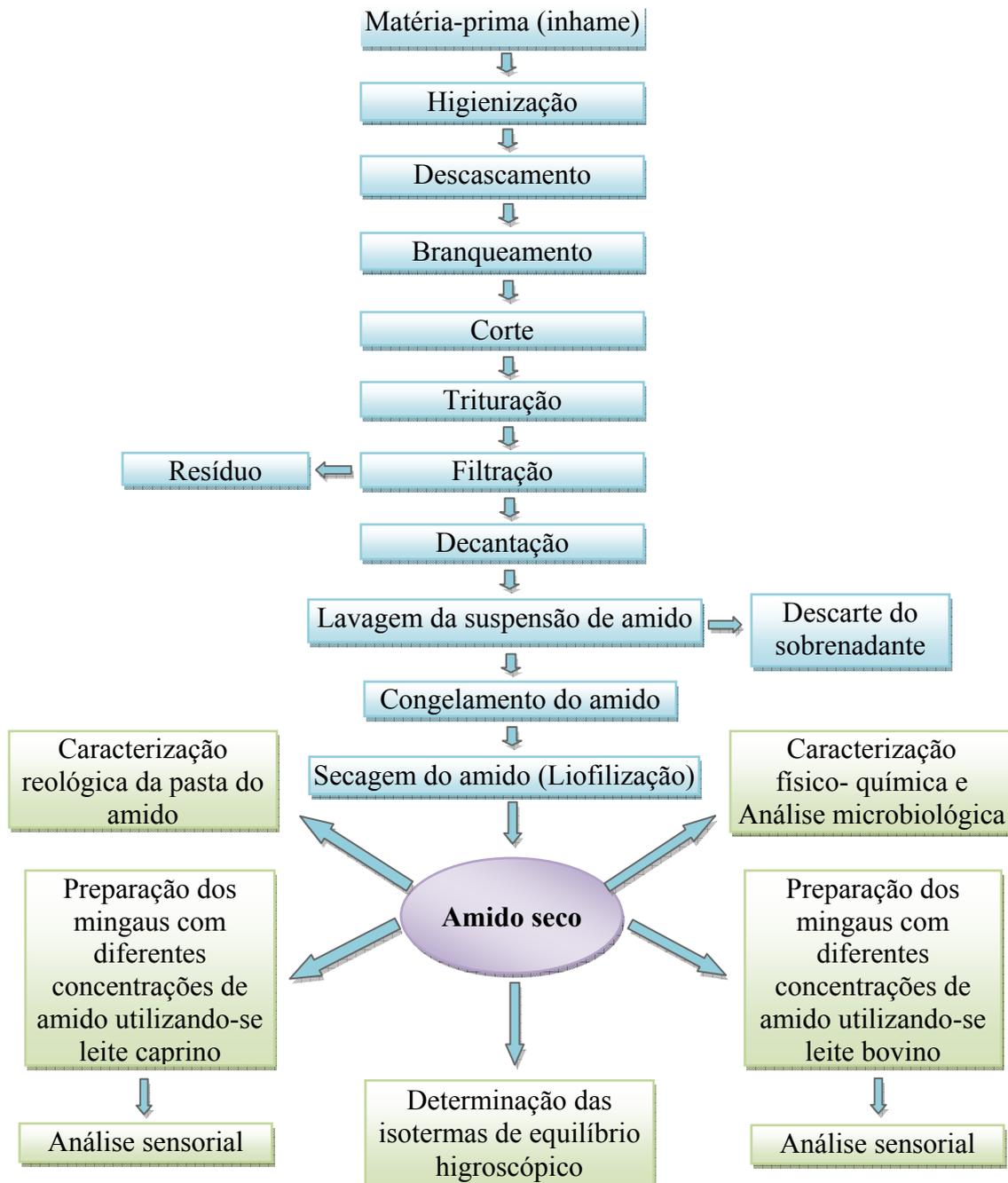
**Métodos discriminativos:** são aqueles que medem atributos específicos pela discriminação simples indicando, por comparações, se existem ou não diferenças estatísticas entre as amostras. O *Teste Duo-Trio* determina se há diferença sensorial entre uma amostra e um padrão, a *Comparação Pareada* detecta pequenas diferenças entre amostras quanto a um atributo específico ou estabelece a existência de uma preferência; já o *Teste Triangular* detecta se existem pequenas diferenças entre duas amostras que sofreram processos diferentes. O *Teste de Ordenação* avalia três ou mais amostras, simultaneamente, ordenando-as em relação à intensidade de um atributo específico ou de preferência, enquanto o *Teste de Comparação Múltipla* avalia, simultaneamente, uma ou mais amostras quanto a um atributo específico, determinando a diferença e o grau da diferença em relação a um controle (IAL, 2005).

**Métodos descritivos:** descrevem os parâmetros sensoriais e medem a intensidade em que são percebidos. O método da *Análise Descritiva Quantitativa* (ADQ) permite traçar o perfil sensorial dos produtos, através do levantamento e quantificação de atributos por uma equipe de provadores e pode explicar as diferenças responsáveis pela maior ou menor aceitação dos produtos estudados (KAWAGUTI et al., 2007). Pode-se realizar, pelo método *Perfil de sabor* uma descrição completa do odor e aroma, do sabor e das sensações bucais residuais, determinando graus de diferença entre as amostras e o método *Perfil de textura* fornece uma descrição completa da textura, de acordo com parâmetros mecânicos, geométricos, de gordura e teor de água, definindo o grau em que estão presentes e da ordem com que são percebidos desde a primeira mordida até a mastigação e fases finais de deglutição (IAL, 2005).

**Métodos afetivos:** acessam diretamente a opinião (preferência e/ou aceitabilidade) do consumidor a respeito de características específicas deste produto, ou idéias que o consumidor tenha do produto a ser avaliado (SILVA, 2006). O *Teste de Aceitação* avalia o quanto um consumidor gosta ou desgosta de determinado produto enquanto o *Teste de Preferência* determina a preferência que o consumidor tem sobre um produto em relação a outro.

### 3.0- MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi conduzida no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, PB. As etapas referentes ao processo de obtenção e caracterização do amido de inhame estão expostas no fluxograma da Figura 3.1.



**Figura 3.1-** Etapas do processo de obtenção e caracterização do amido de inhame e da análise sensorial dos mingaus

### **3.1- Isolamento do amido nativo de inhame**

Realizou-se a extração do amido nativo de acordo com a metodologia proposta por DAIÚTO e CEREDA (2003) com modificações.

### **3.2- Matéria-prima**

Utilizou-se, para a realização desta pesquisa, o inhame (*Dioscorea alata* L.) variedade São Tomé (Figura 3.2). Os tubérculos, assim como o leite caprino e o bovino tipo UHT (Ultra-High Temperature) utilizados na elaboração dos mingaus, foram adquiridos em uma rede de supermercados na cidade de Campina Grande, PB.



**Figura 3.2-** Tubérculos de inhame (*Dioscorea alata* L.).

#### **3.2.1- Higienização**

Ainda com casca os tubérculos foram lavados em água corrente para eliminação de terra e demais corpos estranhos (Figura 3.3).



**Figura 3.3-** Tubérculos higienizados

### **3.2.2- Descascamento**

O descascamento foi procedido de forma manual (Figura 3.4) e os tubérculos lavados novamente em água corrente para que as sujidades remanescentes do descascamento fossem eliminadas garantindo, desta forma, qualidade ao amido, no que se refere à ausência de corpos estranhos.



**Figura 3.4** - Descascamento manual dos tubérculos de inhame

### **3.2.3- Branqueamento**

Até o momento da trituração os tubérculos foram seccionados e imersos em solução de bissulfito de sódio (0,5%) para que a ação enzimática fosse inibida, conforme mostrado na Figura 3.5 (BORBA et al., 2005).



**Figura 3.5-** Branqueamento dos tubérculos de inhame

### 3.2.4- Corte

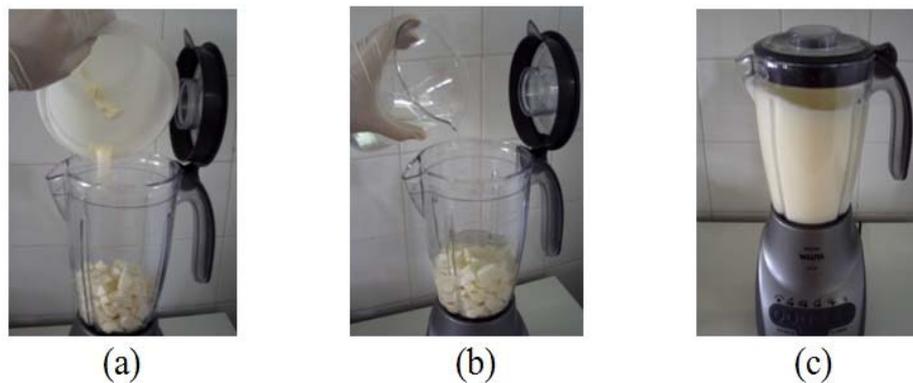
Após o branqueamento os tubérculos foram seccionados em partes menores para que a trituração fosse realizada de maneira eficiente (Figura 3.6).



**Figura 3.6-** Tubérculos seccionados para posterior trituração

### 3.2.5- Trituração

Conforme a Figura 3.7, a trituração do inhame foi realizada em liquidificador doméstico (600W) cujo material foi triturado por aproximadamente 4 minutos, na velocidade máxima do aparelho, com uma solução 0,03N de hidróxido de sódio na proporção de 1:2 (g de inhame: g da solução).



**Figura 3.7-** Trituração dos tubérculos de inhame: (a) tubérculos seccionados, (b) adição da solução de NaOH e (c) trituração do material

### **3.2.6- Filtração**

O material triturado foi filtrado em sacos confeccionados com organza (abertura da malha próxima a 100 mesh) (Figura 3.8).



**Figura 3.8** - Filtração: (a) material triturado e (b) filtração do material em organza

### **3.2.7- Decantação**

Inicialmente, a suspensão de amido filtrada foi decantada por um período de cerca de 16 horas, em ambiente refrigerado a 5°C (Figura 3.9) para evitar ação enzimática ou fermentativa durante o processo de decantação.



**Figura 3.9**- Decantação da suspensão de amido

### **3.2.8- Descarte do sobrenadante**

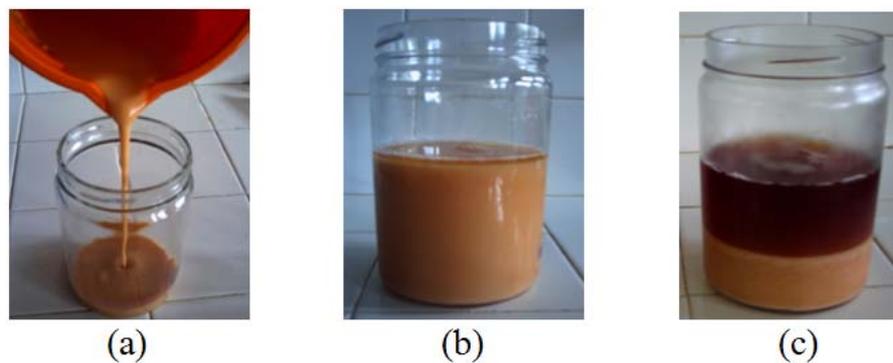
Após passar pela primeira decantação a suspensão teve seu sobrenadante descartado (Figura 3.10).



**Figura 3.10-** Descarte do sobrenadante após a primeira decantação: (a) parte da mucilagem presente nos tubérculos, (b) descarte da solução de NaOH juntamente com a mucilagem e (c) precipitado decantado (amido) no recipiente

### 3.2.9- Lavagem do amido

Ainda com parte do sobrenadante, o amido precipitado foi transferido para recipientes em vidro, suspenso com água destilada e decantado novamente (Figura 3.11).



**Figura 3.11-** Lavagem do amido: (a) transferência da suspensão de amido para recipiente em vidro, (b) amido ressuspenso em água destilada e (c) amido após a segunda decantação

Este procedimento de suspensão e decantação do amido foi efetuado até que o produto apresentasse cor e textura características de amido e que, praticamente, toda a mucilagem presente na suspensão fosse eliminada, como indicado na Figura 3.12.



**Figura 3.12-** Amido após sucessivas lavagens

Este procedimento teve a função não só de auxiliar no ajuste do pH quanto de eliminar a mucilagem presente na suspensão, porém, foi necessário, ainda, o uso de uma solução de ácido oxálico (0,1M) para proporcionar o completo ajuste do pH dessa suspensão para aproximadamente 6,5.

### **3.2.10- Congelamento**

O amido foi congelado a  $-26^{\circ}\text{C}$ , em freezer vertical.

#### **3.2.10.1- Cinética de congelamento**

Em função do tipo de secagem sofrida pelo amido (liofilização), a cinética de congelamento do produto foi avaliada.

A preparação das amostras se deu da seguinte forma: uma alíquota do amido lavado e decantado foi transferida para um recipiente de poliestireno o qual possuía, previamente afixado em seu interior, na direção radial, um eletrodo que seria posteriormente conectado a um termopar (Figura 3.13). Este recipiente, juntamente com o amido, foi mantido sob condições ambientais modificadas (umidade relativa de 55% e temperatura de  $22^{\circ}\text{C}$ ) durante cerca de 16 horas. O referido procedimento conferiu, à massa de amido em questão, teor de água de 45% (b.u.).



**Figura 3.13-** Cinética de congelamento: preparação da amostra de amido a ser congelada

O recipiente de poliestireno teve tão somente a função de moldar a massa de amido, de forma que a mesma mantivesse o seu formato semelhante a uma placa plana circular, de espessura igual a 1,5cm e 8,0cm de diâmetro, durante todo o período de congelamento.

A amostra foi retirada do recipiente de maneira que o eletrodo do termopar permanecesse no centro geométrico da placa de amido. Esta placa foi submetida a congelamento a -17 e -26°C. A coleta dos dados (valores de temperatura da amostra e do meio em que se encontrava) foi feita por meio de um termopar, em diferentes intervalos de tempo, até que as temperaturas da amostra e do meio estivessem estabilizadas.

Os dados coletados foram utilizados para a construção da curva de congelamento em função do tempo, a cada temperatura estudada.

Aos dados experimentais da curva de congelamento do amido foi ajustada a Equação 11, cuja solução, sugerida por CRANK (1975) para calcular a transferência de calor em regime transiente para o produto, com forma semelhante a uma placa plana, é dada pela Equação 12.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (11)$$

$$RT = \frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \exp(\sigma_n^2 \cdot Fo) \quad (12)$$

$$A_n = \frac{2\text{sen}\sigma_1}{\sigma_1 + \text{sen}\sigma_1 \cdot \text{cos}\sigma_1} \quad (13)$$

$$Fo = \left(\frac{\alpha}{L^2}\right) t \quad (14)$$

em que:

$RT$  = razão de temperatura (adimensional);

$T$  = temperatura em cada instante (°C);

$T_\infty$  = temperatura do meio de congelamento (°C);

$T_0$  = temperatura inicial do produto (°C);

$Fo$  = número de Fourier (adimensional);

$A_n$  = constante que depende do produto;

$\sigma_n$  = raiz transcendental;

$\alpha$  = difusividade térmica efetiva ( $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ );

$L$  = espessura da amostra/2;

$t$  = tempo (s).

Realizou-se a análise de regressão não-linear para determinação dos coeficientes da Equação 12 através do programa STATISTICA, versão 8.0 utilizando-se, para tal, os dados de razão de temperatura em função do tempo.

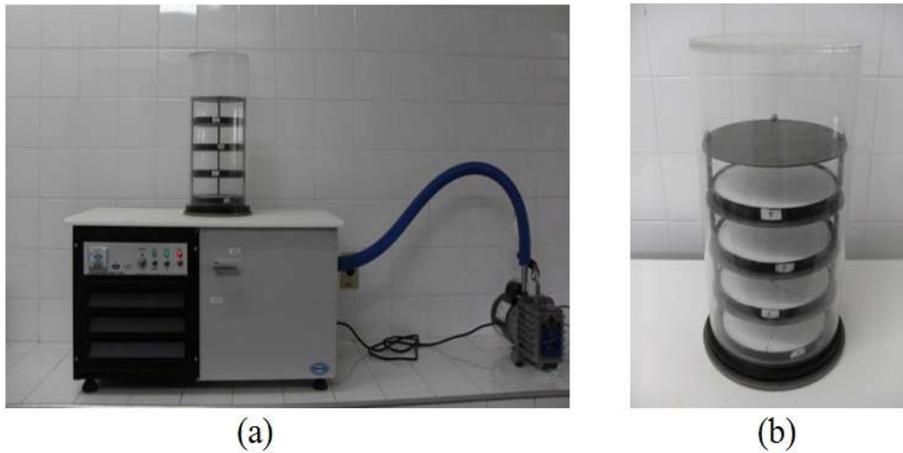
### 3.2.11- Secagem do amido (liofilização)

O material decantado foi seco por liofilização. O amido com teor de água de aproximadamente 45% (b.u.) foi posto nas bandejas do liofilizador e então congelado a  $-26^\circ\text{C}$  (Figura 3.14).



**Figura 3.14-** Congelamento do amido a  $-26^\circ\text{C}$

As bandejas com o amido congelado foram levadas ao liofilizador, marca Terroni Fauvel, modelo LB 1500 (Figura 3.15) onde permaneceram 48 horas sob vácuo.



**Figura 3.15-** Equipamento utilizado para secagem do amido: (a) Liofilizador Modelo LB 1500 e (b) câmara onde o amido é liofilizado

### 3.2.12- Embalagem

Porções com aproximadamente 30g do amido seco foram acondicionadas em sacos de polietileno com fechamento “zip lock”; em seguida, cada pacote foi recoberto com duas embalagens feitas a partir de plástico metalizado e selados. Com o objetivo de manter o amido em ambiente do qual não absorvesse umidade, essas embalagens foram então armazenadas em uma caixa de poliestireno expandido contendo sílica gel e mantidas em temperatura ambiente até seu uso nas análises seguintes (Figura 3.16).



**Figura 3.16-** Embalagem do amido seco: (a) saco de polietileno com fechamento “zip lock” (à esquerda) e embalagem de plástico metalizado (à direita), (b) porções de amido já embaladas e (c) caixa de poliestireno expandido para o armazenamento do amido

### 3.3- Rendimento da extração

O rendimento prático da extração do amido foi calculado como percentagem da massa de amido obtida ao final da secagem, com teor de água de 2,2%, em relação à massa de tubérculos triturada, com teor de água original de 73,9%, conforme Equação 15.

$$R_p = \frac{m_a}{m_i} \cdot 100 \quad (15)$$

em que:

$R_p$  = rendimento prático (%);

$m_a$  = massa de amido obtido após a secagem (g);

$m_i$  = massa de inhame triturado (g).

Também se calculou o rendimento da extração, em termos de matéria seca (RMS) como percentagem da quantidade de matéria seca da massa de amido obtida, com teor de água de 2,2%, em relação à quantidade de matéria seca da massa de tubérculos triturada, com teor de água original de 73,9% (Equação 16).

$$R_{MS} = \frac{C_a \cdot m_a}{C_i \cdot m_i} \cdot 100 \quad (16)$$

em que:

$R_{MS}$  = rendimento em termos de matéria seca (%);

$m_a$  = massa de amido obtido após a secagem (g);

$m_i$  = massa de inhame triturado (g);

$C_a$  = teor de matéria seca do amido obtido após a secagem (%);

$C_i$  = teor de matéria seca do inhame triturado (%).

### 3.4- Caracterização físico-química

Os parâmetros físico-químicos foram determinados tanto para os tubérculos quanto para o amido de inhame. Todas as determinações foram procedidas em triplicata.

### **3.4.1- pH**

O pH foi determinado através do uso de um phmetro previamente calibrado com soluções tampão de pH 7,0 e 4,0, segundo a metodologia do IAL (2005). Os resultados foram expressos em unidades de pH.

### **3.4.2- Teor de água**

Determinou-se o teor de água das amostras conforme o método descrito pelo IAL (2005), no qual aproximadamente 5g da amostra foram levados à estufa a 105°C, até peso constante. Os resultados foram expressos em percentagem.

### **3.4.3- Cinzas**

A determinação de cinzas ou minerais foi realizada pelo método gravimétrico, baseado na incineração do material seco em mufla, a 550°C, segundo a metodologia proposta pela AOAC (1994). Os resultados foram expressos em percentagem.

### **3.4.4- Acidez titulável**

A acidez titulável foi determinada pela titulação da amostra com solução 0,1N de hidróxido de sódio utilizando-se, como indicador para verificação do ponto de viragem, solução alcoólica a 1% de fenolftaleína. Os resultados foram expressos em percentagem (IAL, 2005).

### **3.4.5- Fibra**

De acordo com AACC (1975), determinou-se o teor de fibras nas amostras e os resultados foram expressos em percentagem.

### **3.4.6- Amido**

O teor de amido das amostras foi determinado segundo o IAL (2005). Os resultados foram expressos em percentagem.

### **3.4.7- Proteína bruta**

Calculou-se o teor de proteínas através da determinação do teor de nitrogênio pelo método de Kjeldahl clássico (IAL, 2005), usando-se o fator 6,25 para conversão, sendo os resultados expressos em percentagem.

### **3.4.8- Lipídios**

O teor de lipídios foi determinado pelo método proposto pelo IAL (2005) após extração em Soxhlet. Os resultados desta determinação foram expressos em percentagem.

### **3.5- Análise microbiológica**

Realizaram-se análises microbiológicas apenas no amido; os micro-organismos determinados foram *Coliformes* a 45°C, *Bacillus cereus* e *Salmonella* sp.

Para determinação desses micro-organismos empregou-se a metodologia descrita na Instrução Normativa nº 62/2003 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA (BRASIL, 2003). Os resultados foram expressos em “número mais provável por grama da amostra” (NMP/g) para *Coliformes* a 45°C, em “unidades formadoras de colônia por grama da amostra” (UFC/g) para *Bacillus cereus* e em “presença ou ausência em 25g da amostra” (PRESENÇA ou AUSÊNCIA/25 g) para *Salmonella* sp.

### **3.6- Determinação da capacidade de absorção de água e índice de solubilidade em água**

A determinação da capacidade de absorção de água (CAA) e do índice de solubilidade em água (ISA) do amido de inhame, foi realizada segundo o método de Anderson et al., citados por LEONEL et al. (2006) em temperatura ambiente. Para a capacidade de absorção de água, os resultados foram expressos em grama de água por grama da amostra enquanto para o índice de solubilidade em água os resultados foram expressos em percentagem.

### **3.7- Isotermas de equilíbrio higroscópico**

Obtiveram-se as isotermas de equilíbrio higroscópico do amido nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45  $\pm$  2°C, utilizando-se o método dinâmico, para o que, se fez uso do equipamento Thermoconstanter Novasina TH-2 (Figura 3.17).



**Figura 3.17-** Thermoconstanter Novasina TH-2

Amostras de amido com diferentes teores de água foram pesadas (aproximadamente 2,0g) e colocadas em células que acompanham o aparelho (Figura 3.18).



**Figura 3.18-** Célula contendo a amostra de amido

As células, contendo as amostras, foram levadas ao equipamento para determinação, através de um sensor, da atividade de água das amostras a temperaturas constantes (Figura 3.19); em seguida, as amostras foram retiradas do equipamento e conduzidas à estufa (105°C) em cadinhos de alumínio com peso previamente conhecido, até peso constante, a fim de se determinar o teor de água de equilíbrio das amostras para cada temperatura diferente e atividade de água.



**Figura 3.19-** Acoplamento da célula ao equipamento

### 3.7.1- Ajuste matemático para as isotermas de equilíbrio higroscópico

Ajustaram-se, aos valores experimentais das isotermas de equilíbrio higroscópico do amido, os modelos de Henderson, Henderson modificado por Thompson, Oswin e Chung-Pfost, representados pelas Equações 3, 4, 5 e 6, respectivamente. O ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais foi feito com o software STATISTICA 8.0, utilizando-se análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton. Como critério para avaliação do ajuste de cada modelo aos dados experimentais, utilizou-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dado pelo software, e o desvio percentual médio (P) calculado pela Equação 17.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\gamma_e - \gamma_t|}{\gamma_e} \quad (17)$$

em que:

$P$  = desvio percentual médio (%);

$n$  = número de dados experimentais;

$\gamma_e$  = valor experimental;

$\gamma_t$  = valor teórico.

### 3.8- Estudo reológico

Visando à realização do estudo reológico do amido, utilizou-se um viscosímetro Brookfield, modelo DVII com spindle nº25, fabricado por Brookfield Engineering Laboratories, Inc., E.U.A. Conforme exposto na Figura 3.20, além de ser provido de um suporte no qual era colocado um porta-amostra que comportava pequenas quantidades (cerca de 40mL), este equipamento era acoplado a um banho-maria, o que possibilitou controlar as temperaturas das amostras durante os ensaios.



**Figura 3.20-** Viscosímetro Brookfield- DVII

Pequenas quantidades de suspensão foram preparadas com diferentes concentrações de amido (4, 5 e 6%). Referidas suspensões foram aquecidas sob agitação constante até sua gelatinização total (ponto de pasta) e, em seguida, levadas ao porta-amostra que, por sua vez, era colocado no suporte do viscosímetro (Figura 3.21).



