



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA QUÍMICA

TRABALHO DE LICENCIATURA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E FUNCIONAL DO AMIDO EXTRAÍDO DA FARINHA DE MANDIOCA



Autor: Filipe Alberto Chemane

Supervisor: Prof. Dr.^a Eng.^a Maria Eduardo

Co- Supervisor: Prof. Dr. Eng.º António Cumbane

MAPUTO, 2017

**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA QUÍMICA**

TRABALHO DE LICENCIATURA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E FUNCIONAL DO AMIDO EXTRAÍDO DA FARINHA DE MANDIOCA

Autor: Filipe Alberto Chemane

Supervisor: Prof. Dr.^a Eng.^a Maria Eduardo

Co- Supervisor: Prof. Dr. Eng.º António Cumbane

MAPUTO, 2017

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante Filipe Alberto Chemane entregou no dia ___/___/2017 as 5 cópias do relatório do seu trabalho de licenciatura com a referência_____ intitulado:

Caracterização físico-química e funcional do amido extraído da farinha de mandioca

Maputo ___ de _____ de 2017

O Chefe do Departamento

Prof. Dr. Eng°. Borges Chambal

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Filipe Alberto Chemane, declaro por minha honra que o presente trabalho de Licenciatura foi inteiramente por mim elaborado. O autor não recorreu em quaisquer outras circunstâncias a fontes que não tenham sido indicadas na referência bibliográfica, e todas as formulações e conceitos utilizados quer adotados literalmente ou a partir das suas ocorrências originais encontram-se devidamente citados e identificados.

.....
(Filipe Alberto Chemane)

Filipe Alberto Chemane

**Caracterização físico-química e funcional do amido extraído da farinha de
mandioca**

Supervisora:

.....
(Prof. Dr.^a Eng.^a Maria Eduardo)

Co-Supervisor:

.....
(Prof. Dr. Eng. António José Cumbane)

Maputo

2017

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, **Alberto Filipe Chemane** e **Ana Cavele**, que sempre foram meus grandes alicerces nesta longa caminhada, pelo amor, carinho e compreensão.

À minha Avó, **Maria Muchanga**, que em vida cuidou de mim durante a infância, pela educação e pelo incentivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus pela dádiva da vida e protecção.

A minha família, especialmente aos meus pais, que diante de tantas dificuldades, me apoiaram incontornavelmente e pelo carinho, amor e paciência. Vocês são muito especiais para mim.

A minha tia Helena Chemane, pelo seu apoio incondicional e votos de confiança.

Ao meu tio Zefanias Cavele , pelos ensinamentos e palavras sábias de como vencer a dúvida e na dúvida.

A minha supervisora Prof. Dr.^a Eng.^a Maria Eduardo, que mesmo no meio de tantas actividades e compromissos, mostrou-se apta a ajudar incansavelmente na interpretação dos resultados e por me orientar detalhadamente para a compilação do presente trabalho. Pela confiança, paciência e dedicação acima de tudo.

Ao meu co-supervisor Prof. Dr. Eng. António Cumbane, que me concedeu a oportunidade de desenvolver o título do trabalho em causa, pelo voto de confiança e orientação, o meu grandioso obrigado.

A minha noiva, Fernanda Banicel, que em momentos difíceis, de dor, angustia sempre me apoiou carinhosamente para recompor-me e ganhar auto-estima. Pelo apoio imensurável no meio académico e social, agradeço estonteadamente.

Aos meus grandes Amigos, Miguel Cumbane, Adão Massaramo, Rafael Xirinda, Samuel Tembe, Nelson Moisés e Amisio Gubande, pela vossa amizade excepcional, pelo apoio material e emocional.