**Figura 3.21-** Porta-amostra utilizado no viscosímetro Brookfield- DVII

As determinações reológicas foram realizadas nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C. Para obtenção dos parâmetros de interesse, variou-se a taxa de deformação de 0,22 a 44 s<sup>-1</sup> e se utilizaram as velocidades de 1, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180 e 200 rpm. Referidas leituras foram feitas em escala ascendente (ciclo 1 de cisalhamento) e imediatamente em escala descendente (ciclo 2 de cisalhamento) de velocidade de rotação.

As leituras de velocidade de rotação, torque, viscosidade aparente, tensão de cisalhamento, taxa de deformação, temperatura e tempo, foram registradas em um computador conectado ao viscosímetro com auxílio de um software acoplado ao sistema de aquisição de dados do equipamento (Figura 3.22).



Figura 3.22- Tela com registro dos dados fornecidos nos ensaios reológicos

### 3.8.1- Ajuste matemático dos dados experimentais reológicos

Às curvas de taxa de deformação versus tensão de cisalhamento foram ajustados o Modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) e o Modelo de Herschel-Bulkley. Para realização do ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais procedeu-se à análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, para o que se utilizou o software STATISTICA 8.0. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dado pelo software e o desvio percentual médio (P) calculado pela Equação 17, foram tidos como base para a avaliação do ajuste de cada modelo aos dados experimentais.

### 3.9- Análise sensorial

Os mingaus foram preparados de forma convencional, isto é, levando-os ao fogo brando, com agitação constante até aproximadamente 4 minutos após fervura. Mingaus com três diferentes concentrações de amido foram preparados (4, 5 e 6%). Verificou-se, em testes preliminares que, de acordo com a proporção entre leite e amido recomendada nas embalagens de massas comerciais para alimentos infantis, quando determinada através de um refratômetro de bancada, o teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}$ Brix) dessa mistura é de aproximadamente  $15^{\circ}$ Brix, motivo pelo qual todos os mingaus submetidos a análise sensorial foram adicionados de açúcar, de forma que estivessem com teor final de sólidos solúveis de aproximadamente  $15^{\circ}$ Brix.

Para cada uma das diferentes concentrações de amido, se elaboraram mingaus à base de leite caprino e de leite bovino.

As amostras foram avaliadas em copos plásticos descartáveis com capacidade de 50mL codificados com algarismos de três dígitos, sendo “417” para o mingau à base de leite caprino e com 4% de amido, “511” para o mingau à base de leite caprino e com 5% de amido “613” para o mingau à base de leite caprino e com 6% de amido, “420” para o mingau à base de leite bovino e com 4% de amido, “529” para o mingau à base de leite bovino e com 5% de amido e “625” para o mingau à base de leite bovino e com 6% de amido. Todas as amostras foram postas ao acaso, e distribuídas também em badeiras plásticas descartáveis.

As amostras dos mingaus elaborados com cada tipo de leite foram submetidas a teste de preferência e a teste de escala de intenção utilizando-se uma escala estruturada de 7 pontos, de acordo com os formulários de avaliação expostos nas Figuras 3.23 e 3.24.

A análise de preferência foi feita de forma isolada, ou seja, solicitou-se, primeiro que os julgadores classificassem as amostras, todas elaboradas com leite bovino, por ordem de preferência e, em seguida, o mesmo procedimento foi tomado para as amostras elaboradas com leite caprino; buscou-se, então, saber qual a concentração de amido que mais agradaria ao consumidor.

Solicitou-se aos julgadores, em um segundo momento, que atribuíssem notas a cada amostra provada, obedecendo a uma escala de 1 a 7, em que eles expressassem, claramente, com que frequência consumiriam este alimento. Para analisar os resultados desta etapa da pesquisa utilizou-se o programa CONSENSOR (SILVA et al., 2008). Desenvolvido especificamente para análise de resultados de testes sensoriais, este programa calcula o grau de concordância entre os consumidores com relação aos resultados gerados

<b>ANÁLISE SENSORIAL</b>			Data: ___/___/___
Julgador: _____			Idade: _____
Você está recebendo três amostras codificadas. Avalie cada uma na <b><u>ordem crescente de sua preferência</u></b> .			
_____ (1) (menos preferida)	_____ (2)	_____ (3) (mais preferida)	
Comentários:			

**Figura 3.23-** Formulário utilizado na análise sensorial para avaliação de preferência em relação aos mingaus preparados à base de leite caprino e bovino, com diferentes concentrações de amido de inhame (ABNT, NBR 14141, citado por IAL, 2005)

<b>ANÁLISE SENSORIAL</b>		Data: ___/___/___
Julgador: _____		Idade: _____
Você está recebendo três amostras codificadas. Avalie cada uma segundo a <b><u>sua intenção de consumo</u></b> , utilizando a escala abaixo.		
(7) Consumiria sempre		
(6) Consumiria muito frequentemente	_____	( )
(5) Consumiria frequentemente		
(4) Consumiria ocasionalmente	_____	( )
(3) Consumiria raramente		
(2) Consumiria muito raramente	_____	( )
(1) Nunca consumiria		
Comentários:		

**Figura 3.24-** Formulário utilizado na análise sensorial para avaliação da intenção de consumo dos mingaus preparados à base de leite caprino e bovino e com diferentes concentrações de amido de inhame (ABNT, NBR 13170, citado por IAL, 2005)

O painel sensorial foi composto de 30 julgadores não treinados, com faixa etária variando entre 10 e 14 anos, recrutados entre alunos da Escola Municipal de Ensino Fundamental Euflaudízia Rodrigues, situada na cidade de Boqueirão, PB.

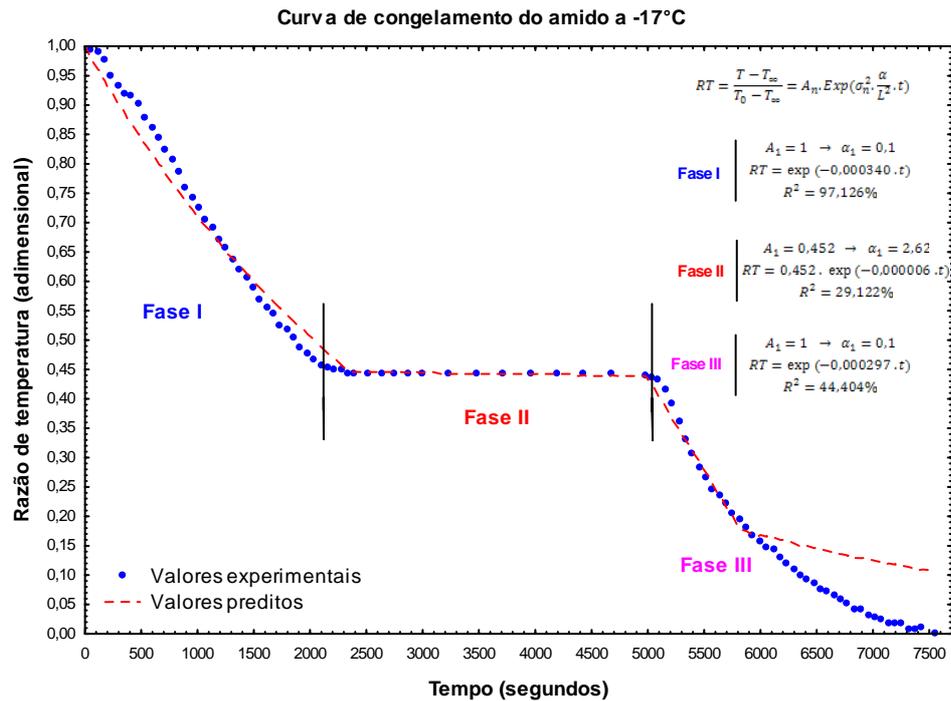
## **4.0- RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1- Cinética de congelamento do amido**

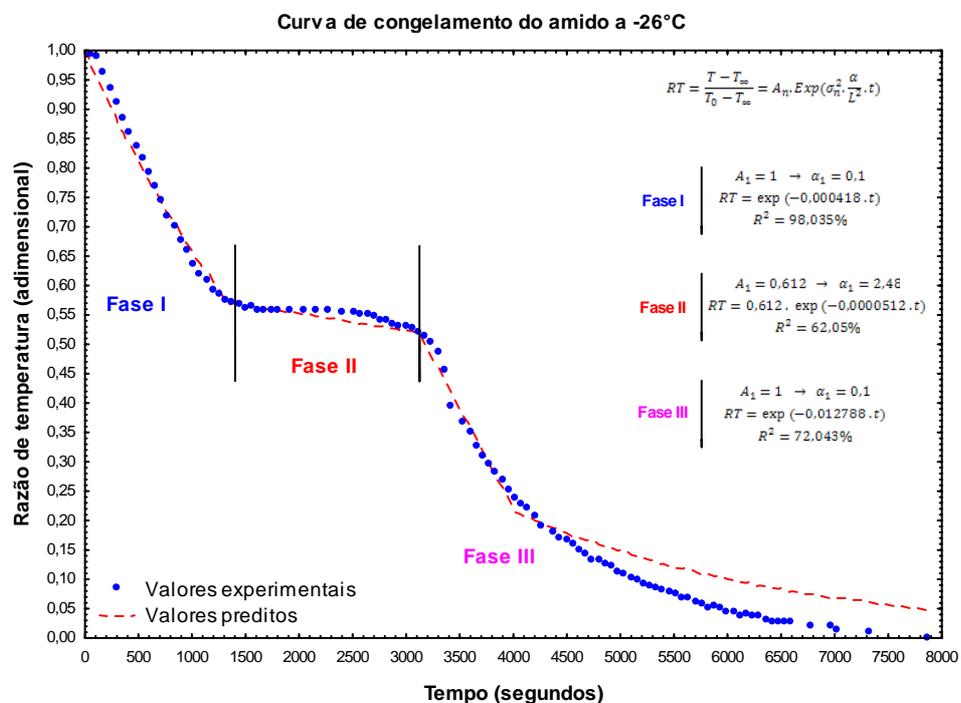
Os dados experimentais de temperatura e razão de temperatura em função do tempo para o amido de inhame congelado a  $-17$  e  $-26^{\circ}\text{C}$  se encontram no Apêndice A, nas Tabelas A1 e A2, respectivamente.

Nas Figuras 4.1 e 4.2, estão as curvas de congelamento do amido nas temperaturas de  $-17$  e  $-26^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. É nítida a presença de três fases distintas (resfriamento, cristalização e pós-congelamento) semelhantes às curvas obtidas no congelamento da água pura; esta ocorrência é devido ao teor de água presente no amido congelado, que foi de aproximadamente 45% (b.u.).

No congelamento a  $-17^{\circ}\text{C}$  (Figura 4.1), o período de resfriamento (Fase I) foi de cerca de 2100 segundos, durante o qual o valor da temperatura do produto diminuiu de  $21,1$  para  $0,4^{\circ}\text{C}$ . O período de cristalização (Fase II) foi completado em aproximadamente 2940 segundos; neste período de tempo o amido atingiu a temperatura de  $-0,2^{\circ}\text{C}$ ; já o pós-congelamento (Fase III) se deu em um intervalo de 2580 segundos e a amostra de amido teve sua temperatura diminuída até  $-17^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 4.1-** Curvas de congelamento para uma amostra de amido de inhame com forma semelhante a uma placa plana de 1,5cm de espessura a temperatura de -17°C



**Figura 4.2-** Curvas de congelamento para uma amostra de amido de inhame com forma semelhante a uma placa plana de 1,5cm de espessura a temperatura de -26°C

Verifica-se, na Figura 4.2, que o período de resfriamento do amido a  $-26^{\circ}\text{C}$  ocorreu em aproximadamente 1400 segundos, em que a temperatura da amostra passou de  $20,4$  para  $0,3^{\circ}\text{C}$ . Em torno de 1900 segundos foi o tempo necessário para que ocorresse o período de cristalização durante o congelamento do amido a  $-26^{\circ}\text{C}$ , mantendo a amostra de amido com temperatura igual a  $-2,2^{\circ}\text{C}$ , ao final deste período. Até que o amido atingisse a temperatura de  $-26^{\circ}\text{C}$ , o pós-congelamento ocorreu em 4680 segundos.

Na Tabela 4.1 se apresentam os valores da difusividade térmica efetiva do amido submetido a diferentes temperaturas de congelamento.

**Tabela 4.1-** Valores de difusividade térmica efetiva de cada fase do congelamento do amido e difusividade efetiva média, para temperaturas de  $-17$  e  $-26^{\circ}\text{C}$

T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Difusividade Térmica Efetiva ( $\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$ )			Difusividade Térmica Efetiva Média ( $\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$ )
	Fase I	Fase II	Fase III	
-17	1,914	-	1,671	1,779
-26	2,349	-	2,155	2,196

Face à ausência de trabalhos em que se utilizou o processo de congelamento de amidos provenientes de outras fontes, fez-se necessária a comparação dos valores de difusividade térmica efetiva média desse material com dados observados em experimentos conduzidos com outros produtos.

Os valores das difusividades térmicas efetivas médias apresentadas na Tabela 4.1 são elevados quando comparados com valores encontrados por CAVALCANTI MATA et al. (2003), da ordem de  $10^{-5} \text{mm}^2.\text{s}^{-1}$  durante o congelamento de frutos de cajá a  $-30^{\circ}\text{C}$ ; no entanto, os valores são da mesma ordem se comparados ao observado por ARAÚJO et al. (2000) no congelamento da polpa de acerola a  $-22,6^{\circ}\text{C}$ , que foi de  $1,23 \text{mm}^2.\text{s}^{-1}$ .

#### 4.2- Rendimento da extração do amido

O amido de inhame foi isolado dos tubérculos em batelada. Para o cálculo do rendimento da extração utilizou-se o teor de água do amido, determinado imediatamente após o processo de liofilização (2,2% b.u.). Tendo em vista a necessidade de se homogeneizar o amido seco proveniente de cada batelada e sendo este um material

higroscópico, durante a embalagem o amido homogeneizado permaneceu exposto sob condições ambiente tempo suficiente para que seu teor de água fosse aumentado para 5,8 % (b.u.) quando analisado posteriormente.

Neste processo de extração de amido de inhame o rendimento prático médio entre as bateladas foi de 18,28%, enquanto o rendimento em termos de matéria seca médio foi de 68,48%.

Estudando a extração do amido de araruta (*Maranta arundinacea*), LEONEL et al. (2002), obtiveram um rendimento prático de 21,34% para um amido com teor de água de 12,79%. Devido ao valor do teor de água encontrado para este amido, o percentual de rendimento observado pelos autores é bem maior que o encontrado na extração do amido de inhame. Pelo mesmo motivo é que o rendimento prático de 7,22% na extração do amido de gengibre (*Zingiber officinale*) com teor de água de 11,75% comprovado por LEONEL et al. (2005) e o rendimento prático da extração do amido de jacatupé (*Pachyrhizus ahipa*) cujo teor de água era de 12,31% verificado por LEONEL et al. (2003), de 4,28%, foram menores que o rendimento prático encontrado na extração do amido de inhame neste trabalho.

#### **4.3- Caracterização físico-química**

Substâncias como proteínas, cinzas e lipídios, estão presentes na composição do amido, apesar de ser constituída, na sua maior parte, de carboidratos. A quantidade desses constituintes no amido depende da composição da planta e do método de extração e purificação (PERONI, 2003). Quanto menor o teor dessas substâncias melhor a qualidade do amido.

A composição físico-química, tanto do inhame quanto do amido em estudo, está apresentada na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2-** Composição físico-química do inhame e do amido

Constituinte	Amostra	
	Inhame	Amido
<b>pH</b>	5,52 ± 0,01	6,50 ± 0,01
<b>Teor de água (%)</b>	73,90 ± 1,46	5,81 ± 0,14
<b>Cinzas (%)</b>	0,97 ± 0,02	0,14 ± 0,00
<b>Acidez (%)</b>	1,07 ± 0,18	0,98 ± 0,01
<b>Fibras (%)</b>	0,32 ± 0,16	0,18 ± 0,02
<b>Amido (%)</b>	17,30 ± 0,14	80,18 ± 0,31
<b>Proteína bruta (%)<sup>*</sup></b>	2,02 ± 0,03	1,24 ± 0,05
<b>Lipídios (%)</b>	2,65 ± 0,13	3,33 ± 0,09

\* N x 6,25

Observa-se através da caracterização físico-química dos tubérculos, que o inhame é uma matéria-prima com considerável teor de matéria seca; fato semelhante foi verificado por LEONEL e CEREDA (2002) que, analisando a composição físico-química de algumas tuberosas amiláceas, encontraram valores médios para o teor de matéria seca do inhame de 24,7% (b.u.). Os autores observaram, ainda, os seguintes valores para o inhame (*Dioscorea sp.*): 1,12 (%) de cinzas, 6,66 (%) de acidez titulável 0,77 (%) de fibras, 20,43 (%) de amido, 0,13 (%) de proteínas, 0,12 (%) de lipídios e 6,13 para pH.

Análises do amido de inhame mostraram que sua composição se encontra dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira (BRASIL, 1978), que determina: teor de água máximo igual a 14%, teor mínimo de amido igual a 80%, teor máximo de cinzas igual a 0,50% e acidez máxima (%) igual a 1,00mL de NaOH N/100g. Segundo LEONEL et al. (2002), apesar de na legislação brasileira não constarem limites para o teor de fibras, a legislação da Malásia determina que para este parâmetro o máximo seja de 0,8%. Enquanto que, de acordo com VILPOUX (1995), considera-se que o amido não foi purificado adequadamente se este apresentar teor de fibras acima de 0,59%.

Como a pureza do amido está relacionada à sua composição química para a qual são desejados baixos teores de constituintes menores aderidos aos grânulos de amido, esta característica se torna muito importante e funciona também como indicativo da qualidade do amido, facilitando as posteriores aplicações industriais.

Conforme o exposto na Tabela 4.2, o amido extraído do inhame teve grau de pureza de 80%, o que indica um método de extração aceitável em nível de laboratório já que, segundo DUFOUR et al. (2002), o inhame *Dioscorea alata* é classificado como uma planta com teor médio de amido e dificuldade de extração em razão da grande quantidade de mucilagem presente em seus tubérculos.

Apesar de obedecer às normas da legislação brasileira quanto ao grau de pureza verificou-se, no amido obtido, teor de lipídios acima de 3%. Mesmo não constando limites para o parâmetro na legislação o percentual de lipídios do amido de inhame encontrado neste trabalho pode ser considerado elevado.

LIPORACCI et al. (2005) observaram valores semelhantes em seu estudo com a mesma espécie de tubérculo. Os autores trabalharam com dois métodos diferentes de extração do amido de inhame em que no primeiro método, eles obtiveram amido com 0,44% de proteínas, 0,23% de cinzas, 0,29% de lipídios e grau de pureza de 96,5%, enquanto no segundo extraíram amido com grau de pureza de 84,4%, teor de lipídios de 2,15%, 3,37% de proteínas e 0,32% de cinzas; já o método de extração realizado por PERONI (2003), também para o *Dioscorea alata*, proporcionou obtenção de um amido com maior grau de pureza (99,59% de amido, 0,1% de lipídios, 0,09% de proteínas e 0,22% de cinzas).

Comparando-se esses dados, fica claro que os teores de constituintes como proteínas, cinzas, amido e lipídios, são influenciados diretamente pelo método de extração realizado.

#### 4.4- Análise microbiológica do amido

Assim como para as *Salmonellas* sp., a presença de *Bacillus cereus* e *Coliformes* a 45°C não foi detectada nas amostras de amido.

O amido extraído atende aos padrões microbiológicos estabelecidos pela Resolução nº 12, de 02 de janeiro de 2001 (ANVISA, 2001). Esta resolução estabelece, para o amido, que o limite máximo de *Bacillus cereus* seja de  $3 \times 10^3$  UFC/g da amostra, que *Salmonellas*

sp. estejam ausentes em 25g da amostra e que o limite permitido de *Coliformes* a 45°C é de no máximo  $10^2$  NMP/g da amostra.

#### 4.5- Índice de solubilidade em água e capacidade de absorção de água do amido

Investigou-se as propriedades índice de solubilidade em água – ISA e capacidade de absorção de água – CAA com o objetivo de verificar a capacidade do amido de absorver água. Na Tabela 4.3 estão apresentados os resultados obtidos.

**Tabela 4.3-** Índice de solubilidade em água e capacidade de absorção de água do amido de inhame

Amostra	Parâmetro	
	Índice de solubilidade em água (%)	Capacidade de absorção de água
Amido	2,02 ± 0,05	0,25 ± 0,12

Verifica-se que o valor de ISA é baixo, tendo em vista que a análise foi procedida em temperatura ambiente. Em contrapartida, para essas condições o amido de maçã apresenta ISA igual a 2,10%, enquanto o amido de mandioca e o amido de arroz têm valores de 1,55% e 1,82%, respectivamente (DEMIATE et al., 2003; BARBOSA et al., 2006).

A insolubilidade do grânulo de amido é devida às fortes ligações de hidrogênio que mantêm as cadeias de amido unidas. Os baixos valores encontrados para o ISA e a CAA também podem ser atribuídos ao elevado teor de lipídios no material que, segundo Swinkels, citado por TEIXEIRA (2007) reduzem a capacidade dos amidos de se ligarem à água e, por consequência, aumentam sua insolubilidade em água; no entanto, em presença de água e aquecimento alguns poros surgem na superfície do grânulo de amido, a água é então incorporada à sua estrutura e componentes mais solúveis como amilose, se dissociam e se difundem para fora do grânulo (PENG et al., 2007a). Portanto, o aumento do índice de solubilidade em água e da capacidade de absorção de água é consequência do processo de gelatinização do amido.

#### 4.6- Isotermas de equilíbrio higroscópico para o amido de inhame

Os resultados experimentais de teores de água de equilíbrio ( $X_e$ ) para do amido de inhame com suas respectivas atividades de água a diferentes temperaturas, estão apresentados na Tabela 4.4. Para teores de água de equilíbrio menores que 3,6% (b.s.) para uma mesma temperatura, observa-se que os valores de atividade de água ( $A_w$ ) exibem praticamente o mesmo valor, confirmando que não é o teor de água que dá a idéia da disponibilidade aos agentes deteriorantes de um produto mas, sim, a condição da água no alimento, condição esta expressa pela  $A_w$ .

Nota-se que, com a elevação da atividade de água a mesma temperatura, os valores de teor de água de equilíbrio aumentam, mas em grande parte dos casos os teores de água de equilíbrio não diminuem com o incremento da temperatura para valores de atividade de água similares; caso semelhante ocorreu com os valores encontrados por GOMES et al. (2002) durante o estudo do comportamento higroscópico da polpa de acerola em pó, em temperaturas de 20, 25 e 30°C, e por ALEXANDRE et al. (2007) na pesquisa com pitanga em pó, utilizando as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C; entretanto, o mesmo não foi observado por PENA et al. (2000) quando obtiveram a 15, 25 e 35°C, as isotermas de equilíbrio higroscópico do guaraná em pó .

**Tabela 4.4-** Valores experimentais de teor de água de equilíbrio (% b.s.) para as isotermas de equilíbrio higroscópico do amido nativo de inhame, em função da atividade de água para as temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C

Temperatura (°C)									
25		30		35		40		45	
$X_e$	$A_w$	$X_e$	$A_w$	$X_e$	$A_w$	$X_e$	$A_w$	$X_e$	$A_w$
1,752	0,079	1,721	0,074	2,026	0,069	1,500	0,064	1,629	0,059
3,004	0,079	2,566	0,074	2,992	0,069	3,062	0,065	3,231	0,065
3,342	0,079	3,249	0,074	3,555	0,069	3,469	0,067	2,926	0,067
6,711	0,141	6,344	0,148	6,536	0,157	7,379	0,163	8,944	0,166
9,639	0,200	9,080	0,215	9,352	0,231	9,452	0,244	9,336	0,279
13,320	0,388	13,983	0,405	13,846	0,425	13,786	0,440	12,882	0,427
17,959	0,539	16,950	0,562	17,421	0,584	17,191	0,595	15,332	0,549
20,645	0,670	20,959	0,697	20,686	0,723	21,192	0,752	21,614	0,777
25,578	0,812	24,814	0,825	25,032	0,828	24,539	0,841	24,014	0,840
31,855	0,903	30,626	0,910	35,163	0,919	30,291	0,925	32,189	0,937

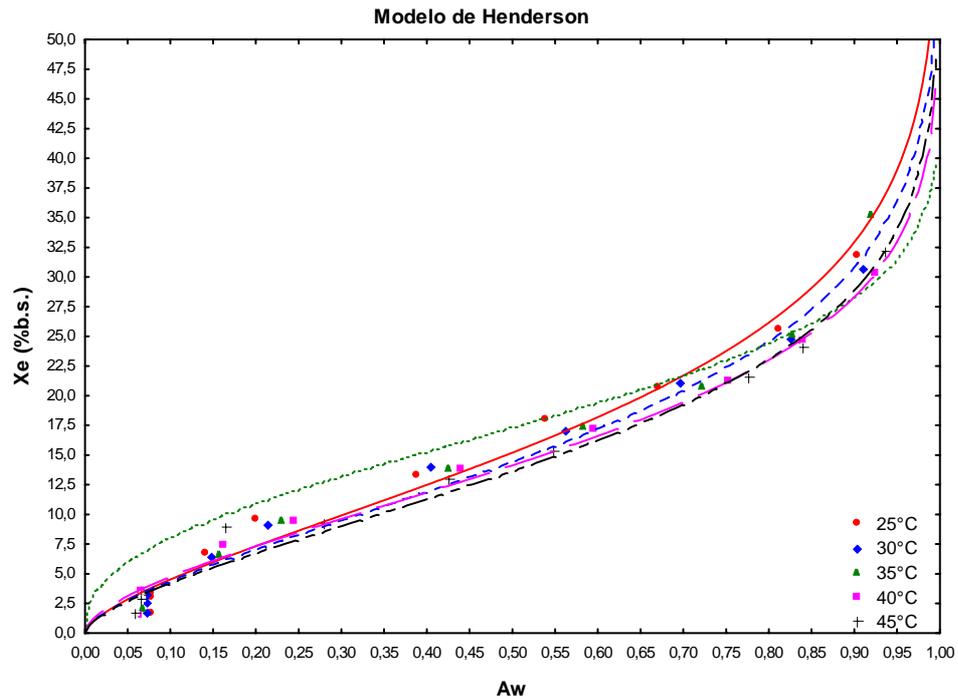
Constata-se, ainda, que os teores máximos de água de equilíbrio atingidos nas diferentes temperaturas variaram entre 30,29 e 35,16% (b.s.) muito inferiores, portanto, à variação encontrada por ALEXANDRE et al. (2007) para a pitanga em pó, que foi de 69,66 a 88,92%. Pode-se afirmar, então, que o amido de inhame é relativamente um produto menos higroscópico que o pó de pitanga.

Amidos de algumas tuberosas amiláceas, como batata-doce (*Ipomoea batatas*), biri (*Canna edulis*), mandioca (*Manihot esculenta*), taioba (*Xanthosoma sagittifolium*) e jacatupé (*Pachyrhizus ahipa*) se mostraram, quando caracterizados, providos de teores de açúcares totais menores que 1,2% (LEONEL et al., 2003; LEONEL et al., 2004). Este fato pode explicar a baixa higroscopicidade do amido em relação a pós obtidos a partir de algumas frutas que apresentam quantidade de açúcares mais elevadas, já que os açúcares contidos nos pós de frutas (sacarose, glicose e frutose) são responsáveis pela elevada higroscopicidade desses produtos. Referidos componentes interagem fortemente com vapor de água em seu ambiente em consequência da sua natureza hidrofílica (JAYA e DAS, 2004; CARLOS et al., 2005).

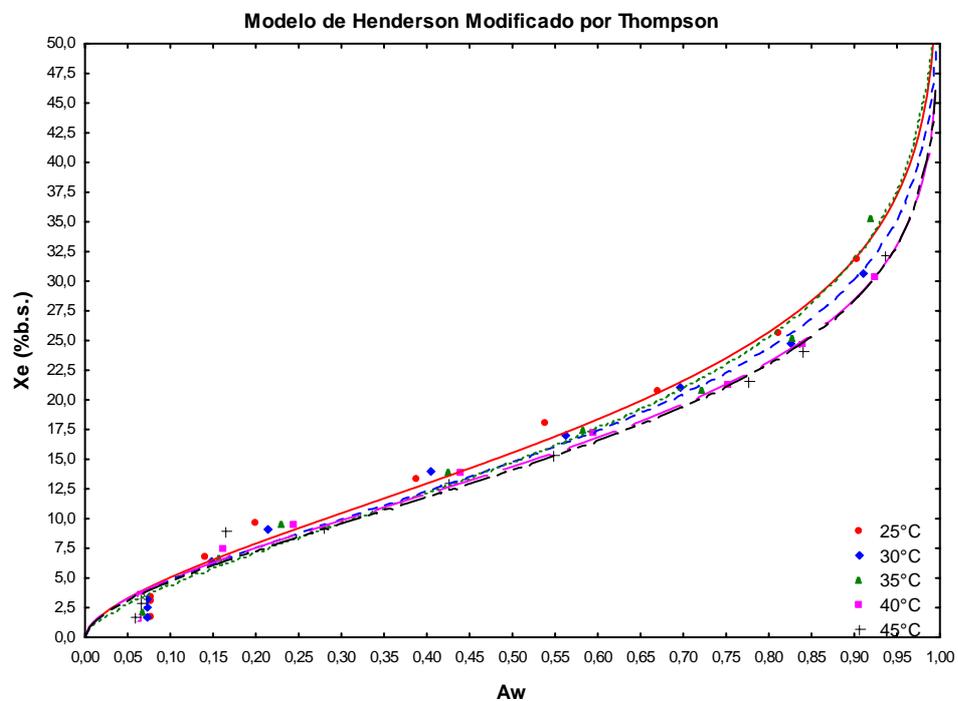
#### 4.6.1- Ajuste matemático para as isotermas de equilíbrio higroscópico

Nas Figuras 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6 se encontram as isotermas de equilíbrio higroscópico do amido de inhame nas diferentes temperaturas, com ajuste para os modelos de Henderson, Henderson Modificado por Thompson, Oswin e Chung-Pfost, respectivamente.

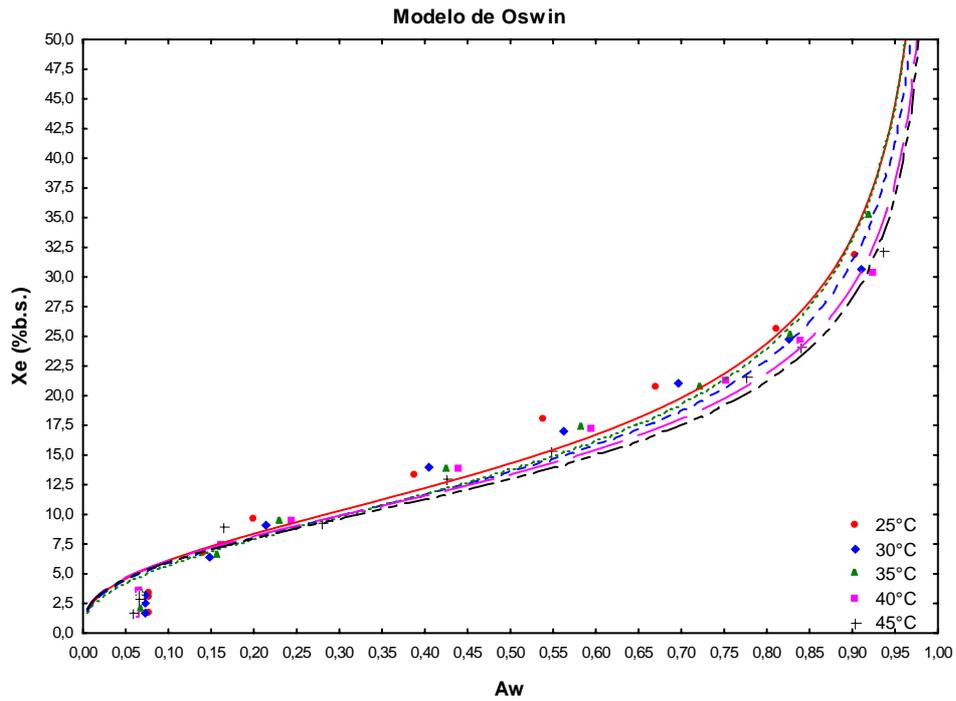
As isotermas obtidas para o amido de inhame apresentam comportamento típico de isotermas do tipo II, de acordo com a classificação da IUPAC (1985). Mesma classificação foi atribuída às isotermas de equilíbrio higroscópico para a farinha de pupunha a 15 e 35°C estudadas por FERREIRA e PENA (2003). Foram encontradas, também, isotermas com comportamento sigmoidal, do tipo II, em pesquisa realizada por SANTOS et al. (2004) com farinha de mandioca temperada. Isotermas de equilíbrio higroscópico para o amido de batata foram pesquisadas por AL-MUHTASEB et al. (2004); o comportamento das curvas também refletiu uma isoterma do tipo II.



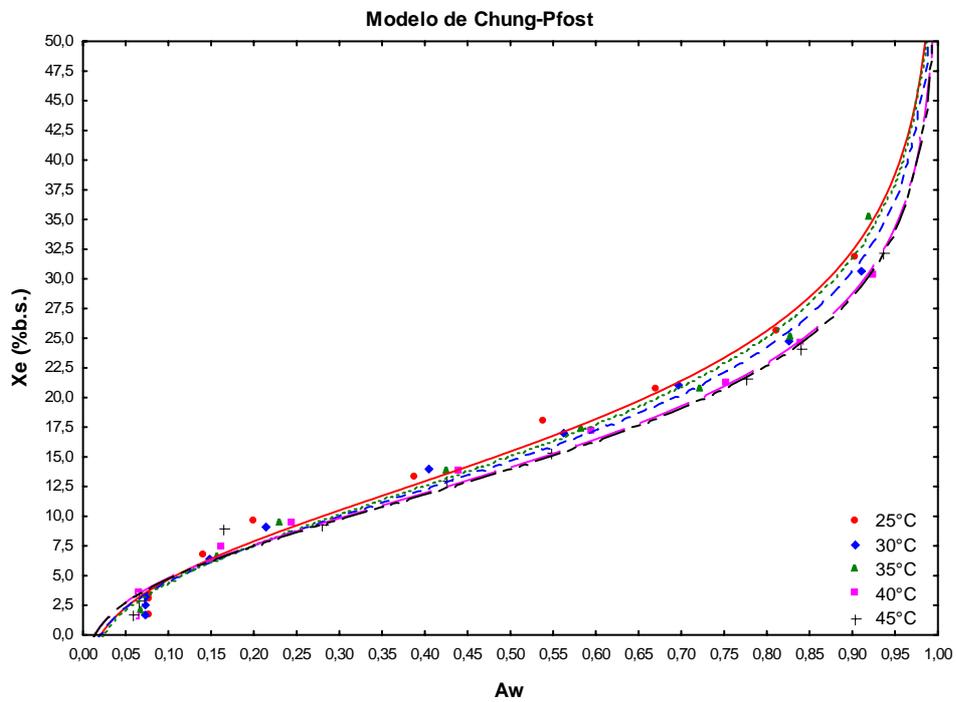
**Figura 4.3** - Isotermas de equilíbrio higroscópico para amostra de amido de inhame nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C (Dados experimentais ajustados pelo Modelo de Henderson)



**Figura 4.4**- Isotermas de equilíbrio higroscópico para amostra de amido de inhame nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C (Dados experimentais ajustados pelo Modelo de Henderson Modificado por Thompson)



**Figura 4.5-** Isothermas de equilíbrio higroscópico para amostra de amido de inhame nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C (Dados experimentais ajustados pelo Modelo de Oswin)



**Figura 4.6-** Isothermas de equilíbrio higroscópico para amostra de amido de inhame nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C (Dados experimentais ajustados pelo Modelo de Chung-Pfost)

Pode-se observar, nas Figuras 4.3 a 4.6, a existência de certa oscilação nas isotermas de equilíbrio higroscópico do amido uma vez que as mesmas, sobretudo aquela referente a 35°C, não mostram o comportamento esperado, que seria o de estarem paralelas.

Tem-se, na Tabela 4.5, os valores dos parâmetros estimados, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvio percentual médio (P) obtidos através do ajuste dos modelos de Henderson, Henderson Modificado por Thompson, Oswin e Chung-Pfost às isotermas de equilíbrio higroscópico do amido de inhame nas diferentes temperaturas.

**Tabela 4.5-** Parâmetros de ajuste dos modelos de Henderson, Henderson Modificado por Thompson, Oswin e Chung-Pfost, coeficiente de determinação e desvio percentual médio para amido nativo de inhame, nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C

Modelo	T (°C)	Parâmetros			$R^2$ (%)	P (%)
		a	b	c		
Henderson	25	0,000405	1,552930	*	98,023	2,503
	30	0,000338	1,582503	*	98,375	2,377
	35	0,000018	2,447943	*	89,960	6,281
	40	0,000179	1,726885	*	99,012	2,292
	45	0,000233	1,603709	*	98,468	1,726
Henderson modificado por Thompson	25	0,002844	-22,5339	1,674095	98,377	2,931
	30	0,002432	-26,9329	1,683014	98,604	2,741
	35	0,003098	-31,6923	1,564402	98,831	1,487
	40	0,001393	-35,3938	1,756958	99,047	2,431
	45	0,001102	-38,3413	1,718421	98,735	2,093
Oswin	25	2304,543	-91,6104	2,590134	95,408	4,680
	30	2050,910	-67,9102	2,641261	95,350	4,745
	35	5165,431	-147,194	2,505540	97,996	3,111
	40	5391,772	-134,464	2,814392	96,120	4,415
	45	22130,51	-491,500	2,832548	96,809	4,202
Chung-Pfost	25	42,19268	8,974941	3,393575	98,734	2,236
	30	40,10338	8,470211	-0,931410	98,893	2,008
	35	43,97371	8,874253	2,526496	99,216	1,092
	40	39,68194	7,765820	-1,212890	99,145	1,964
	45	40,06171	7,694009	-2,227680	99,070	1,717

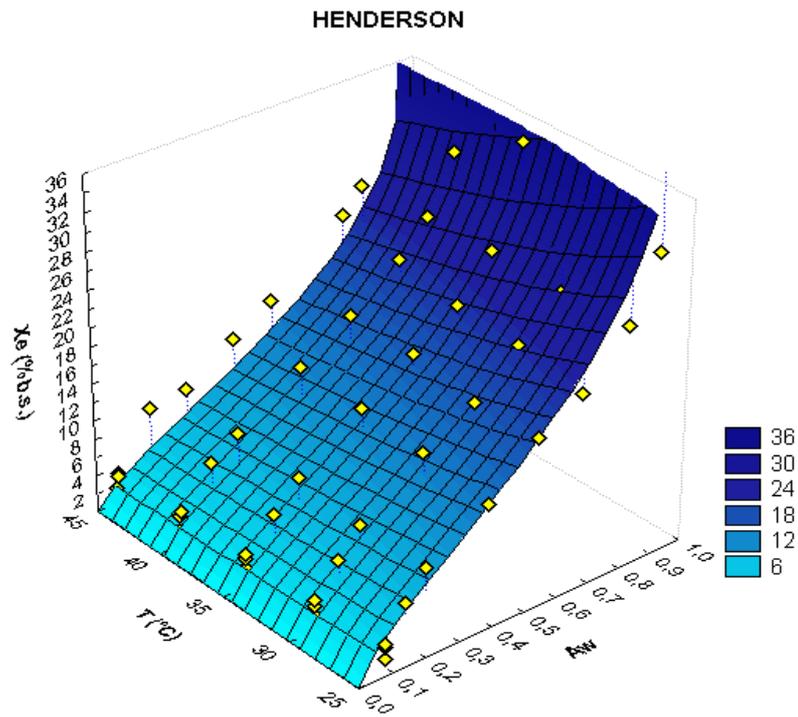
De acordo com os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do desvio percentual médio (P), os modelos testados descreveram satisfatoriamente o processo de sorção para o amido de inhame, uma vez que seus coeficientes ficaram, de modo geral,

acima de 98% e os desvios percentuais médios inferiores a 3%, exceto para o modelo de Oswin que resultou em valores de coeficiente de determinação de até 95,3% e valores de desvio percentual médio acima de 3%. Verifica-se, ainda na Tabela 4.5, uma discrepância para a isoterma a 35°C quando utilizado o modelo de Henderson em que os valores de  $R^2$  e P estiveram abaixo de 90 e acima de 5%, respectivamente.

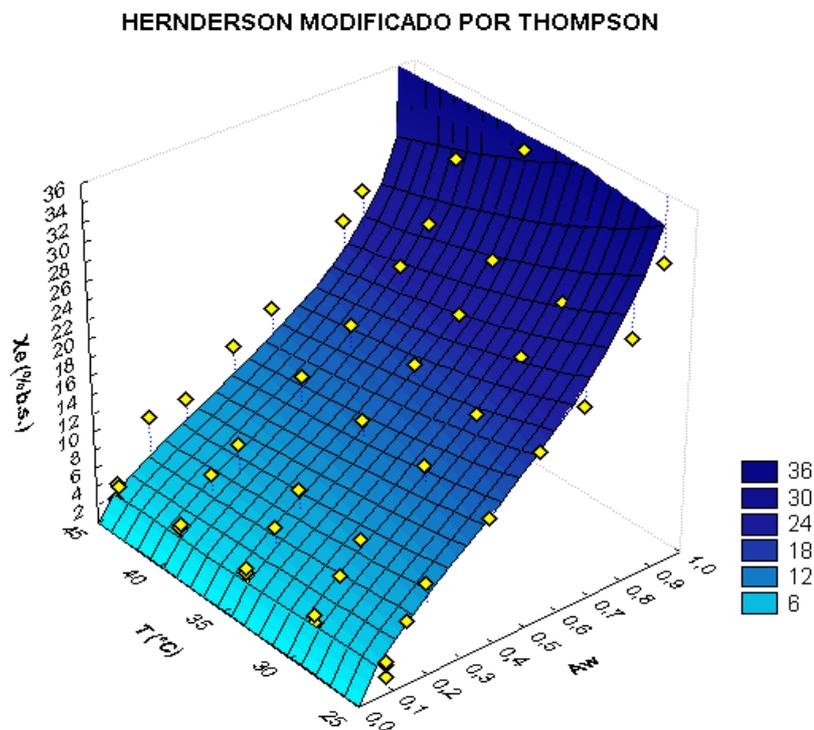
Com valores maiores de coeficiente de determinação e menores de desvio percentual médio, neste trabalho a melhor representação matemática do processo de sorção de água para o amido de inhame foi obtida por meio do modelo de Chung-Pfost.

Alguns trabalhos realizados com produtos semelhantes ao amido de inhame, seja na aparência ou na composição, mostraram diferentes conclusões quanto ao ajuste matemático para as suas respectivas isotermas de sorção. AL-MUHTASEB et al. (2004) verificaram que os modelos de Henderson e Oswin foram impróprios para representar os seus resultados experimentais das isotermas de sorção do amido de batata a 30, 45 e 60°C. Para amido de milho, o modelo que melhor se ajustou aos dados das isotermas, segundo estudo realizado por PENG et al. (2007b), foi o de GAB e não o modelo de Henderson ou de Oswin. OYELADE et al. (2008) determinaram as isotermas de equilíbrio higroscópico para a farinha de milho a temperaturas de 27, 32, 37 e 40°C e atividades de água de 0,1 a 0,8, e constataram que, dentre os modelos matemáticos avaliados, o que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o modelo de GAB modificado. Dentre os seis modelos bi-paramétricos testados por PENA et al. (2000) na predição das isotermas do guaraná em pó, o modelo de Henderson foi um dos que apresentaram melhores resultados.

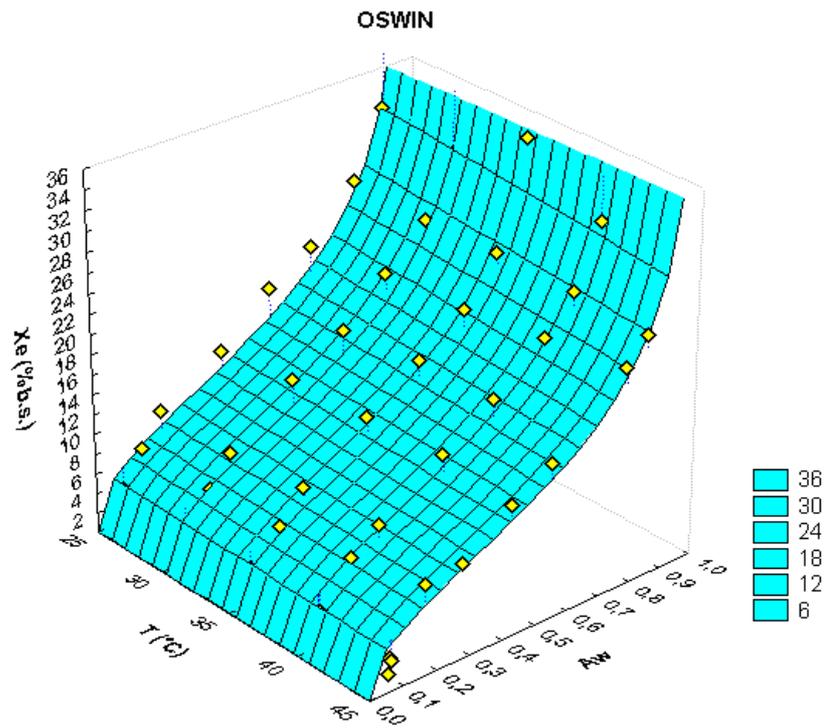
Nas Figuras 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10 se encontram as superfícies de resposta para o teor de água de equilíbrio do amido de inhame, em função das diversas temperaturas e atividades de água, ajustadas aos modelos de Henderson, Henderson Modificado por Thompson, Oswin e Chung-Pfost, respectivamente.



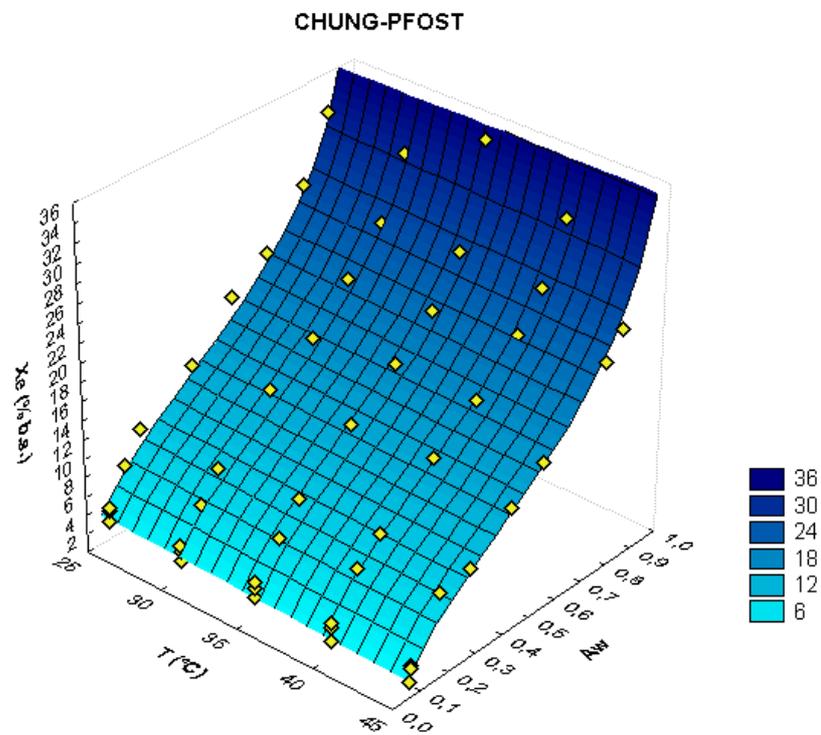
**Figura 4.7-** Superfície de resposta para os teores de água de equilíbrio do amido de inhame ajustada pelo Modelo de Henderson nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C



**Figura 4.8-** Superfície de resposta para os teores de água de equilíbrio do amido de inhame ajustada pelo Modelo de Henderson Modificado por Thompson nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C



**Figura 4.9-** Superfície de resposta para os teores de água de equilíbrio do amido de inhame ajustada pelo Modelo de Oswin nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C



**Figura 4.10-** Superfície de resposta para os teores de água de equilíbrio do amido de inhame ajustada pelo Modelo de Chung-Pfost nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C

Analisando a Figura 4.10 na qual é exposta a superfície de resposta para o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais nota-se que, sendo o limite máximo permitido para o teor de água do amido de 14,0% (b.u.), fazem-se necessários maiores cuidados ao se armazenar ou manusear o amido de inhame em ambientes com umidades relativas maiores que 40% nas temperaturas estudadas, em razão do teor de água do amido aumentar o suficiente para que sejam favorecidos o desenvolvimento de micro-organismos e o surgimento de reações químicas e enzimáticas indesejadas. Em caso de armazenamento, o amido deve ser acondicionado em embalagens adequadas que impeçam o contato entre o produto e o ambiente com umidade relativa maior que 40%, durante o período de armazenamento.

#### **4.7- Estudo reológico**

Os ensaios reológicos foram realizados com o objetivo de fornecer dados que possibilitassem melhor entendimento em relação ao comportamento reológico de suspensões gelatinizadas de amido de inhame o qual, conforme suas características, poderá ser empregado industrialmente.

##### **4.7.1-Comportamento reológico da pasta de amido de inhame**

Nas Figuras 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14 estão plotados os resultados experimentais de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação para a pasta do amido de inhame em três diferentes concentrações, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C, respectivamente.

Quanto à relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento, a pasta de amido de inhame apresenta-se como um fluido não newtoniano e dependente do tempo com predominância do comportamento tixotrópico.

Em pesquisa realizada por MATSUGUMA (2006) com os amidos nativo e modificado por oxidação de mandioquinha-salsa, avaliaram-se os perfis reológicos das pastas dos produtos. O autor concluiu que dentre os amidos provenientes das diferentes variedades de mandioquinha-salsa estudadas, as amostras de amidos das variedades Amarela de Carandaí de Pirai do Sul e Amarela de Carandaí de Castro apresentaram comportamento tixotrópico.

As pastas com 4 e 6% de amido de inhame mostraram comportamento tixotrópico para todas as temperaturas às quais foram submetidas, porém a pasta com 5% de amido se caracterizou como um fluido com comportamento levemente reopético a 20 e 30°C, enquanto para as temperaturas de 40 e 50°C, o fluido tornou a apresentar comportamento tixotrópico (Figuras B3 e B4 do Apêndice B).

Segundo DEWAR e JOYCE (2006), dispersões de amido podem exibir comportamento tanto tixotrópico quanto reopético. Os autores estudaram o comportamento reológico do amido de milho e constataram que as suspensões de amido oscilavam entre reopético e tixotrópico.

TATTIYAKUL e RAO (2000) analisaram dispersões com diferentes concentrações de amido de milho ceroso quanto ao comportamento dependente do tempo e concluíram que o material exibiu ambos os comportamentos sob uma mesma temperatura, reopético e tixotrópico, conforme a faixa de tensão de cisalhamento e a concentração da suspensão de amido. Os pesquisadores verificaram, ainda, que, comparando-se o comportamento do fluido com 5% de amido para uma mesma faixa de tensão de cisalhamento ( $0,1 \pm 500 \text{ S}^{-1}$ ), o comportamento reopético se torna mais proeminente com o aumento da temperatura e o comportamento da pasta em estudo pode variar com a concentração de amido.

Uma pequena influência é exercida pela temperatura sobre o comportamento das pastas com amido de inhame. Este fato é marcado pela tendência da histerese se acentuar quando a temperatura aumenta, conferindo ao fluido maior tixotropicidade, o que pode ser verificado com maior clareza quando se analisam as Figuras B1 a B6 do Apêndice B. É possível verificar, também, que o último ciclo de cisalhamento (ciclo 2) coincidiu com o ciclo anterior (ciclo 1), evidenciando a eliminação da tixotropia do fluido a baixas taxas de deformação.

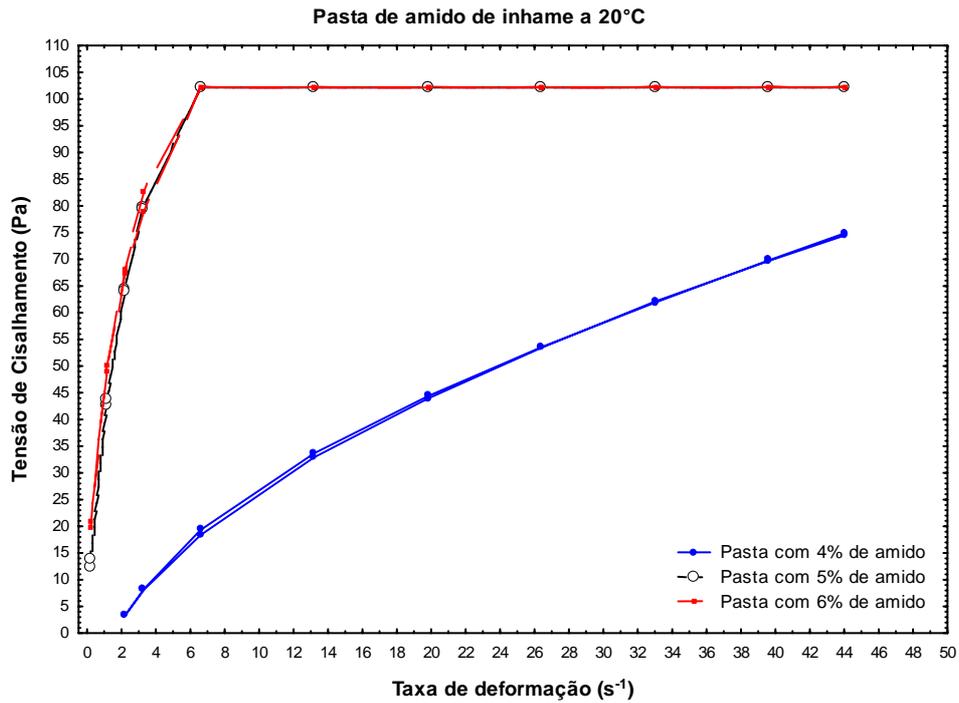


Figura 4.11- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a pasta de amido de inhame a 20°C, nas concentrações de 4, 5 e 6%

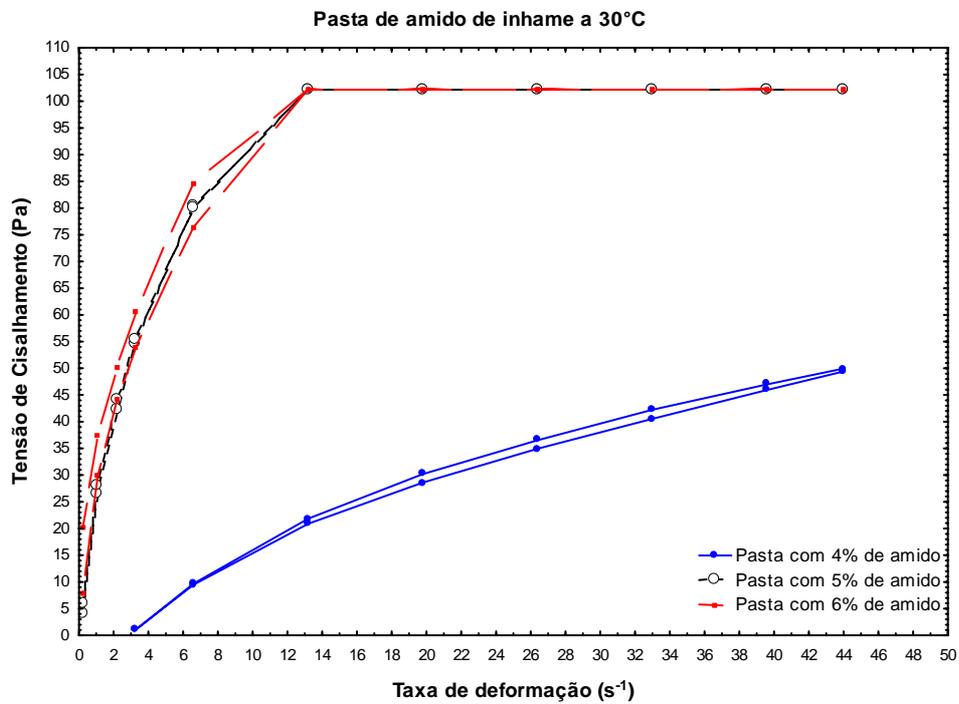


Figura 4.12- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a pasta de amido de inhame a 30°C, nas concentrações de 4, 5 e 6%

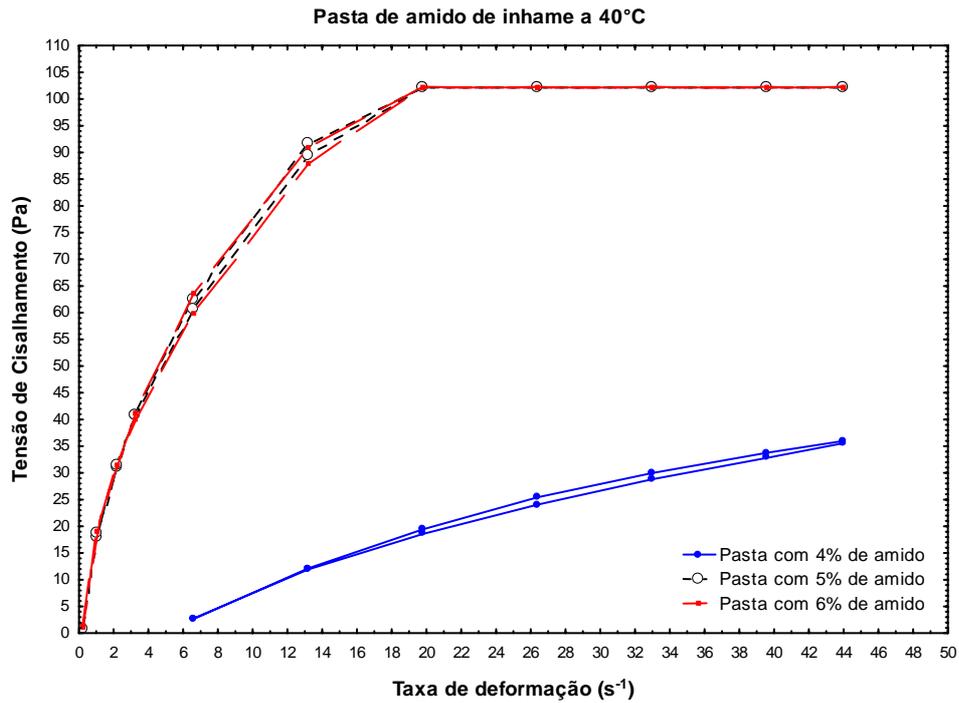


Figura 4.13- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a pasta de amido de inhame a 40°C, nas concentrações de 4, 5 e 6%

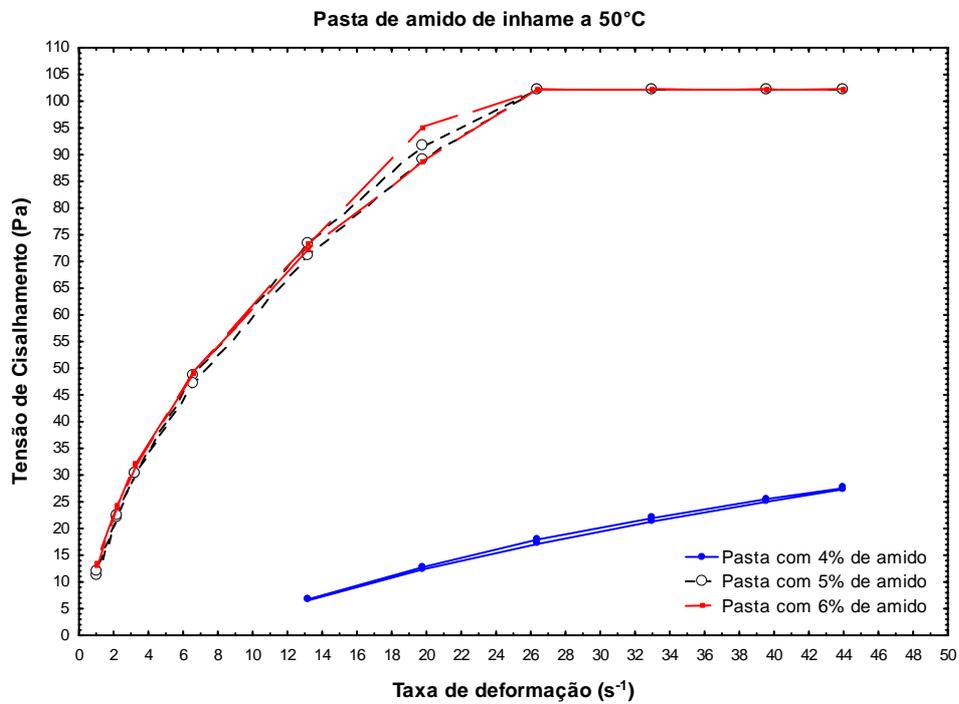


Figura 4.14- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a pasta de amido de inhame a 50°C, nas concentrações de 4, 5 e 6%

Ao caracterizar reologicamente suspensões gelatinizadas de amido de amaranto, PEREIRA (2004) constatou que o comportamento reopético da suspensão foi acentuado pelo aumento da concentração de 10 para 15% de amido. Pode-se observar, através das Figuras 4.11 a 4.14, que para o amido de inhame foi verificado mais claramente o comportamento o tixotrópico foi verificado mais claramente, tal como para o autor anteriormente citado, o aumento da concentração de amido de inhame também acentuou o comportamento tixotrópico das suspensões de amido de inhame gelatinizada mesmo que em menor intensidade (demonstrado pela histerese).

É perceptível que para as pastas com concentrações de 5 e 6% de amido, a taxa de deformação correspondente à máxima tensão de cisalhamento cresce à medida em que se eleva a temperatura na qual o ensaio foi realizado além de que, independente do aumento da temperatura do sistema, o valor máximo de tensão de cisalhamento permanece o mesmo para as duas concentrações e não se modifica ainda que a taxa de deformação seja aumentada a partir deste ponto.

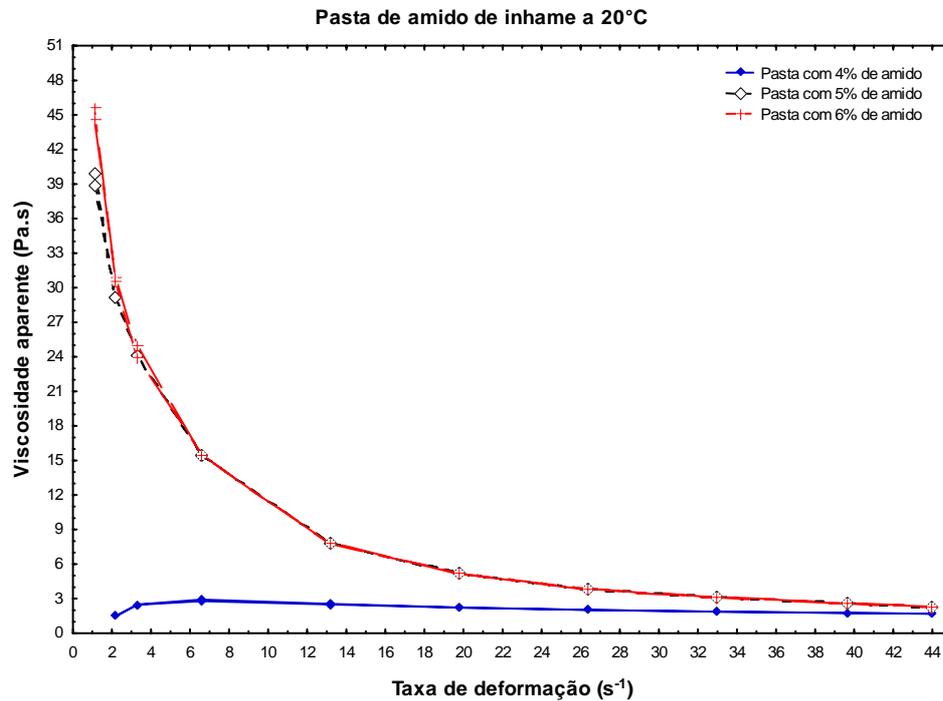
Este mesmo comportamento não é observado na pasta com 4% de amido; diferente do que ocorre com as pastas com 5 e 6%, para as várias temperaturas, verifica-se que o mesmo valor de taxa de deformação é mantido quando a tensão de cisalhamento é máxima e esses valores de tensão de cisalhamento diminuem com o aumento da temperatura; porém, para o menor valor de tensão de cisalhamento a taxa de deformação correspondente cresce de acordo com o aumento da temperatura.

#### **4.7.2- Viscosidade aparente da pasta de amido de inhame**

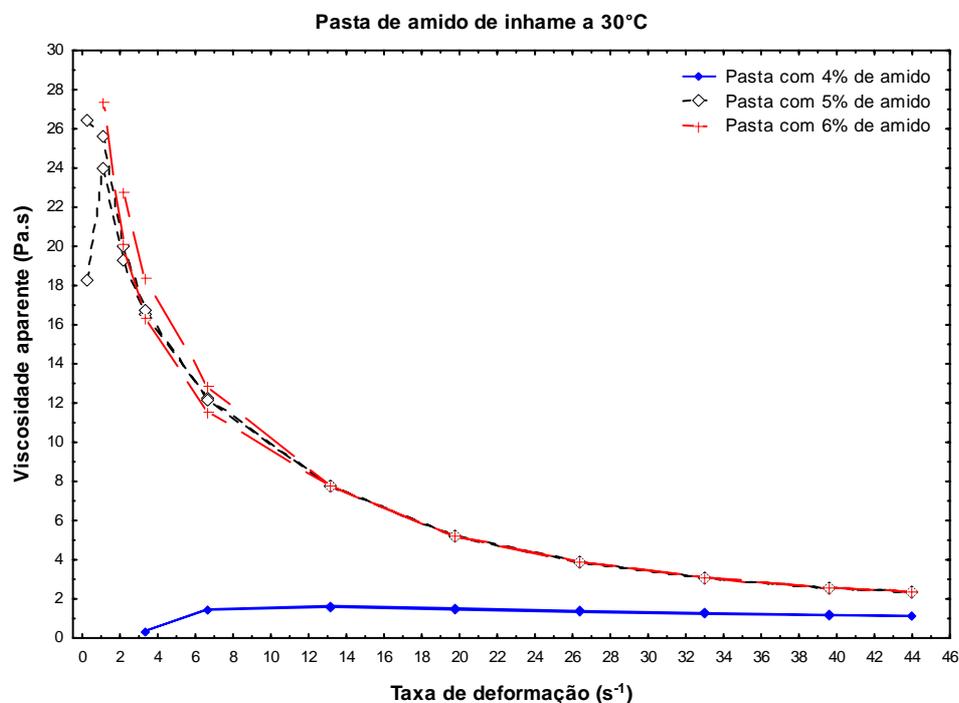
Tem-se, nas Figuras 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18, a representação gráfica da viscosidade aparente em função da taxa de deformação para as pastas de amido de inhame nas concentrações de 4, 5 e 6% a 20, 30, 40 e 50°C, respectivamente.

Para fluidos newtonianos a temperatura e pressão constantes, a viscosidade não varia com a taxa de deformação mas, para a maioria dos fluidos não-newtonianos, que têm suas propriedades dependentes do tempo de aplicação da tensão de cisalhamento, a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação conferindo ao fluido

um comportamento tixotrópico em consequência do novo rearranjo molecular na sua estrutura após a gelatinização (MARCOTTE et al., 2001).



**Figura 4.15-** Efeito da taxa de deformação sobre a viscosidade aparente para a pasta com 4, 5 e 6% de amido de inhame, a temperatura de 20°C



**Figura 4.16-** Efeito da taxa de deformação sobre a viscosidade aparente para a pasta com 4, 5 e 6% de amido de inhame, a temperatura de 30°C

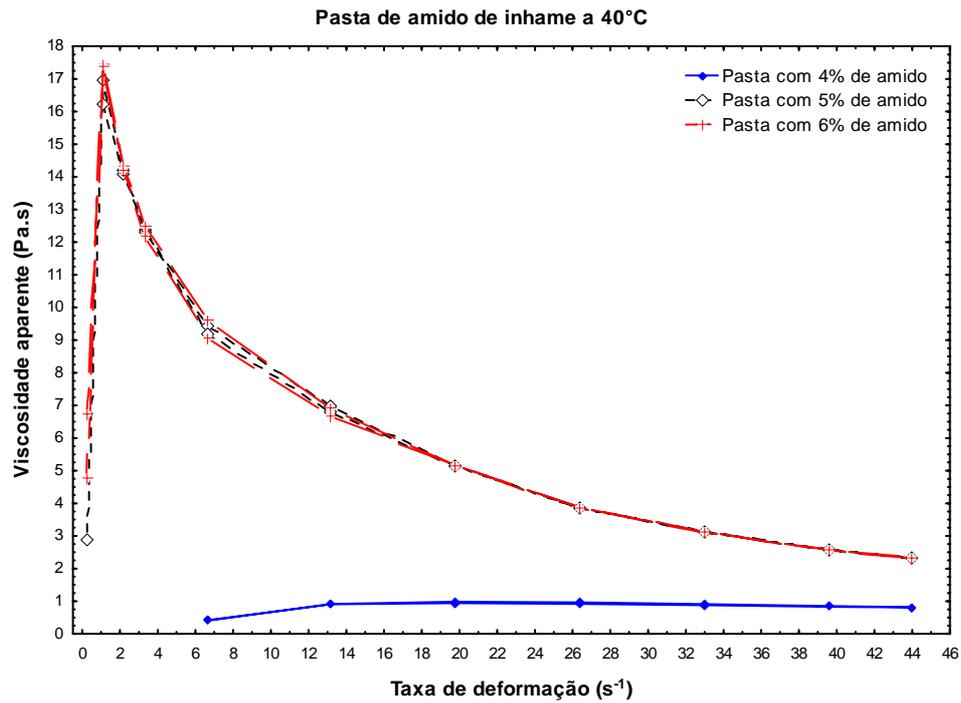


Figura 4.17- Efeito da taxa de deformação sobre a viscosidade aparente para a pasta com 4, 5 e 6% de amido de inhame, a temperatura de 40°C

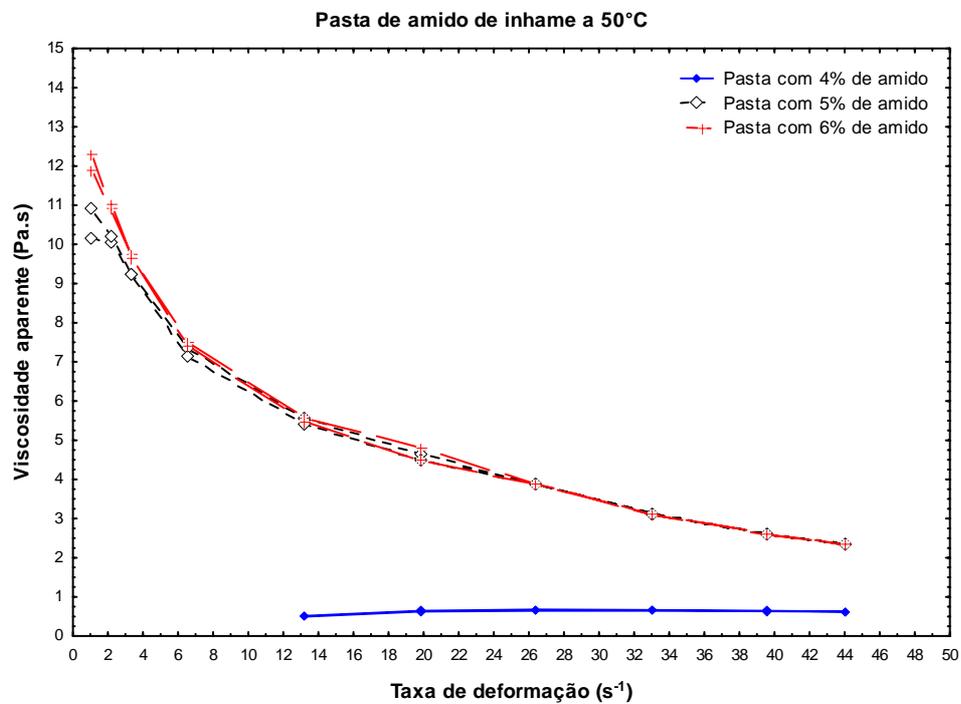


Figura 4.18- Efeito da taxa de deformação sobre a viscosidade aparente para a pasta com 4, 5 e 6% de amido de inhame, a temperatura de 50°C

Confirmando o comportamento tixotrópico das pastas de amido de inhame nas três diferentes concentrações, a viscosidade aparente das mesmas diminui sempre que a taxa de deformação é elevada.

Nota-se, ainda, que os valores para a máxima viscosidade aparente das suspensões gelatinizadas decrescem com o aumento da temperatura e, como esperado, com a diminuição da concentração de amido, uma vez que as pastas com 6% apresentam maiores viscosidades aparentes, indicando um grau maior de estruturação da suspensão gelatinizada.

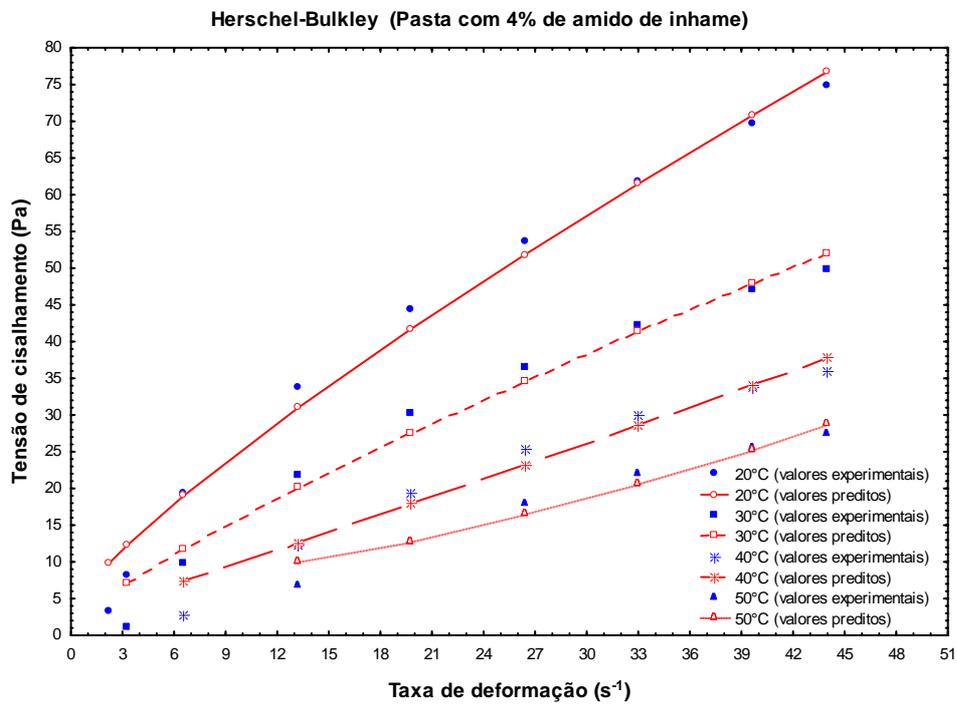
Durante os ensaios reológicos as pastas com concentração de 5 e 6% de amido apresentaram valores para a viscosidade aparente mínima, idênticos em todas as temperaturas estudadas enquanto para a pasta com 4% de amido esses valores decrescem em função do aumento da temperatura, o que pode sugerir a existência de um limite de concentração de amido nas suspensões gelatinizadas entre 4 e 5%, a partir do qual ocorrem mudanças consideráveis em suas características reológicas.

#### **4.7.3- Ajuste matemático para os dados experimentais reológicos do amido de inhame**

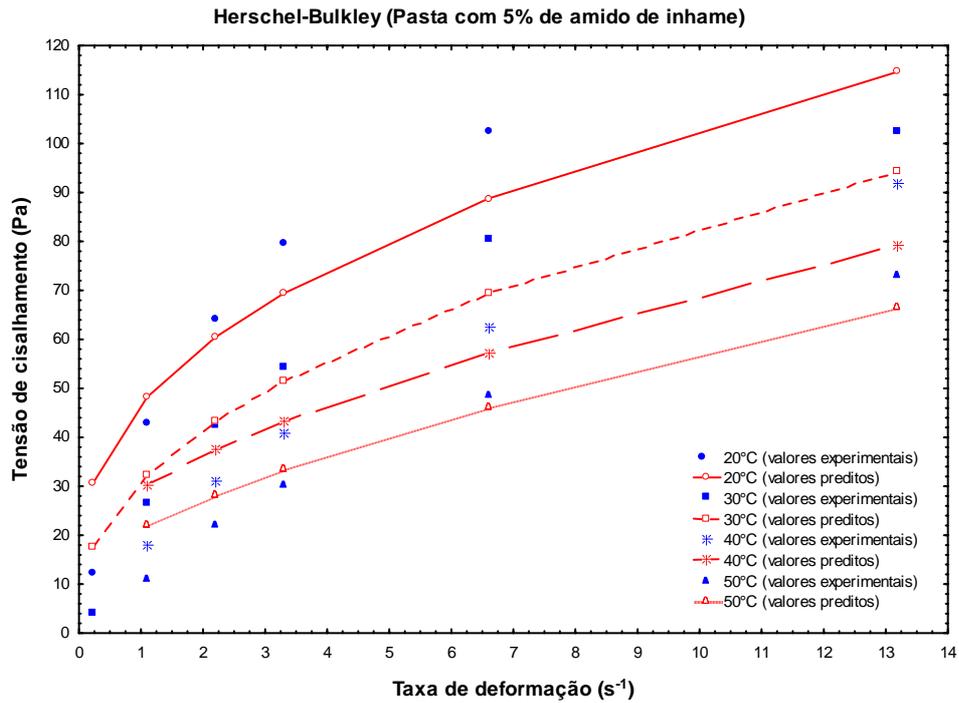
De vez que as suspensões gelatinizadas de amido de inhame apresentaram comportamento reológico dependente do tempo e se sabendo que os modelos reológicos Lei da Potência e Herschel-Bulkley são mais comumente utilizados para fluidos independentes do tempo, o ajuste matemático através desses modelos foi realizada apenas com o intuito de se verificar o ajuste dos mesmos aos dados experimentais obtidos nos ensaios reológicos das suspensões gelatinizadas de amido. Os dados reológicos experimentais de tensão de cisalhamento e a taxa de deformação relativos às leituras feitas em escala ascendente de velocidade de rotação (ciclo 1) durante os ensaios, foram utilizados, então, para se avaliar o ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley e Lei da Potência.

As curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação obtidas a 20, 30, 40 e 50°C e ajustadas pelo modelo de Herschel- Bulkley para as suspensões de

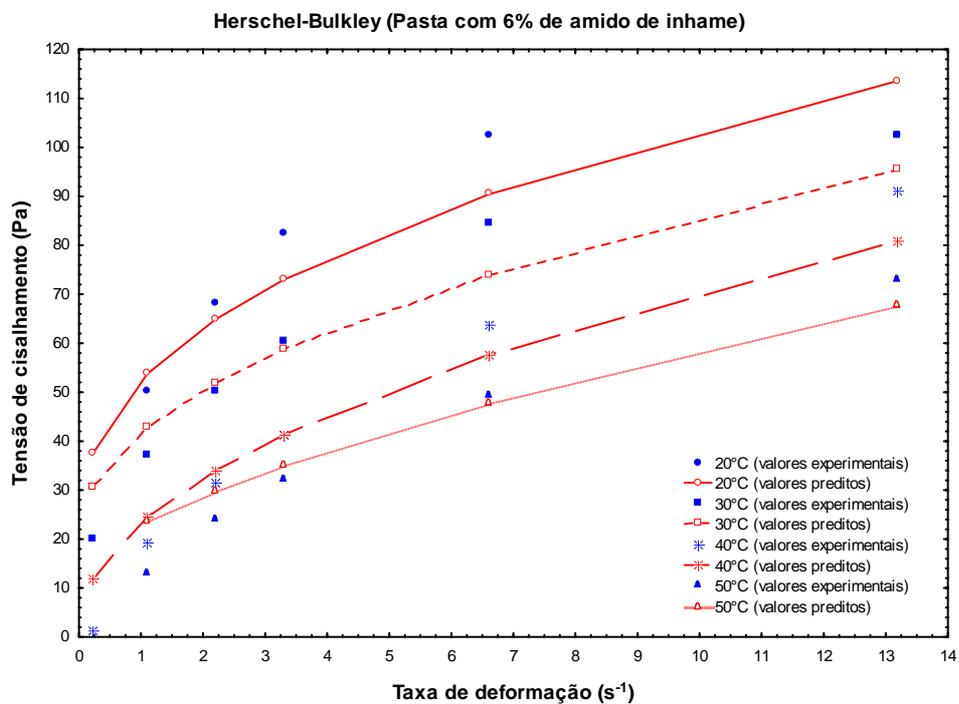
amido de inhame gelatinizadas nas concentrações de 4, 5 e 6% de amido, se encontram apresentadas nas Figuras 4.19, 4.20 e 4.21, respectivamente.



**Figura 4.19-** Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo de Herschel-Bulkley para a pasta com 4% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C



**Figura 4.20-** Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo de Herschel-Bulkley para a pasta com 5% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C



**Figura 4.21-** Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo de Herschel-Bulkley para a pasta com 6% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C

Apresentam-se, na Tabela 4.6, os valores para os coeficientes de determinação, os desvios percentuais médios e os parâmetros de ajuste do modelo de Herschel-Bulkley.

Como previsto, para uma mesma concentração os valores do índice de consistência ( $k_{hb}$ ) da suspensão de amido gelatinizada diminuem com o aumento da temperatura. Comparando-se este parâmetro a mesma temperatura, observa-se a inexistência de um comportamento linear quando se aumenta a concentração da pasta; o mesmo não ocorre com os valores do índice de comportamento ( $n_{hb}$ ) que tendem a diminuir com a elevação da concentração de amido na amostra para uma mesma temperatura; no entanto,  $n_{hb}$  tem seus valores mais elevados se uma suspensão com determinada concentração de amido for analisada quando se aumenta a temperatura de estudo.

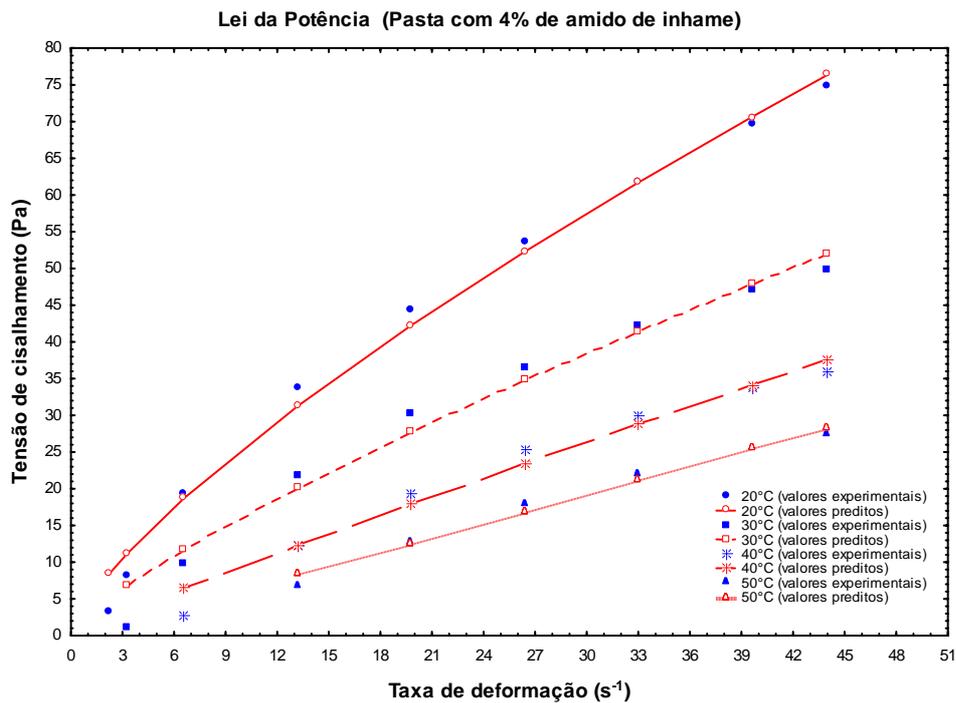
**Tabela 4.6-** Coeficientes de determinação, desvios percentuais médios e parâmetros de ajuste do modelo reológico Herschel-Bulkley, obtidos para as pastas contendo 4, 5 e 6% de amido de inhame a diferentes temperaturas

T (°C)	% Amido	Modelo Herschel-Bulkley			$R^2_{hb}$ (%)	$P_{hb}$ (%)
		$\tau = \tau_0 + k_{hb} \cdot \gamma^{n_{hb}}$				
		$\tau_0$ (Pa)	$k_{hb}$ (Pa.s <sup><math>n_{hb}</math></sup> )	$n_{hb}$		
20	4	3,27	3,419392	0,810684	98,571	3,334
	5	12,25	34,57340	0,421093	86,853	5,725
	6	19,95	32,47724	0,410659	86,622	3,701
30	4	1,16	2,254865	0,823622	97,208	8,939
	5	4,01	27,07214	0,467560	93,826	8,062
	6	20,6	21,24515	0,488085	93,483	2,108
40	4	2,64	0,673454	1,045184	95,946	4,372
	5	17,84	11,82668	0,637731	92,799	2,749
	6	1,06	22,34639	0,492667	96,093	18,925
50	4	6,76	0,052089	1,597311	95,014	1,885
	5	11,19	10,12647	0,659062	95,882	2,649
	6	13,09	10,03255	0,657638	95,440	3,015

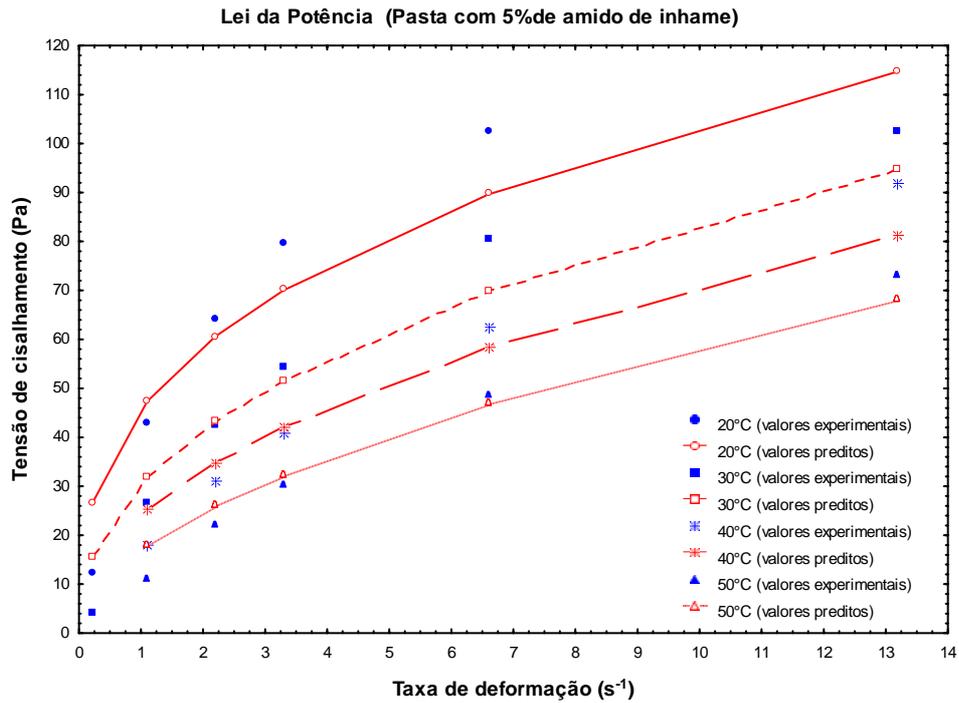
Ao contrário do índice de consistência, os valores experimentais de tensão inicial ( $\tau_0$ ), para uma mesma temperatura se apresentaram, de forma geral, maiores com a elevação da concentração de amido porém não se verifica um comportamento definido

quando se comparam os valores de  $\tau_0$  para uma mesma concentração de amido a diferentes temperaturas.

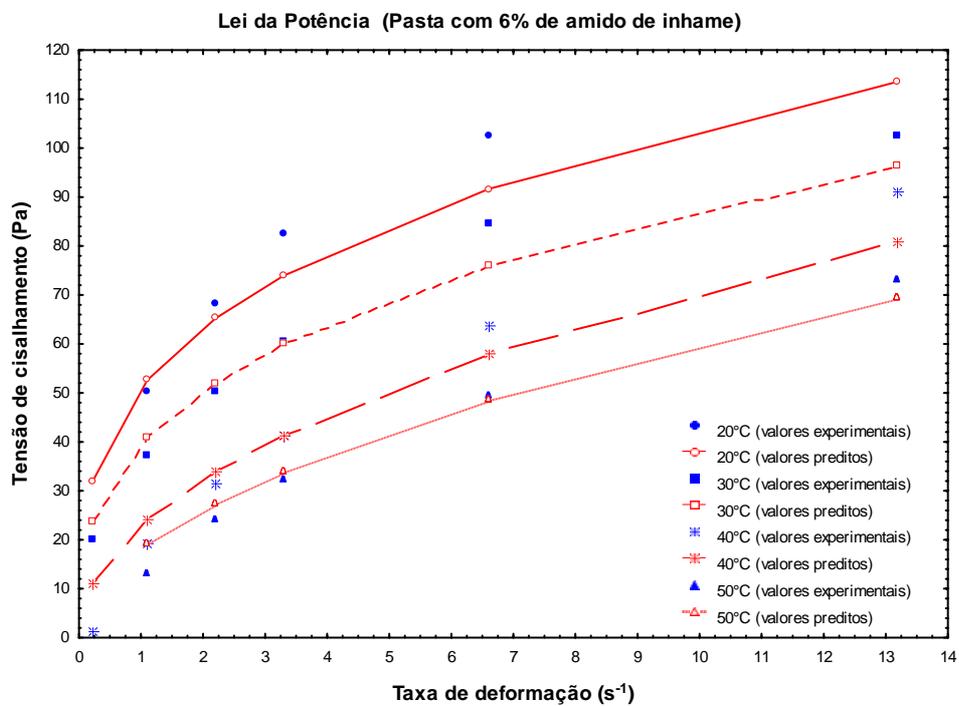
Nas Figuras 4.22, 4.23 e 4.24 se acham, ajustadas, as curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação pelo modelo Lei da Potência nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C para as suspensões de amido de inhame gelatinizadas nas concentrações de 4, 5 e 6% de amido, respectivamente.



**Figura 4.22-** Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo Lei da Potência para a pasta com 4% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C



**Figura 4.23-** Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo Lei da Potência para a pasta com 5% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C



**Figura 4.24-** Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo Lei da Potência para a pasta com 6% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C

Os valores para os coeficientes de determinação, os desvios percentuais médios e os parâmetros de ajuste do modelo Lei da Potência, são apresentados na Tabela 4.7. Percebe-se, como esperado, que os valores de  $k_{lp}$  diminuem com o aquecimento e aumentam com o incremento da concentração de amido estando em uma mesma temperatura; já os valores de  $n_{lp}$  crescem com a elevação de temperatura quando observada a mesma concentração de amido na pasta. Comportamento semelhante para o índice em questão ocorreu quando se utilizou o modelo de Herschel-Bulkley neste trabalho.

**Tabela 4.7-** Coeficientes de determinação, desvios percentuais médios e parâmetros de ajuste do modelo reológico Lei da Potência, obtidos para as pastas contendo 4, 5 e 6% de amido de inhame a diferentes temperaturas

T (°C)	% Amido	Modelo Lei da Potência		$R^2_{lp}$ (%)	$P_{lp}$ (%)
		$\tau = k_{lp} \cdot \dot{\gamma}^{n_{lp}}$			
		$k_{lp}$ (Pa. s <sup><math>n_{lp}</math></sup> )	$n_{lp}$		
20	4	4,626487	0,740875	99,126	2,597
	5	45,76336	0,356267	89,574	4,745
	6	51,09039	0,309710	90,797	2,802
30	4	2,608477	0,790631	97,582	8,232
	5	30,47479	0,439505	94,589	7,136
	6	39,68403	0,343865	96,549	1,160
40	4	1,142051	0,923732	97,161	3,544
	5	24,03893	0,471164	95,704	1,812
	6	23,18327	0,484107	96,268	18,022
50	4	0,600844	1,019039	98,424	1,035
	5	16,96917	0,538927	97,528	1,767
	6	18,18726	0,519936	97,305	1,460

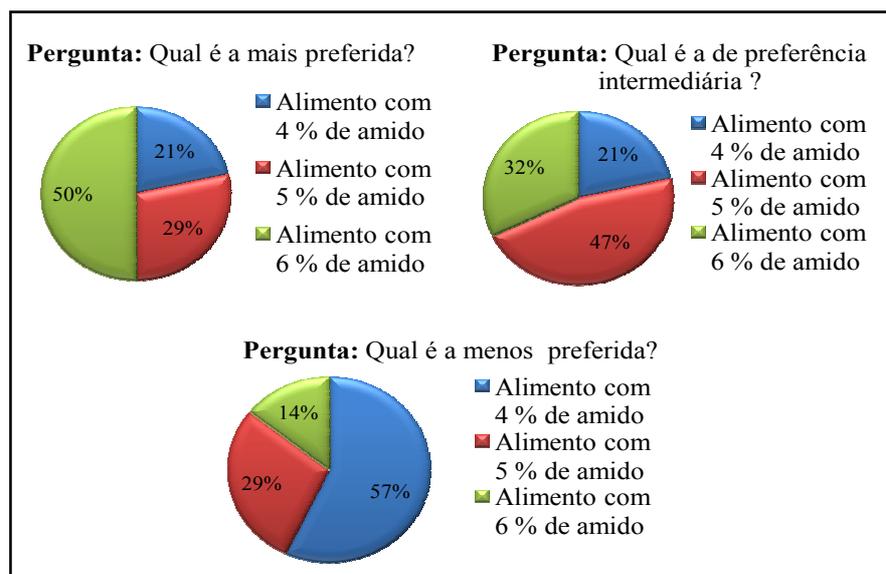
Aplicando-se os modelos de Herschel-Bulkley e Lei da Potência, observa-se que todos os valores dos desvios percentuais médios (P) estão abaixo de 10%, exceto para a amostra com 6% de amido na temperatura de 40°C. De maneira geral, pode-se indicar a possibilidade de utilização desses modelos para a estimativa dos valores desejados de tensão de cisalhamento para a pasta de amido de inhame porém uma adequação melhor aos dados experimentais pode ser atribuída ao modelo Lei da Potência, considerando-se que apresentou valores maiores de  $R^2$  (média de 95,88%) e valores menores de P (média de

4,53%) em relação ao modelo de Herchel-Bulkley, para o qual os valores médios de  $R^2$  e P foram de 93,98 e 5,46%, respectivamente.

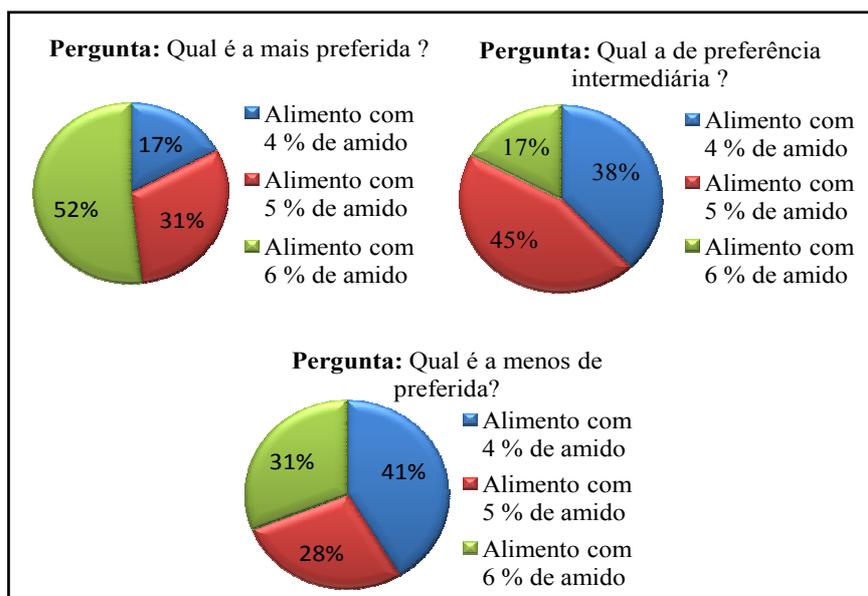
#### 4.8- Análise sensorial

Os resultados obtidos da análise de preferência realizada para os mingaus elaborados com amido de inhame, nas concentrações de 4, 5 e 6%, com leite bovino e caprino, respectivamente, estão apresentados nas Figuras 4.25 e 4.26.

Observa-se que os mingaus com concentração de 6% de amido foram os que mais agradaram e os mingaus com 4% de amido os que menos agradaram a equipe de julgadores, independente do leite utilizado para sua elaboração. Esta informação é muito útil para elaboração de receitas de preparo geralmente presentes nas embalagens de produtos alimentícios comercializados.



**Figura 4.25-** Teste de preferência realizado com um painel de 30 provadores de ambos os sexos e idade entre 10 e 14 anos, em alimentos elaborados com amido de inhame, nas concentrações de 4, 5 e 6%, e leite bovino



**Figura 4.26-** Teste de preferência realizado com um painel de 30 provadores de ambos os sexos e idade entre 10 e 14 anos, em alimentos elaborados com amido de inhame, nas concentrações de 4, 5 e 6%, e leite caprino

Os resultados referentes ao grau de concordância entre os julgadores com relação à intenção de consumo dos mingaus estão apresentados na Tabela 4.8.

**Tabela 4.8-** Notas máxima, mínima e média, desvio padrão (D.P.) das notas dos julgadores e Coeficiente de Concordância (C.C.) obtidos para intenção de consumo

Amostras	Nota				C.C. (%)
	Máx.	Mín.	Média	D.P.	
Leite caprino c/ 4% de amido	7	1	2,90	2,29	37,03
Leite caprino c/ 5% de amido	7	1	3,79	1,88	15,18
Leite caprino c/ 6% de amido	7	1	4,41	2,44	22,59
Leite bovino c/ 4% de amido	7	1	3,32	2,09	23,00
Leite bovino c/ 5% de amido	7	1	4,00	2,05	16,67
Leite bovino c/ 6% de amido	7	1	4,68	2,34	33,77

A média corresponde à nota média entre os trinta julgadores atribuída para intenção de consumo de cada amostra; entretanto, a consistência dessas indicações está condicionada à concordância entre os julgadores, de forma que elas serão pouco consistentes se não houver uma boa concordância entre os mesmos. Percebe-se, pela

Tabela 4.8, que as maiores médias obtidas foram para os alimentos preparados com leite bovino na concentração de 6% de amido, cuja nota média foi 4,68 que corresponde, na escala utilizada, a dizer que *consumiria frequentemente* o produto elaborado nessas condições. Este resultado contou com coeficiente de concordância de 33,77% da equipe consultada, o que pode ser considerado um bom resultado. O maior coeficiente de concordância observado nesta etapa da pesquisa foi o de que o alimento elaborado com leite caprino na concentração de 4% raramente seria consumido, pelo menos com 37,03% de concordância entre os julgadores.

Dois fatos devem ser esclarecidos nesta pesquisa: o primeiro é que apenas 2 alimentos foram elaborados dentro de um grande universo de possibilidades de preparo de alimentos à base de amido; o segundo, é que existe uma questão a ser considerada antes de qualquer teste, isto é, o fato do julgador gostar e possuir hábito de consumo do tipo de alimento a ser testado. Nesta pesquisa tais fatos não foram levados em consideração, haja vista que se pretendia estudar a aceitação especificamente dessa população, para possível incorporação deste alimento na merenda escolar, uma vez que o inhame e o leite caprino são abundantes na região, inclusive contanto com programas de incentivo dos governos federal e estadual para a produção.

## 5.0- CONCLUSÕES

- ✓ Em virtude do grau de pureza do amido de inhame obtido (80,18%), pode-se considerar que o método de extração utilizado neste trabalho foi eficiente e, portanto, existe a possibilidade do inhame (*Dioscorea alata*) ser utilizado como matéria-prima amilácea para fins industriais;
- ✓ Quanto aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, o amido de inhame obtido se encontra dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira e pela ANVISA, respectivamente;
- ✓ O modelo de Chung-Pfost foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais e pode ser utilizado satisfatoriamente na predição das isotermas de equilíbrio higroscópico do amido de inhame;
- ✓ Para evitar que o amido de inhame sofra deteriorações químicas, enzimáticas e microbiológicas, maiores cuidados devem ser direcionados ao produto durante o seu manuseio e/ou armazenamento em ambientes com umidade relativa maior que 40% na faixa de temperatura de 25 a 45°C;
- ✓ Dentre os modelos matemáticos utilizados no estudo reológico da pasta de amido, o que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o modelo Lei da Potência, embora a utilização do modelo de Herschel-Bulkley também tenha mostrado um ajuste considerável;
- ✓ As suspensões gelatinizadas com 4, 5 e 6% de amido de inhame foram classificadas, reologicamente, como fluidos não-newtonianos dependentes do tempo evidenciando tixotropicidade e reopeticidade com predominância, porém, do caráter tixotrópico;

- ✓ A variação na temperatura da pasta de amido de inhame exerce uma pequena influência sobre a sua tixotropicidade. Com a elevação da temperatura, o caráter tixotrópico da pasta de amido cresce;
- ✓ Constatou-se ocorrência de mudanças substanciais nas características reológicas das suspensões gelatinizadas de 4 para 5% de amido de inhame, sendo possível a existência de uma concentração crítica entre esses limites para uma suspensão, na qual ocorrem tais mudanças;
- ✓ O mingau preparado com leite bovino e amido de inhame na concentração de 6%, possui boa aceitação por parte de crianças em idade escolar, na faixa etária de 10 a 14 anos;
- ✓ Observou-se maior valor para a difusividade térmica efetiva média do amido de inhame durante o congelamento do produto, na temperatura de  $-26^{\circ}\text{C}$  ( $2,196 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

## **6.0- SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

A partir do que foi desenvolvido neste trabalho sugere-se, como continuidade:

- ✓ caracterizar as propriedades termofísicas do amido de inhame;
- ✓ estudar as características reológicas da pasta do amido de inhame com diferentes concentrações entre 4 e 5% para que seja confirmada ou não a hipótese de haver um ponto crítico a partir do qual as características reológicas da pasta se modificam;
- ✓ estudar as características reológicas da pasta do amido de inhame com concentrações maiores que 5% para que seja observado se o comportamento das mesmas permanecerá semelhante àquele verificado nas pastas com 5 e 6% de amido;
- ✓ estudar a estabilidade do amido armazenado em diferentes tipos de embalagem.

## 7.0- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved Methods**. A.A.C.C. Minnesota, 1975.

AACC - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved Methods**. St. Paul, Minnesota, 9th ed, 1996.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Análise sensorial de alimentos e bebidas** - NBR 12806. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 8 p.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, 2007.

AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T.R.A. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. **Trans IChemE**, v. 80, Part C, Jun., 2002.

AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T.R.A. Water sorption isotherms of starch powders part 1: mathematical description of experimental data. **Journal of Food Engineering**, v. 6, p. 297–307, 2004.

ALVES, R.M.L.; GROSSMANN, M.V.E.; SILVA, R.S.S.F. Gelling properties of extruded yam (*Dioscorea alata*) starch. **Food Chemistry**, v.67, p. 123 -127, 1999.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 12 de 02 de janeiro de 2001. Aprova o regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 10 de janeiro de 2001. n.7. Seção 1, p. 45-53.

AOAC -ASSOCIATION OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry. 11 ed., Washington, 1994.

ARAÚJO, M. S. O.; BRAGA, M.E.D.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Cinética de congelamento de polpa de acerola a baixas temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.2, n.1, p.27-34, 2000.

BARBOSA, L. N.; GARCIA, L. V.; TOLOTTI, K. D.; GOELLNER, T.; AUGUSTO-RUIZ, W.; SANTO, M. E. Elaboração de embutido tipo mortadela com farinha de arroz. **Vetor**, Rio Grande, v.16, n. 1/2, p. 11-20, 2006.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. v. 3. São Paulo: Atheneu, 1998, 316p.

BELLO-PÉREZ, L. A.; PAREDES-LÓPEZ, O.; ROGER, P.; COLONNA, P. Amylopectin - properties and fine structure. **Food Chemistry**, v. 56, n. 2, p. 171 - 176, 1996.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 2 ed. São Paulo: Varela, 1992. 143p.

BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. Efeito dos parâmetros de extrusão em farinha de batata-doce, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.4, p.835-843, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 62/2003. Oficializa os Métodos Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para o Controle de Produtos de Origem Animal e Água. 26 de agosto de 2003. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 18 de set. 2003. Seção 1, p.14.

BRASIL. Resolução nº12/78 da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Aprova as normas técnicas especiais do Estado de São Paulo, revistas pela CNNPA relativas a alimentos (e bebidas). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, Julho de 1978. Seção 1, pt.I.

BROD, F. P. R. **Avaliação de um secador vibro-fluidizado**. 2003. 336f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 23, p. 85-112, 1998.

CARLOS, L. A.; RESENDE, J. V.; CAL-VIDAL, J. Reduction of freeze-dried powder hygroscopicity by inducing crystallization in model fruit sugar solutions. **Braz. J. Food Technol.**, v.8, n.2, p. 163-173, 2005.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; BRAGA, M.E.D.; SILVA, M. Curvas de congelamento de frutos de cajá (*Spondias lutea L.*) a temperaturas semi-criogênicas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n.1, p.55-62, 2003.

CEREDA, M. P. Importância das tuberosas tropicais. In: **Agricultura: cultura de tuberosas amiláceas latino-americanas**. São Paulo: Fundação Cargill. v. 2. 2002a, p. 13-25. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas).

CEREDA, M. P. Justificativa para padronização dos nomes vulgares de *Colocasia esculenta* e *Dioscorea* sp. No Brasil. In: Inhame e Taro. II Simpósio Nacional sobre as culturas do inhame e do Taro. v.1, 2002b. **Anais...** João Pessoa, PB: EMEPA-PB, 312p.

CHENE, C. Les amidons. **Agro-Jonction**, n. 34, 2004.

CRANK, J. **The Mathematics of diffusion**. 2<sup>nd</sup> ed. Clarendon Press, Oxford, 1975.

COSTA, A.L. **Leite caprino: Um novo enfoque de pesquisa**. Embrapa - Caprinos, s/d. Disponível em: <<http://www.cnpc.embrapa.br/artigos.htm>> . Acesso em: 09 ago. 2007.

DAIÚTO, E. R.; CEREDA, M. P. Extração de fécula de inhame (*Dioscorea* sp.). In: **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v.3, p.176-190, 2003. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas).

DANTAS JÚNIOR, E. E.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Determinação da difusividade térmica da polpa de manga espada. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.22, n.1, p.39-42, 2007.

DEMIATE, I. M.; LARA, P. S. B.; NOGUEIRA, A.; WOSIACKI, G. Propriedades físicas, químicas e funcionais de amido de maçã. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 24, n. 2, p. 299-306, 2003.

DEWAR, R. J.; JOYCE, M. J. The thixotropic and rheopectic behaviour of maize starch and maltodextrin thickeners used in dysphagia therapy. **Carbohydrate Polymers**, v. 65, p. 296–305, 2006.

DUFOUR, D. et al. Functional properties of starches from tropical roots and tubers: starch behaviors under different agro-industrial stress conditions. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF TUBER AND ROOTS CROP, 12, 2000, Tsukuba. And Roots Crop, 2002. p.21-24. **Proceedings....**Tsukuba: International Society Of Tuber And Roots Crop, 2002. p.21-24.

EERLINGEN, R. C.; DELCOUR, J. A. Formation, analysis, structure and properties of type III enzyme resistant starch. **Journal of Cereal Science**, v.22, p.129-138, 1995.

ESTELLER, M. S.; YOSHIMOTO, R. M. de O.; AMARAL, R. L.; LANNES, S. C. da S. Uso de açúcares em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.24, n. 4. p. 602-607, 2004.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. ed. São Paulo: Atheneu,, 1998. 674p.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípio e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2. p. 251-255, 2003.

FERREIRA, S. M. R.; FREITAS, R. J. S.; BASSLER, T. C. Terminologia descritiva para análise sensorial de tomate de mesa. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 07-12, 2003.

FISBERG, M.; NOGUEIRA, M.; FERREIRA, A. M. A. FISBER, R. M. **Aceitação e tolerância de leite de cabra em pré-escolares**. In: *Pediatrai Moderna*. v. 35, n. 7, Jul/1999, 10 p.

FRANCO, C.M.L.; DAIÚTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.C.B.; LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.; SARMENTO, S.B.S. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo: Fundação Cargill, v.1, p. 184-203, 2002. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas).

FREITAS, R.A.; PAULA, R.C.; FEITOSA, J.P.A.; ROCHA, S.; SIERAKOWSKI, M. R. Amylose contents, rheological properties and gelatinization kinetics of yam (*Dioscorea alata*) and cassava (*Manihot utilissima*) starches. **Carbohydrate Polymers**, v.55, p. 3–8, 2004.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. ed. São Paulo: Nobel, 1998. 284p.

GOMES, P. M. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Caracterização e isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.2, p.157-165, 2002

GOÑI, O.; ESCRIBANO, M. I.; MERODIO, C. Gelatinization and retrogradation of native starch from cherimoya fruit during ripening, using differential scanning calorimetry. **LWT**, v. 41, p. 303–310, 2008.

HAMINIUK, C. W. I. **Comportamento reológico e fracionamento péctico das polpas integrais de araçá (*Psidium catlleianum sabine*) e amora-preta (*Rubus spp*)**. 2005. 85f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

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

HUANG, C.; LIN, M.; WANG, C. R. Changes in morphological, thermal and pasting properties of yam (*Dioscorea alata*) starch during growth. **Carbohydrate Polymers**, v. 64, p. 524–531, 2006.

IAL- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1018p.

IUPAC- INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY. Reporting physisorption data for gas/solid systems. **Pure and Applied Chemistry**. v. 57, n. 4, p. 603-619, 1985.

JARDIM, W. R. **Criação de caprinos**. 11 ed. São Paulo: Nobel, 1984. 239p.

JAYAKODY, L.; HOOVER, R.; LIU, Q.; DONNER, E. Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea sp.*) starches grown in Sri Lanka. **Carbohydrate Polymers**, v. 69, p.148–163, 2007.

JAYA, S.; H. DAS. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 2, p.125–134, 2004.

KAUR, M.; SINGH, N.; SANDHU, K. S.; GURAYA, H. S. Physicochemical, morphological, thermal and rheological properties of starches separated from kernels of some Indian mango cultivars (*Mangifera indica* L.). **Food Chemistry**, v. 85, p. 131–140, 2004.

KAWAGUTI, H. Y.; CIAMPONE, S.; BARROS-MARCELLINI, A. M.; KELLY HOFSETZ, K.; PEREZ, R. M.; CAVALHEIRO, S. F. L.; SIQUEIRA, P.B.; PIO, T. F.; BRITO, C. A. K.; BOLINI, H. M. A. Perfil sensorial e aceitação de néctares de goiaba industrializados. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**. v. 1, n. 2, p. 70-82, 2007.

KITAHARA, K.; COPELAND, L. A simple method for fractionating debranched starch using a solid reversed-phase cartridge. **Journal of Cereal Science**, v. 39, p. 91–98, 2004.

KUROZAWA, L. E.; EL-AOUAR, A. A.; MURR, F. E. X. Obtenção de isothermas de dessecção de cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.4, p.828-834, 2005.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.22, n.1, p.65-69, 2002.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. Arrowroot (*Maranta arundinacea*) as a possible raw material for starch industries. **Braz. J. Food Technol.**, v.5, p.151-155, 2002.

LEONEL, M.; GARCIA A. C. D. B.; REIS, M. M. Physico-chemical and microscopical characterisations of sweet potato, canna, cassava and cocoyam starches and their expansion properties after photochemical modification. **Braz. J. Food Technol.** v.7, n.2, p.129-137, 2004.

LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z.; IATAURO, R. A.; DUARTE FILHO, J. Efeitos de parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de produtos

expandidos de inhame. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 459-464, 2006.

LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; CEREDA, M. P.; CÂMARA, F. L. A. Extração e caracterização de amido de jacatupé (*Pachyrhizus ahipa*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 362-365, 2003.

LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; FERRARI, T. B. Aproveitamento do gengibre (*Zingiber officinale*) de qualidade inferior como matéria-prima amilácea. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v. 1, p. 9-18, 2005.

LIMA, A. W.; SOUSA, A. C. P.; MADRUGA, M. S.; FIOREZE, R.; ALDRIGUE, M. L. **Aspectos da ciência e tecnologia de alimentos**. v. 1, João Pessoa: Editora Universitária. UFPB. Idéia, 2002. 198p.

LIMBERGER, V. M. **Modificação física e química de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos**. 2006. 78f. Dissertação (Metrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Santa Maria.

LIPORACCI, J. S. N.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Efeito do método de extração na composição química e nas propriedades funcionais do amido de inhame (*Dioscorea alata*). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 345-352, 2005.

LOBO, A. R.; SILVA, G. M. de L. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Rev. Nutr.** Campinas, v. 16, n. 2, 2003.

MARCOTTE, M.; HOSHAHILI, A.R.T.; RAMASWAMY, H.S. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. **Food Research International**, v. 34, p. 695-703, 2001.

MARTINS, A. M. C. V.; SALOTTI, B. M.; ROSSI JÚNIOR, O. D.; PENNA, A. L. B. Evolução do índice proteolítico e do comportamento reológico durante a vida de

prateleira de leite UAT/UHT. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n 4. p. 698-704, 2005.

MASSAUX, C.; BODSON, B.; LENARTZ, J.; SINDIS, M.; SINNAEVE, G.; DARDENNE, P.; FALISSE, A.; DEROANNE, C. L'amidon natif du grain de blé: um composé naturel à valoriser par La connaissance de ses propriétés technofonctionnelles? **Livre Blanc «Céréales» F. U. S. A. et CRA-W Gembloux**, p. 1-7, février, 2006.

MATSUGUMA, L. S. **Caracterização do amido de mandioca salsa (*Arracacia xanthorrhiza*) nativo e modificado por oxidação**. 2006. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)- Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa.

MESQUITA, I. V. U. **Características químicas e sensoriais do leite de cabras da raça moxotó alimentadas com diferentes níveis de silagem de maniçoba (*Manihot glaziovii Muel Arg.*)**. 2005. 101f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba. Areia.

MONTEIRO, D. A.; PERESSIN, V. A. Cultura do inhame. In: **Agricultura: cultura de tuberosas amiláceas latino-americanas**. Fundação Cargill. v. 2. 2002, p. 511-518. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas).

NASSU, R. T. **Análise sensorial de carne: conceitos e recomendações**. São Paulo-SP, 2007. 7p. (EMBRAPA. Comunicado Técnico, 79).

NODA, T.; TAKAHATA, Y.; SATE, T.; HISAMATSU, M.; YAMADAT, T. Physicochemical properties of starches extracted from sweet potato roots differing in physiological age. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 43, p. 3016-3020, 1995.

OLIVEIRA, A. P. **Inhame: alimento indispensável à mesa nordestina**. Associação Brasileira de Horticultura, 2006. Disponível em <

<http://www.abhorticultura.com.br/News/Default.asp?id=4966>> . Acesso em 06 de agosto de 2007.

ORDÓÑEZ PEREDA, J. A.; CAMBERO RODRÍGUEZ, M. I.; FERNÁNDEZ ÁLVAREZ, L.; GARCÍA SANZ, M. L.; FERNANDO MINGUILLÓN, G. D. G. de; HOZ PERALES, L. de la; SELGAS CORTECERO, M. D. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. v.1. Porto Alegre: Artmed, 2005. 294p.

OYELADEA, O. J.; TUNDE-AKINTUNDEB, T. Y.; IGBEKAC, J. C.; OKEB, M. O.; RAJID, O. Y. Modelling moisture sorption isotherms for maize flour. **Journal of Stored Products Research**, v. 44, p. 179–185, 2008.

PEDRAS, M. M. **Avaliação de propriedades físico-químicas e funcionais de leite processado por tecnologia de homogeneização a ultra- alta pressão**. 2007. 153 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

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.

PENG, L.; ZHONGDONG, L.; KENNEDY, J. F. The study of starch nano-unit chains in the gelatinization process. **Carbohydrate Polymers**. v. 68, n. 2, p. 360–366, 2007a.

PENG, G.; CHEN, X.; WU, W.; JIANG, X. Modeling of water sorption isotherm for corn starch. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 562–567, 2007b.

PEREIRA, L. B. **Caracterização de suspensões e géis de amido de amaranto: efeito da adição de sacarose e NaCl nas propriedades reológicas e térmicas**. 2004. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

PERONI, F.H.G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. 2003. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de alimentos) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. São José do Rio Preto.

PRATA, L. F.; RIBEIRO, A. C.; REZENDE, K. T.; CARVALHO, M. R. B.; RIBEIRO, S. D. A.; COSTA, R. G. Composição, perfil nitrogenado e características do leite caprino (SAANEN). Região sudeste, Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 18 n. 4, p. 428-432, 1998.

ROLEE, A.; LEMESTE, M. Effect of moisture content on thermomechanical behaviour of concentrated wheat starch–water preparations. **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 3, p. 452–458, 1999.

SANTOS, E. S.; CAZÉ FILHO, J.; LACERDA, J. T.; CARVALHO, R. A. Inhame (*Dioscorea sp.*) tecnologias de produção e preservação ambiental. **Tecnol. & Ciên. Agropec.**, João Pessoa, v.1, n.1, p.31-36, 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, 2004.

SANTOS, E. S.; MACÊDO, L. S. Tendências e Perspectivas da Cultura do Inhame (*Dioscorea sp.*) no Nordeste do Brasil. In: II Simpósio Nacional sobre as Culturas do Inhame e do Taro, 1., 2002. João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, PB: EMEPA-PB, 2002. 312 p.

SATO, A. C. K. **Influência do tamanho de partículas no comportamento reológico da polpa de jabuticaba**. 2005. 73f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

SCHRAMM, G. **A practical approach to rheology and rheometry**. 2 ed. Germany. 2000. 291p.

SHUJUN, W.; JINGLIN, Y.; WENYUAN, G.; HONGYAN, L.; PEIGEN, X. New starches from traditional Chinese medicine (TCM)-Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) cultivars. **Carbohydrate Research**, v. 341, p. 289–293, 2006.

SHUJUN, W.; WENYUAN, G.; HAIXIA, C.; PEIGEN, X. New starches from *Fritillaria* species medicinal plants. **Carbohydrate Polymers**, v. 61, p. 111–114, 2005.

SILVA, F. A. S; DUARTE, M. E. M; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Nova metodologia para interpretação de dados de análise sensorial de alimentos. **Revista Engenharia Agrícola**. Novembro de 2008 (Prelo).

SILVA, J. A. **Tópicos da tecnologia dos alimentos**. São Paulo: Varela, 2000. 240p.

SILVA, J. O. S. **Avaliação de alimentos: teste afetivo e escala hedônica**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2006. 4p. (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC. Respostas Técnicas).

SIMÕES, M. R.; MURR, F. E. X. Determinação da difusividade térmica da polpa de manga. **Acta Scientiarum**, v. 22, n. 5, p. 1225-1228, 2000.

SOUZA, P. M. **Estudo comparativo da pasteurização de leite pelo método convencional e por microondas**. 2007. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

STATSOFT, Inc. STATISTICA for Windows (data analysis software system), version 8.0. Computer program manual. Tulsa: Statsoft, 2008.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2 ed. East Lansing, Michigan State, USA: Freeman Press, 1996. 418p.

TAPARELLI, J. R. **Modificação química do amido de mandioca e estudo de sua aplicação em revestimento couché**. 2005. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

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

TEIXEIRA, E. M. **Utilização de amido de mandioca na preparação de novos materiais termoplásticos**. 2007. 201 f. Tese (Doutorado em Ciência - Físico-Química). Universidade de São Paulo. São Carlos.

TEIXEIRA, V. G.; COUTINHO, F. M. B.; GOMES, A. S. Principais métodos de caracterização da porosidade de resinas à base de divinilbenzeno. **Química Nova**. V. 24, n. 6, p. 808-818, 2001

VENTURINI, K. S.; SARCINELLI, M. F.; SILVA, L. C. **Características do Leite**. 2007. (Universidade Federal do Espírito Santo. Boletim Técnico).

VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C. A. Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangífera indica L*) - efeito dos sólidos insolúveis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.2, Campinas, 2000.

VILPOUX, O. **Caracterização das fecularias no Brasil**. 1995. 90p. (Centro de Raízes e Amidos Tropicais-UNESP, Boletim Técnico)

VILPOUX, O. Processamento de raízes e tubérculos tropicais para a produção de *chips*. In: **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino-americanas**. Fundação Cargill. v. 3. 2003, p. 110-131. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas).

YONEMOTO, P. G. **Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo**. 2006. 101f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia e Ciência dos Alimentos). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. São José do Rio Preto.

## **APÊNDICE A**

**(Dados referentes ao congelamento do amido de inhame)**

**Tabela A1-** Valores de tempo, temperatura e razão de temperatura, registrados durante o congelamento do amido na temperatura de  $-17^{\circ}\text{C}$

t (s)	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	RT	t (s)	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	RT	t (s)	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	RT
0	21,1	1,000	3000	-0,2	0,441	7200	-16,4	0,016
60	20,9	0,995	3240	-0,2	0,441	7260	-16,4	0,016
120	20,7	0,990	3480	-0,2	0,441	7320	-16,7	0,008
180	20,2	0,976	3720	-0,1	0,444	7380	-16,7	0,008
240	19,2	0,950	3960	-0,1	0,444	7440	-16,6	0,010
300	18,5	0,932	4200	-0,1	0,444	7560	-17,0	0,000
360	18,0	0,919	4440	-0,1	0,444			
420	17,9	0,916	4680	-0,2	0,441			
480	17,3	0,900	4980	-0,3	0,438			
540	16,5	0,879	5040	-0,4	0,436			
600	15,8	0,861	5100	-0,6	0,430			
660	15,1	0,843	5160	-1,2	0,415			
720	14,4	0,824	5220	-2,1	0,391			
780	13,7	0,806	5280	-3,2	0,362			
840	12,9	0,785	5340	-4,4	0,331			
900	11,9	0,759	5400	-5,3	0,307			
960	11,3	0,743	5460	-6,2	0,283			
1020	10,6	0,724	5520	-6,9	0,265			
1080	9,8	0,703	5580	-7,6	0,247			
1140	9,3	0,690	5640	-8,1	0,234			
1200	8,5	0,669	5700	-8,6	0,220			
1260	8,0	0,656	5760	-9,2	0,205			
1320	7,2	0,635	5820	-9,6	0,194			
1380	6,6	0,619	5880	-10,1	0,181			
1440	6,1	0,606	5940	-10,6	0,168			
1500	5,4	0,588	6000	-11,1	0,155			
1560	4,7	0,570	6060	-11,4	0,147			
1620	4,1	0,554	6120	-11,6	0,142			
1680	3,8	0,546	6180	-12,1	0,129			
1740	3,0	0,525	6240	-12,4	0,121			
1800	2,7	0,517	6300	-12,8	0,110			
1860	2,2	0,504	6360	-13,2	0,100			
1920	1,6	0,488	6420	-13,5	0,092			
1980	1,1	0,475	6480	-13,8	0,084			
2040	0,7	0,465	6540	-14,1	0,076			
2100	0,4	0,457	6600	-14,3	0,071			
2160	0,2	0,451	6660	-14,6	0,063			
2220	0,1	0,449	6720	-14,8	0,058			
2280	0,1	0,449	6780	-15,0	0,052			
2340	-0,1	0,444	6840	-15,4	0,042			
2400	-0,1	0,444	6900	-15,5	0,039			
2520	-0,2	0,441	6960	-15,8	0,031			
2640	-0,2	0,441	7020	-15,9	0,029			
2760	-0,2	0,441	7080	-16,1	0,024			
2880	-0,2	0,441	7140	-16,3	0,018			

**Tabela A2-** Valores de tempo, temperatura e razão de temperatura, registrados durante o congelamento do amido na temperatura de  $-26^{\circ}\text{C}$

t (s)	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	RT	t (s)	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	RT	t (s)	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	RT
0	20,4	1,000	3060	-1,6	0,526	6000	-23,9	0,045
60	20,1	0,994	3120	-1,9	0,519	6060	-24,0	0,043
120	19,9	0,989	3180	-2,2	0,513	6120	-24,2	0,039
180	18,6	0,961	3240	-2,6	0,504	6180	-24,1	0,041
240	17,4	0,935	3300	-3,4	0,487	6240	-24,2	0,039
300	16,3	0,912	3360	-4,8	0,457	6300	-24,3	0,037
360	15,1	0,886	3420	-7,7	0,394	6360	-24,6	0,030
420	14,0	0,862	3540	-8,9	0,369	6420	-24,7	0,028
480	12,9	0,838	3600	-9,7	0,351	6480	-24,7	0,028
540	11,9	0,817	3660	-10,8	0,328	6540	-24,8	0,026
600	10,8	0,793	3720	-11,6	0,310	6600	-24,8	0,026
660	9,6	0,767	3780	-12,2	0,297	6780	-25,1	0,019
720	8,6	0,746	3840	-12,9	0,282	6960	-25,1	0,019
780	7,3	0,718	3900	-13,5	0,269	7020	-25,3	0,015
840	6,5	0,700	3960	-14,3	0,252	7320	-25,6	0,009
900	5,4	0,677	4020	-14,9	0,239	7860	-26,0	0,000
960	4,6	0,659	4080	-15,4	0,228			
1020	3,5	0,636	4140	-15,8	0,220			
1080	2,7	0,619	4200	-16,4	0,207			
1140	2,2	0,608	4260	-17,1	0,192			
1200	1,4	0,591	4380	-17,7	0,179			
1260	1,2	0,586	4440	-18,1	0,170			
1320	0,7	0,575	4500	-18,3	0,166			
1380	0,5	0,571	4560	-18,6	0,159			
1440	0,3	0,567	4620	-19,1	0,149			
1500	0,0	0,560	4680	-19,4	0,142			
1560	0,2	0,565	4740	-19,8	0,134			
1620	-0,1	0,558	4800	-19,9	0,131			
1680	-0,1	0,558	4860	-20,1	0,127			
1740	-0,1	0,558	4740	-19,8	0,134			
1800	-0,1	0,558	4800	-19,9	0,131			
1920	-0,1	0,558	4860	-20,1	0,127			
2040	-0,1	0,558	4920	-20,3	0,123			
2160	-0,1	0,558	4980	-20,8	0,112			
2280	-0,1	0,558	5040	-20,9	0,110			
2400	-0,2	0,556	5100	-21,2	0,103			
2520	-0,2	0,556	5160	-21,4	0,099			
2580	-0,4	0,552	5220	-21,7	0,093			
2640	-0,4	0,552	5580	-22,9	0,067			
2700	-0,6	0,547	5640	-22,9	0,067			
2760	-0,9	0,541	5700	-23,1	0,063			
2820	-0,9	0,541	5760	-23,3	0,058			
2880	-1,2	0,534	5820	-23,6	0,052			
2940	-1,3	0,532	5880	-23,5	0,054			
3000	-1,4	0,530	5940	-23,7	0,050			

## **APÊNDICE B**

**(Dados referentes ao estudo reológico das pastas de amido de inhame)**

**Tabela B1-** Valores de tempo, taxa de deformação, tensão de cisalhamento e viscosidade aparente da pasta com 4% de amido, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C

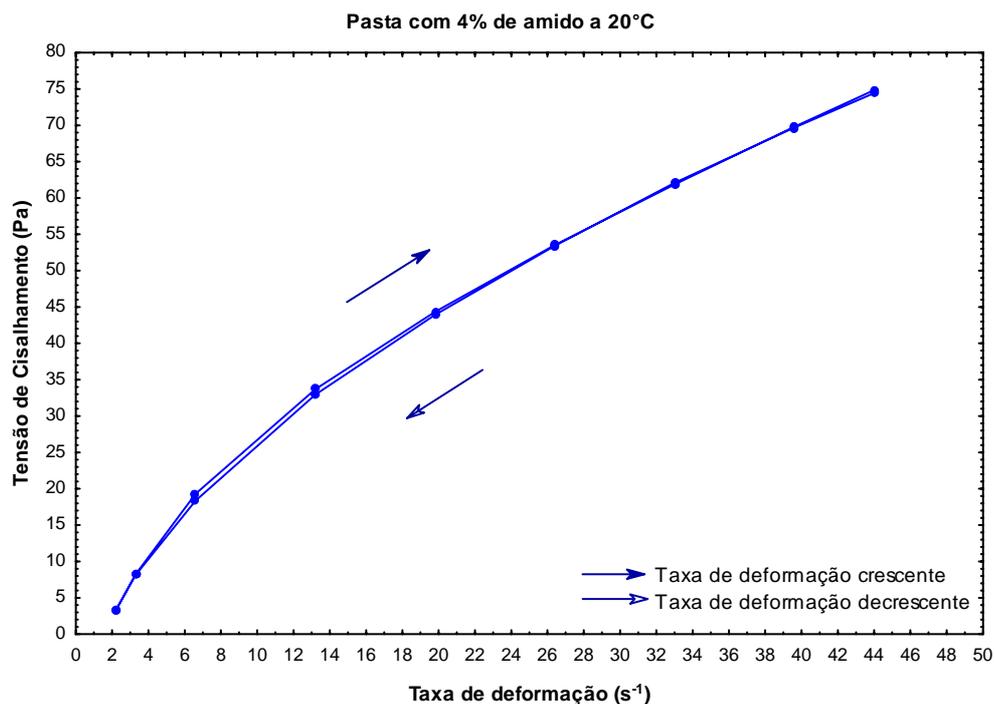
Temperatura (°C)															
20				30				40				50			
t (s)	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	$\tau$ (Pa)	$\eta$ (Pa.s)	t (s)	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	$\tau$ (Pa)	$\eta$ (Pa.s)	t (s)	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	$\tau$ (Pa)	$\eta$ (Pa.s)	t (s)	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	$\tau$ (Pa)	$\eta$ (Pa.s)
0	0,0	0,00	0,000	0	0,0	0,00	0,000	0	0,0	0,0	0,000	0	0,0	0,00	0,000
15	2,2	3,27	1,488	15	3,3	1,16	0,352	15	6,6	2,6	0,400	15	13,2	6,76	0,512
30	3,3	8,24	2,495	30	6,6	9,71	1,472	30	13,2	12,1	0,920	30	19,8	12,77	0,645
45	6,6	19,32	2,927	45	13,2	21,85	1,656	45	19,8	19,4	0,981	45	26,4	17,95	0,680
60	13,2	33,68	2,551	60	19,8	30,20	1,525	60	26,4	25,4	0,964	60	33,0	21,96	0,666
75	19,8	44,34	2,240	75	26,4	36,53	1,384	75	33,0	30,0	0,909	75	39,6	25,55	0,645
90	26,4	53,53	2,028	90	33,0	42,23	1,280	90	39,6	33,8	0,853	90	44,0	27,56	0,626
105	33,0	61,87	1,875	105	39,6	46,98	1,186	105	44,0	36,0	0,818	111	44,0	27,34	0,622
120	39,6	69,79	1,762	120	44,0	49,94	1,135	131	44,0	35,6	0,809	126	39,6	25,02	0,632
135	44,0	74,85	1,701	172	44,0	49,41	1,123	146	39,6	32,8	0,829	141	33,0	21,33	0,646
160	44,0	74,43	1,692	187	39,6	45,93	1,160	161	33,0	28,8	0,873	156	26,4	17,10	0,648
175	39,6	69,68	1,760	202	33,0	40,54	1,229	176	26,4	24,1	0,912	171	19,8	12,35	0,624
190	33,0	62,08	1,881	217	26,4	34,95	1,324	191	19,8	18,6	0,939	186	13,2	6,55	0,496
205	26,4	53,42	2,024	232	19,8	28,61	1,445	206	13,2	11,9	0,904				
220	19,8	43,92	2,218	247	13,2	20,90	1,584	221	6,6	2,8	0,416				
235	13,2	32,94	2,495	262	6,6	9,50	1,440								
250	6,6	18,37	2,783	277	3,3	1,16	0,352								
265	3,3	8,13	2,463												
280	2,2	3,27	1,488												

**Tabela B2-** Valores de tempo, taxa de deformação, tensão de cisalhamento e viscosidade aparente da pasta com 5% de amido, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C

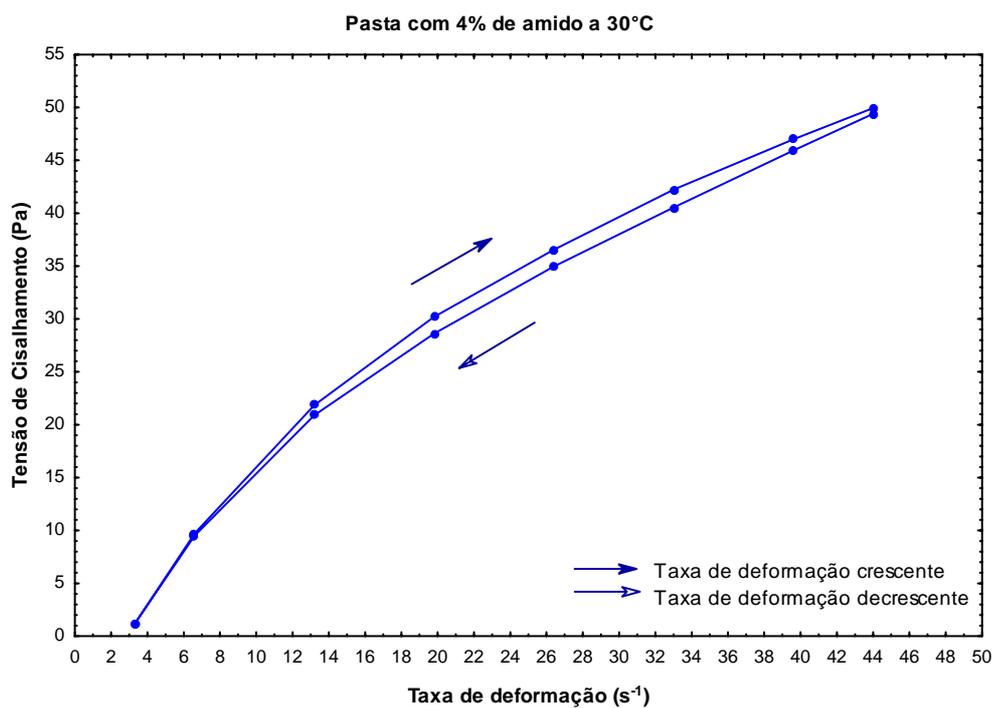
Temperatura (°C)															
20				30				40				50			
t (s)	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	$\tau$ (Pa)	$\eta$ (Pa.s)	t (s)	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	$\tau$ (Pa)	$\eta$ (Pa.s)	t (s)	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	$\tau$ (Pa)	$\eta$ (Pa.s)	t (s)	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	$\tau$ (Pa)	$\eta$ (Pa.s)
0	0,0	0,00	0,000	0	0,0	0,00	0,000	0	0,0	0,00	0,000	0	0,0	0,00	0,000
33	0,22	12,25	55,668	31	0,2	4,01	18,236	15	1,1	17,84	16,221	15	1,1	11,19	10,174
48	1,1	42,76	38,872	46	1,1	26,39	23,995	30	2,2	30,93	14,061	30	2,2	22,17	10,078
63	2,2	64,19	29,178	61	2,2	42,34	19,244	45	3,3	40,86	12,381	45	3,3	30,41	9,214
78	3,3	79,71	24,155	76	3,3	54,48	16,508	60	6,6	62,40	9,454	60	6,6	48,57	7,358
93	6,6	102,30	15,501	91	6,6	80,56	12,205	75	13,2	91,85	6,959	75	13,2	73,27	5,551
108	13,2	102,3	7,750	106	13,2	102,3	7,750	90	19,8	102,3	5,167	90	19,8	91,64	4,628
123	19,8	102,3	5,167	121	19,8	102,3	5,167	105	26,4	102,3	3,875	105	26,4	102,3	3,875
138	26,4	102,3	3,875	136	26,4	102,3	3,875	120	33,0	102,3	3,100	120	33,0	102,3	3,100
153	33	102,3	3,100	151	33,0	102,3	3,100	135	39,6	102,3	2,583	135	39,6	102,3	2,583
168	39,6	102,3	2,583	166	39,6	102,3	2,583	150	44,0	102,3	2,325	150	44,0	102,3	2,325
183	44	102,3	2,325	181	44,0	102,3	2,325	170	44,0	102,3	2,325	180	44,0	102,3	2,325
205	44	102,3	2,325	201	44,0	102,3	2,325	185	39,6	102,3	2,583	195	39,6	102,3	2,583
220	39,6	102,3	2,583	216	39,6	102,3	2,583	200	33,0	102,3	3,100	210	33,0	102,3	3,100
235	33	102,3	3,100	231	33,0	102,3	3,100	215	26,4	102,3	3,875	225	26,4	102,3	3,875
250	26,4	102,3	3,875	246	26,4	102,3	3,875	230	19,8	102,3	5,167	240	19,8	88,90	4,490
265	19,8	102,3	5,167	261	19,8	102,3	5,167	245	13,2	89,42	6,775	255	13,2	71,26	5,399
280	13,2	102,3	7,750	276	13,2	102,3	7,750	260	6,6	60,50	9,166	270	6,6	47,09	7,134
295	6,6	102,3	15,501	291	6,6	80,13	12,141	275	3,3	40,65	12,317	285	3,3	30,41	9,214
310	3,3	79,39	24,059	306	3,3	55,22	16,732	290	2,2	31,25	14,205	300	2,2	22,49	10,222
325	2,2	64,09	29,130	321	2,2	44,03	20,012	305	1,1	18,69	16,988	315	1,1	12,04	10,942
340	1,1	43,81	39,832	336	1,1	28,19	25,627	320	0,2	0,63	2,879				
355	0,22	13,83	62,867	351	0,2	5,81	26,394								

**Tabela B3-** Valores de tempo, taxa de deformação, tensão de cisalhamento e viscosidade aparente da pasta com 6% de amido, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C

Temperatura (°C)															
20				30				40				50			
t (s)	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	$\tau$ (Pa)	$\eta$ (Pa.s)	t (s)	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	$\tau$ (Pa)	$\eta$ (Pa.s)	t (s)	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	$\tau$ (Pa)	$\eta$ (Pa.s)	t (s)	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	$\tau$ (Pa)	$\eta$ (Pa.s)
0	0,0	0,00	0,000	0	0,0	0,00	0,000	0	0,0	0,00	0,000	0	0,0	0,00	0,000
29	0,2	19,95	90,701	117	0,2	20,06	91,181	36	0,2	1,06	4,799	15	1,1	13,09	11,901
44	1,1	50,25	45,686	132	1,1	37,27	33,881	51	1,1	19,22	17,468	30	2,2	24,07	10,942
59	2,2	67,99	30,905	147	2,2	50,15	22,795	66	2,2	31,46	14,301	45	3,3	32,2	9,758
74	3,3	82,56	25,019	162	3,3	60,5	18,332	81	3,3	41,28	12,509	60	6,6	49,41	7,486
89	6,6	102,3	15,501	177	6,6	84,67	12,829	96	6,6	63,56	9,630	75	13,2	73,17	5,543
104	13,2	102,3	7,750	192	13,2	102,3	7,750	111	13,2	91,01	6,895	90	19,8	95,23	4,810
119	19,8	102,3	5,167	207	19,8	102,3	5,167	126	19,8	102,3	5,167	105	26,4	102,3	3,875
134	26,4	102,3	3,875	222	26,4	102,3	3,875	141	26,4	102,3	3,875	120	33,0	102,3	3,100
149	33,0	102,3	3,100	237	33,0	102,3	3,100	156	33,0	102,3	3,100	135	39,6	102,3	2,583
164	39,6	102,3	2,583	252	39,6	102,3	2,583	171	39,6	102,3	2,583	150	44,0	102,3	2,325
179	44,0	102,3	2,325	267	44,0	102,3	2,325	186	44,0	102,3	2,325	170	44,0	102,3	2,325
200	44,0	102,3	2,325	288	44,0	102,3	2,325	206	44,0	102,3	2,325	185	39,6	102,3	2,583
215	39,6	102,3	2,583	318	39,6	102,3	2,583	221	39,6	102,3	2,583	200	33,0	102,3	3,100
230	33,0	102,3	3,100	348	33,0	102,3	3,100	236	33,0	102,3	3,100	215	26,4	102,3	3,875
245	26,4	102,3	3,875	378	26,4	102,3	3,875	251	26,4	102,3	3,875	230	19,8	88,79	4,484
260	19,8	102,3	5,167	408	19,8	102,3	5,167	266	19,8	102,3	5,167	245	13,2	72,32	5,479
275	13,2	102,3	7,750	438	13,2	102,3	7,750	281	13,2	87,84	6,655	260	6,6	48,88	7,406
290	6,6	102,3	15,501	468	6,6	76,44	11,582	296	6,6	59,86	9,070	275	3,3	31,78	9,630
305	3,3	78,97	23,931	498	3,3	54,06	16,381	311	3,3	40,12	12,157	290	2,2	24,28	11,038
320	2,2	67,25	30,569	528	2,2	44,24	20,108	326	2,2	31,25	14,205	305	1,1	13,51	12,285
335	1,1	49,09	44,630	558	1,1	30,09	27,354	341	1,1	19,11	17,372				
350	0,2	21,12	95,980	588	0,2	8,02	36,472	356	0,2	1,48	6,719				

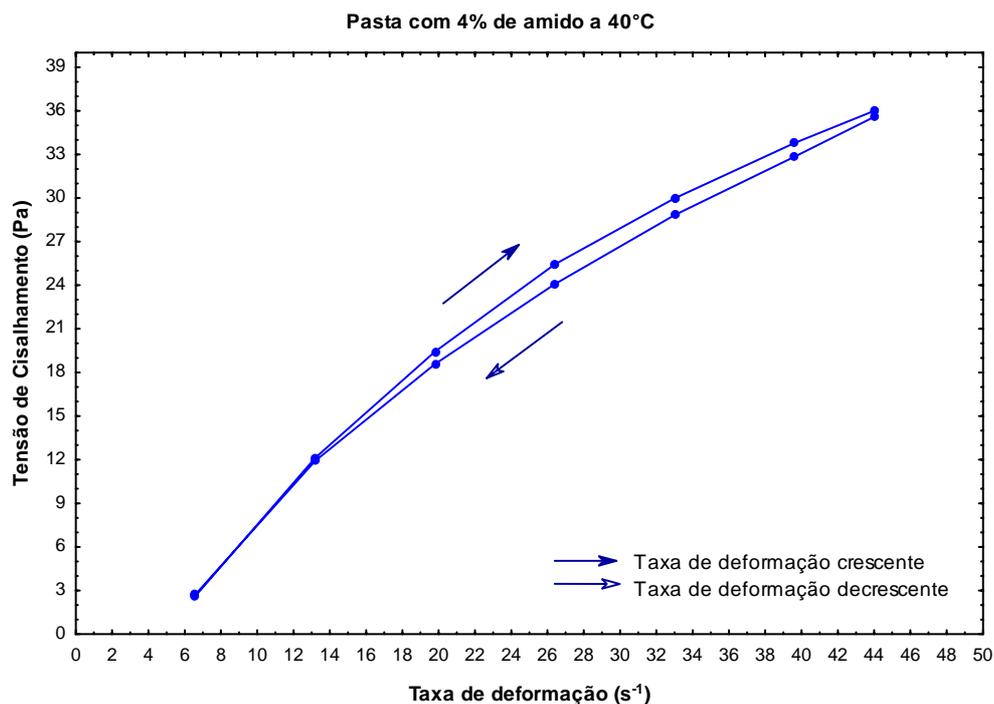


(a)

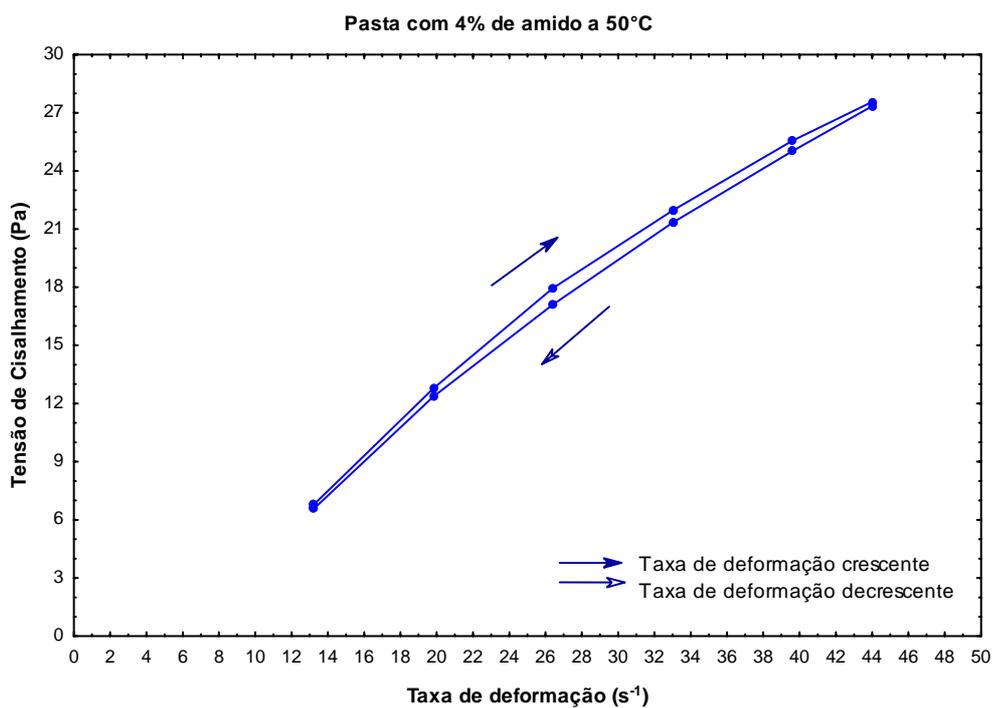


(b)

**Figura B1** - Curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, obtidas a partir dos ensaios realizados com taxas de deformação crescentes e decrescentes para a pasta com 4% de amido de inhame: (a) a 20°C e (b) a 30°C

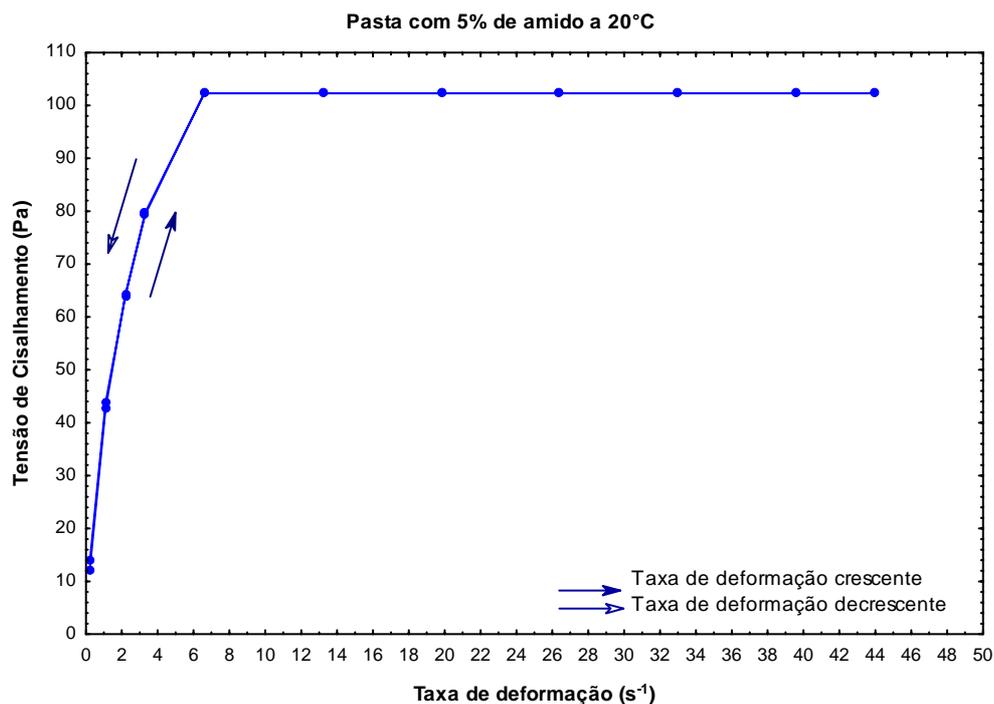


(a)

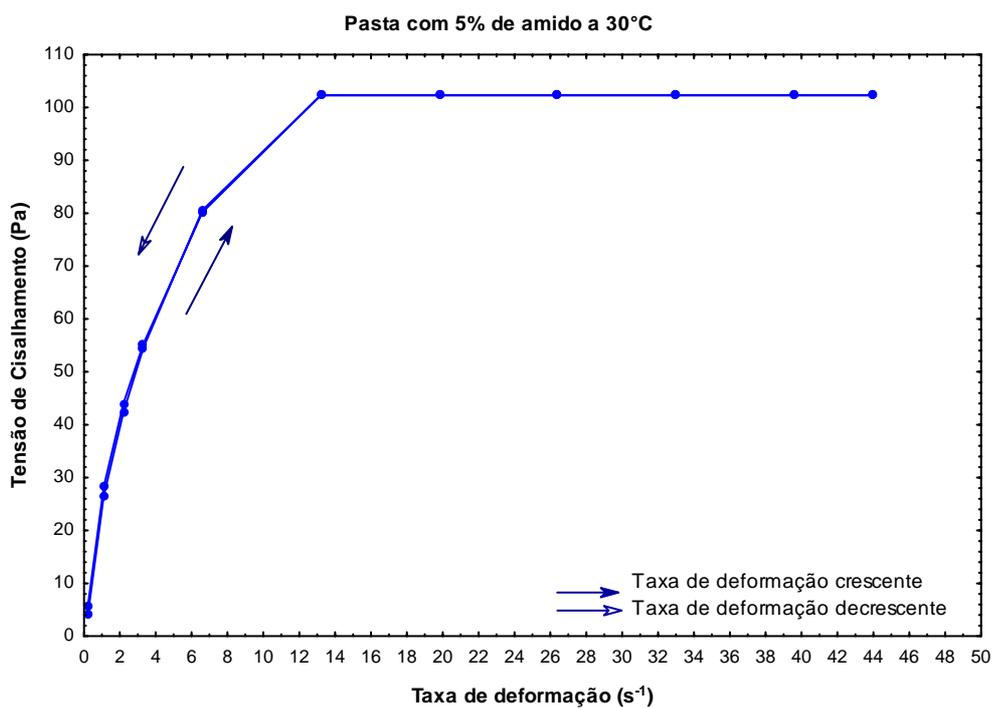


(b)

**Figura B2-** Curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, obtidas a partir dos ensaios realizados com taxas de deformação crescentes e decrescentes para a pasta com 4% de amido de inhame: (a) a 40°C e (b) a 50°C

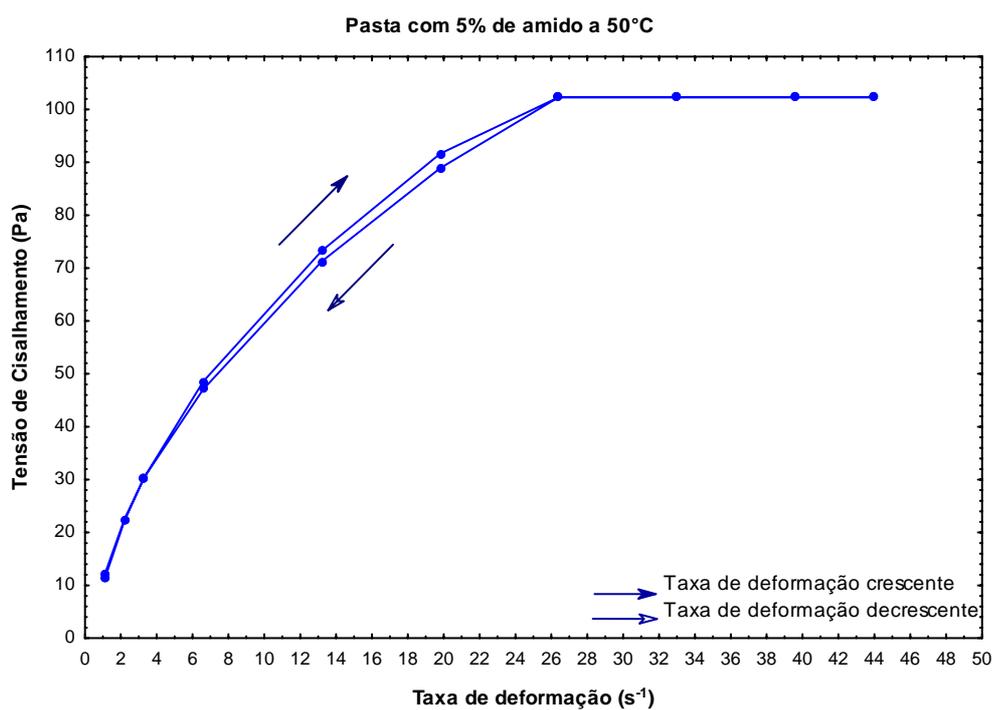
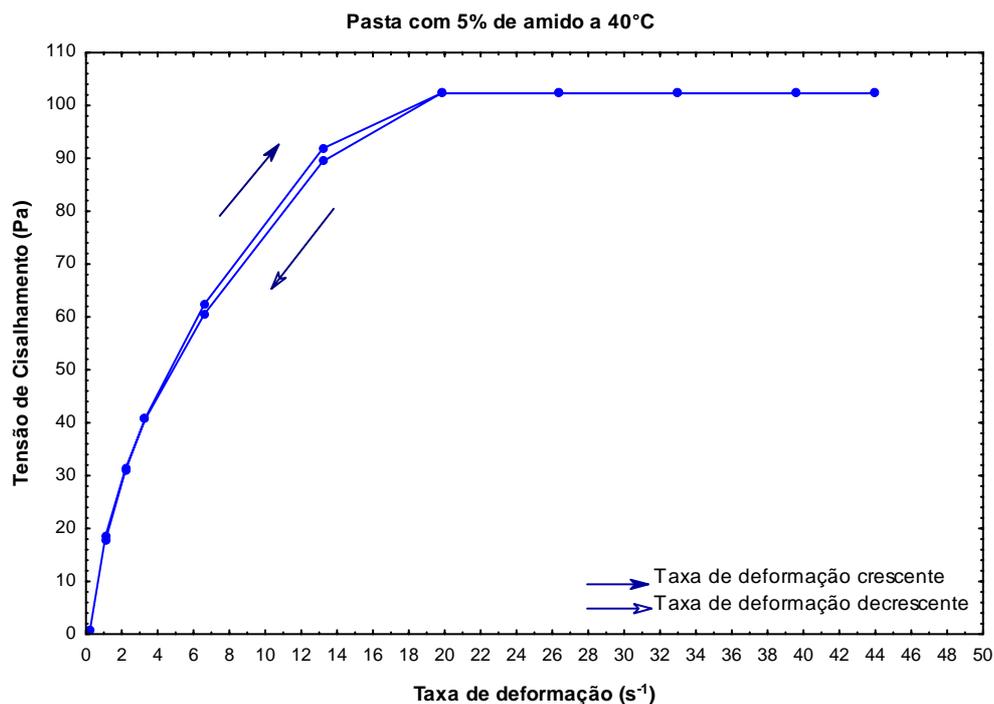


(a)

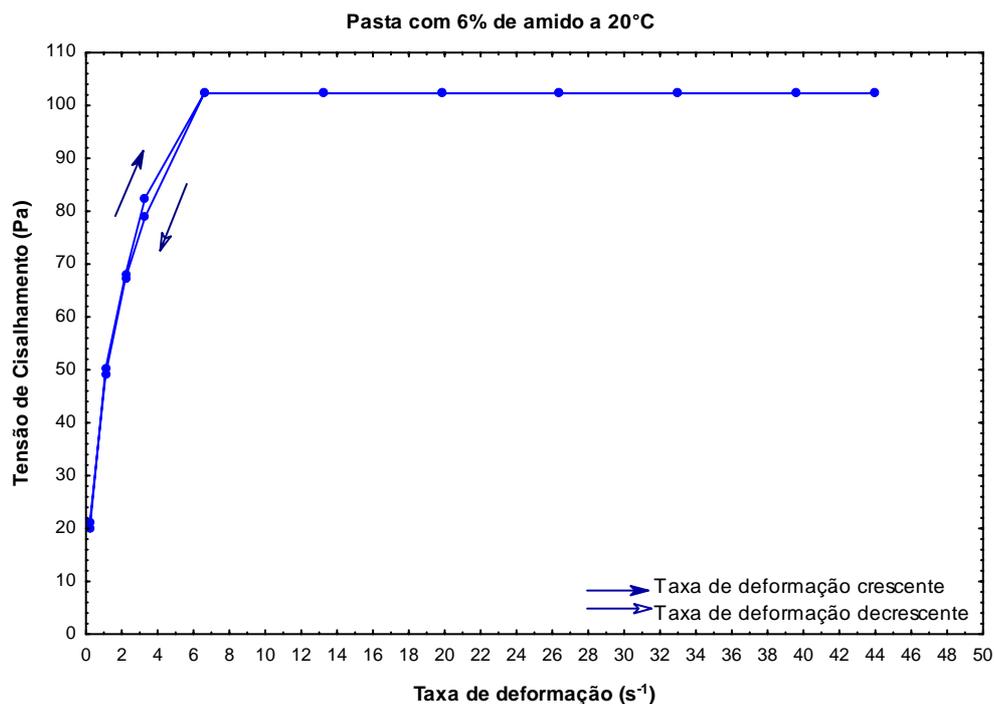


(b)

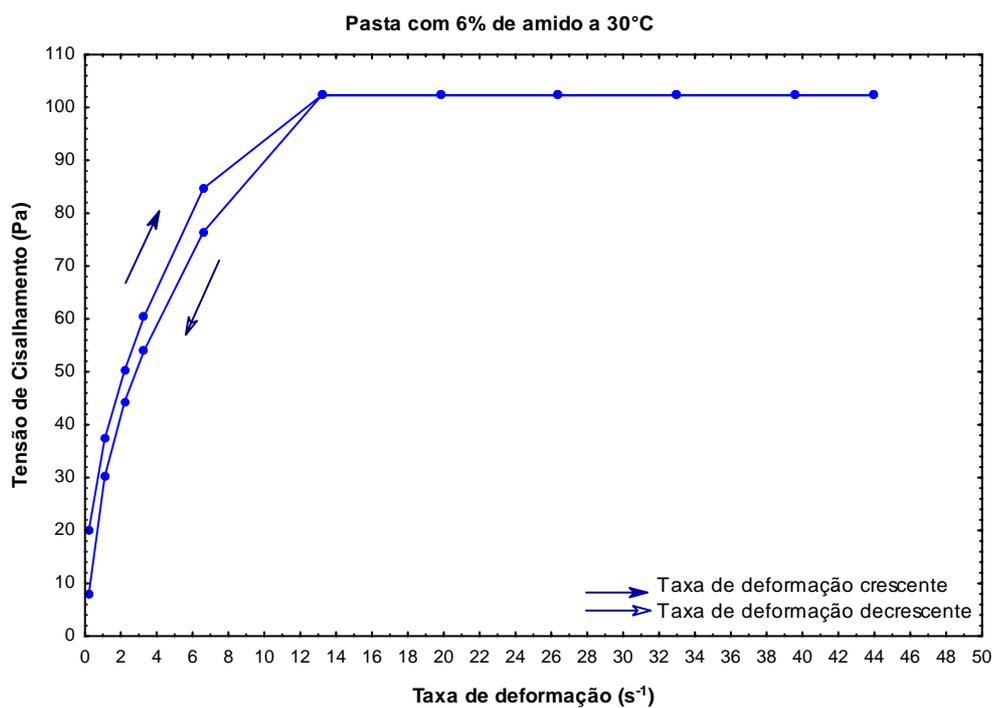
**Figura B3-** Curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, obtidas a partir dos ensaios realizados com taxas de deformação crescentes e decrescentes para a pasta com 5% de amido de inhame: (a) a 20°C e (b) a 30°C



**Figura B4-** Curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, obtidas a partir dos ensaios realizados com taxas de deformação crescentes e decrescentes para a pasta com 5% de amido de inhame: (a) a 40°C e (b) a 50°C

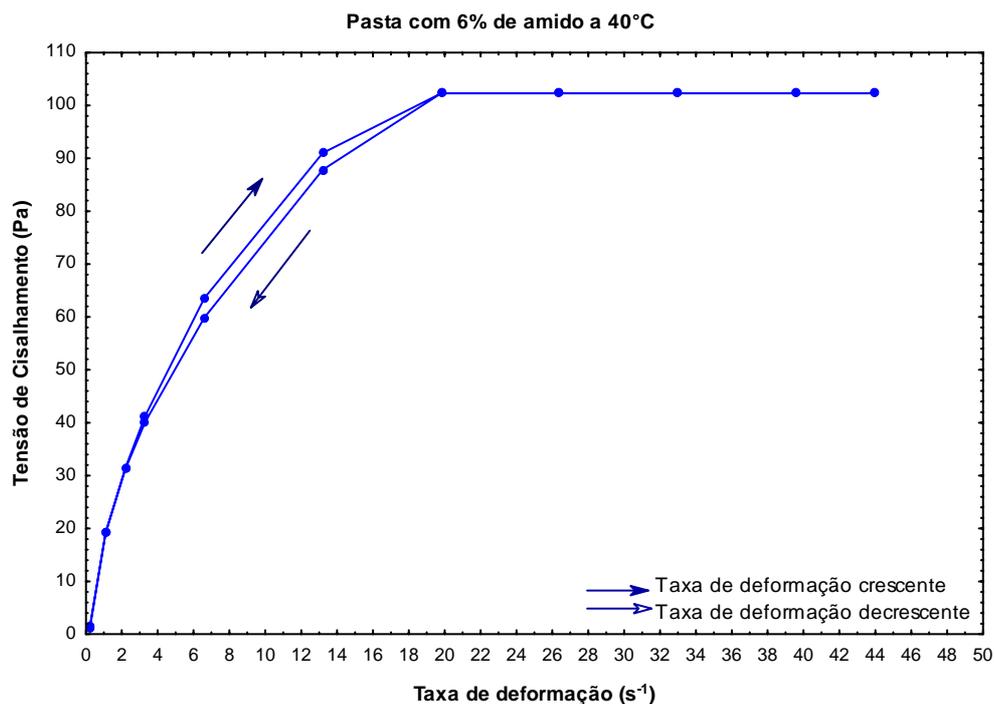


(a)

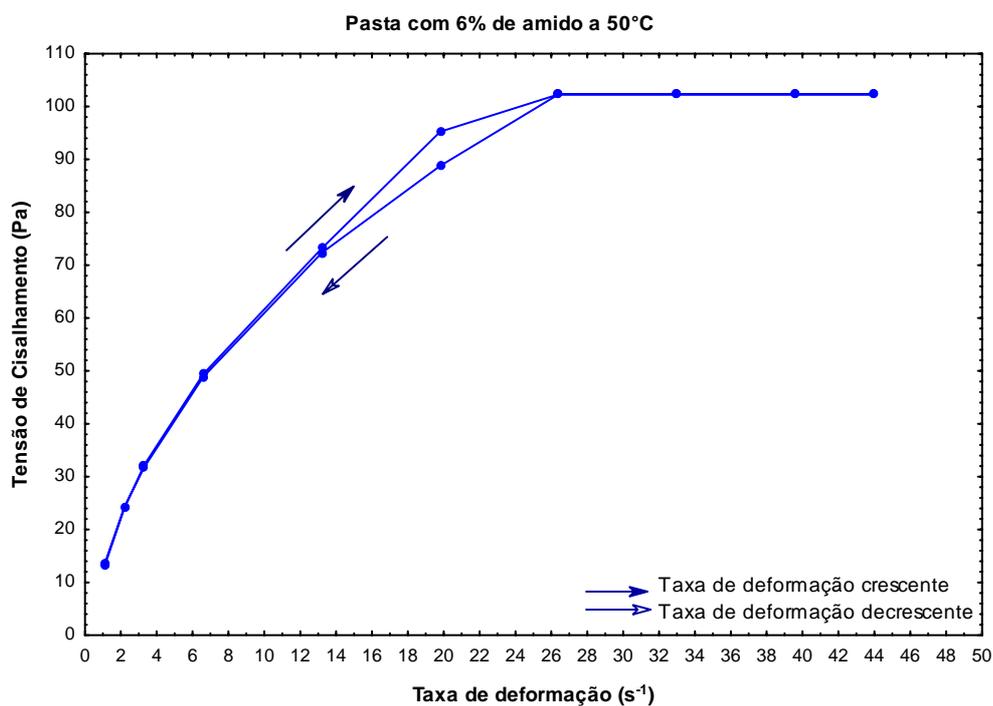


(b)

**Figura B5-** Curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, obtidas a partir dos ensaios realizados com taxas de deformação crescentes e decrescentes para a pasta com 6% de amido de inhame: (a) a 20°C e (b) a 30°C

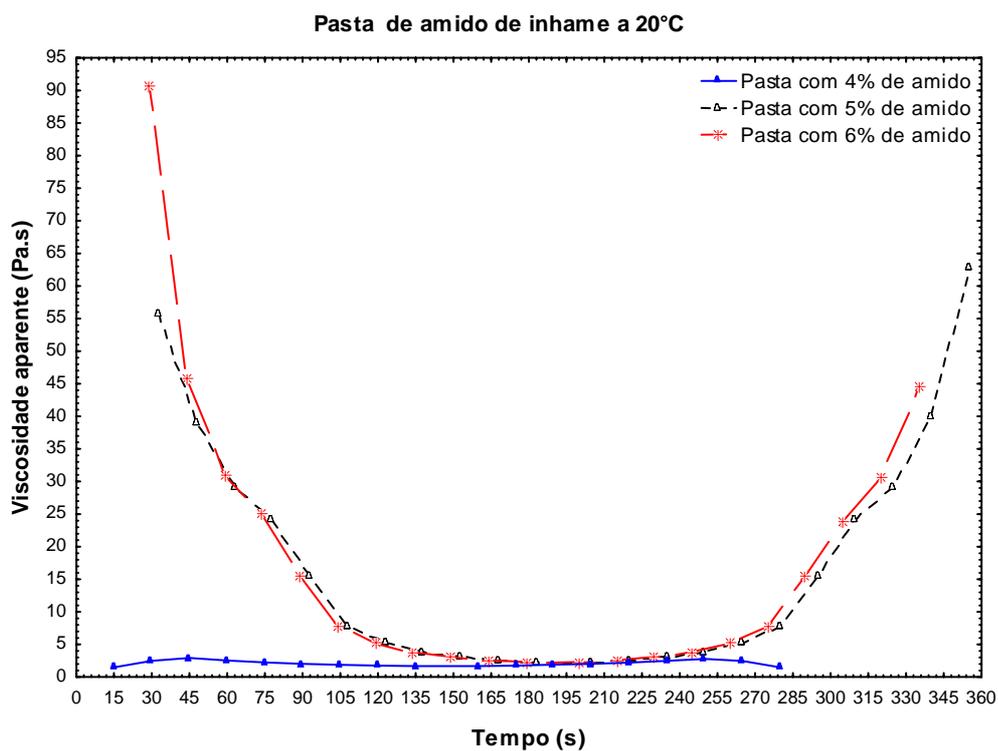


(a)

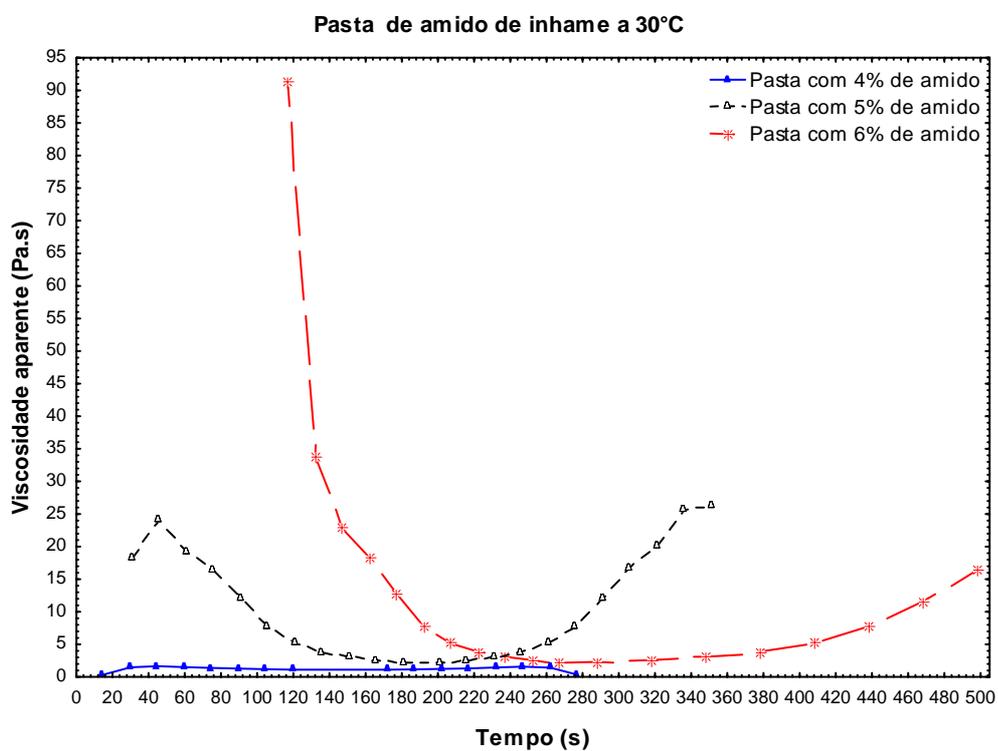


(b)

**Figura B6-** Curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, obtidas a partir dos ensaios realizados com taxas de deformação crescentes e decrescentes para a pasta com 6% de amido de inhame: (a) a 40°C e (b) a 50°C

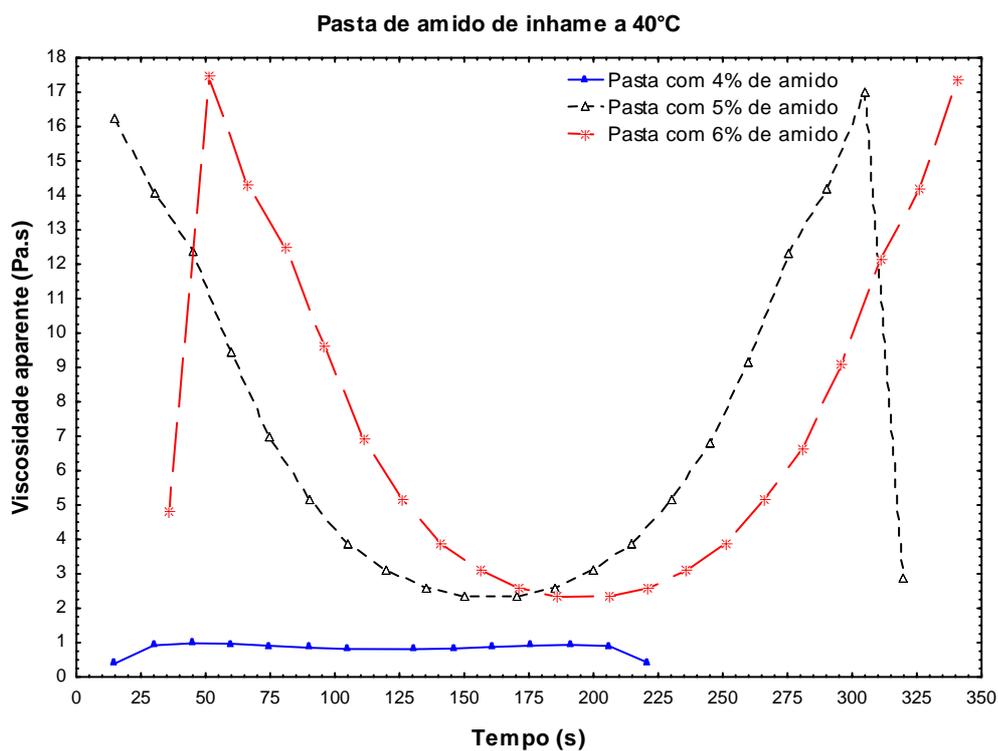


(a)

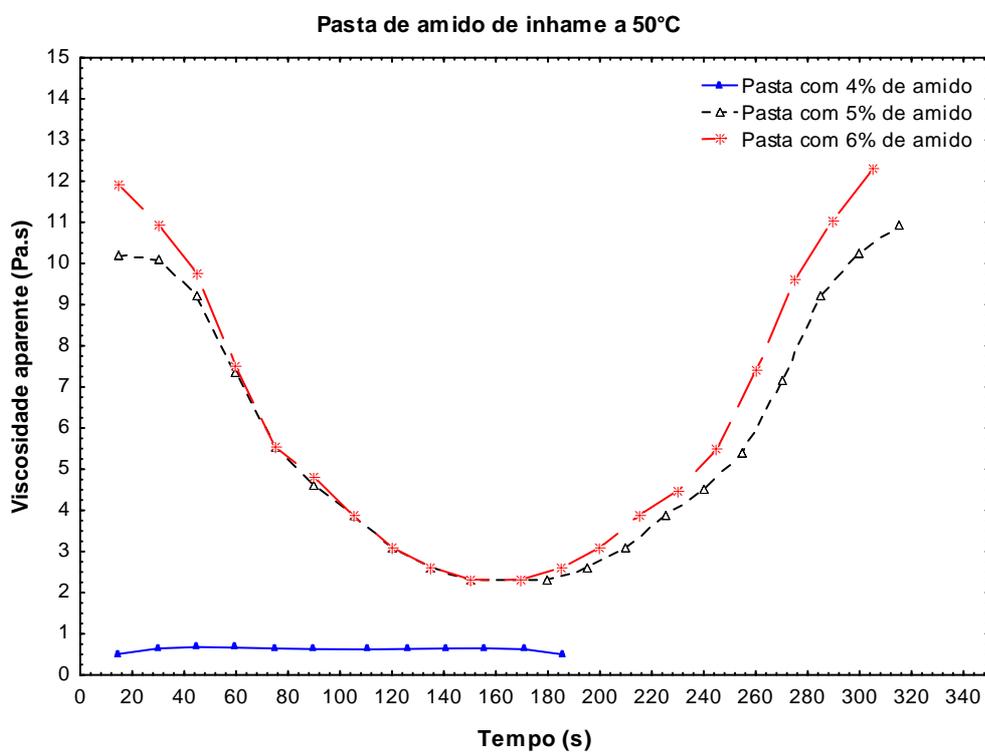


(b)

**Figura B7-** Efeito do tempo de cisalhamento sobre a viscosidade aparente para a pasta com 4, 5 e 6% de amido de inhame: (a) a 20°C e (b) a 30°C



(a)



(b)

**Figura B8-** Efeito do tempo de cisalhamento sobre a viscosidade aparente para a pasta com 4, 5 e 6% de amido de inhame: (a) a 40°C e (b) a 50°C

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)