Aos meus colegas em geral, amigos, particularmente Fernanda Banicel, Geraldo Marrengula, Lasten Júnior, Fernando Curima, Yoneisa Osman, Mauro Da Fátima, Manuel Mazivila, que durante a formação partilhamos os conhecimentos científicos e sociais, pela vossa humildade e apoio diante de inúmeras dificuldades, entre outros que não os citei, meu respeitoso obrigado pela vossa dilecção.

Aos Funcionários do DEQui, nomeadamente, Eng.^a Virgínia Gongole, sr. Reniel Bila, dona Nazira Chirindza, dona Kátia Safrão, Eng.^a Asmina Sulemane, dr.^a Victória

Nhanombe, pelo atendimento, pelo acompanhamento técnico e orientação nas actividades laboratoriais desenvolvidas ao longo do curso, especialmente à dr.^a Cândida Mavie que humildemente sempre disponibilizou-se para auxiliar.

A Doutora Eng.^a Irene S. de Carvalho, que durante a realização de práticas da disciplina de Laboratório de Engenharia Química II, me ensinou como desenvolver um trabalho de pesquisa digno.

Aos funcionários do laboratório da Faculdade de Veterinária, em particular, ao Eng. Dias, pela sua gentileza e humildade no apoio na realização de algumas análises químicas inseridas na presente pesquisa.

A todos que não os citei, que directa ou indirectamente contribuíram para a realização deste trabalho, o meu imenso obrigado.

Resumo

A mandioca (*Manihot esculenta crantz*) constitui uma enorme fonte de carboidratos, pelo que apresenta grande papel socioeconómico principalmente junto às populações de baixo poder económico. Além disso, este tubérculo constitui um enorme potencial para a obtenção do amido, produto amplamente utilizado pela indústria de alimentos, entre outras. Entretanto devido a rápida deterioração, o consumo da mandioca fresca e o seu processamento em amido está limitado a um curto período de tempo após a sua colheita. Em decorrência disso, o presente trabalho teve como objectivo extrair o amido da farinha de mandioca e sua posterior caracterização físico-químico e funciona. Foram determinadas características funcionais do amido, temperatura de gelatinização, densidade absoluta, poder de inchamento e índice de solubilidade. Foram, também, determinados à tendência à retrogradação (a 5°C, 28 dias) e estabilidade ao ciclo de congelamento-descongelamento e rendimento da farinha de mandioca em amido. Estas características foram comparadas às propriedades do amido da mandioca fresca, batata-doce e milho da literatura.

Os principais resultados indicaram que o rendimento do amido extraído da farinha de mandioca foi aproximadamente de 61%, e mostrou ser 3 a 4 vezes maior do que o rendimento conseguido na extracção do amido da mandioca fresca. A temperatura de gelatinização dos grânulos de amido da farinha de mandioca ocorreu na faixa de 60 - 70°C, resultado similar ao obtido com o amido de mandioca fresca. Da análise percentual da sinérese do amido da farinha de mandioca, concluiu-se que este tende a retrogradar-se a velocidade mais lenta comparativamente à velocidade dos géis de amido proveniente da mandioca fresca, batata-doce e milho. O poder de inchamento foi ligeiramente inferior ao verificado no amido de mandioca fresca. A densidade absoluta média obtida para o amido da farinha da mandioca foi de 1,476 g/cm³, similar ao amido normal (1,500 g/cm³).

Os resultados obtidos no presente estudo elucidam que mostrou que é possível obter amido a partir da farinha de mandioca com qualidade comparável ou superior ao do amido obtido da mandioca fresca utilizando tecnologia simples.

Índice

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS.....	II
RESUMO.....	IV
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	X
1. Introdução.....	1
1.1. Objectivos.....	2
1.1.1. Objectivo geral.....	2
1.1.2. Objectivos específicos.....	2
1.2. Metodologia.....	3
1.3. Justificação do estudo.....	3
2. Revisão Bibliográfica.....	4
2.1. Mandioca.....	4
2.2. Processo de obtenção do amido da mandioca.....	6
2.2.1. Preparação e lavagem da mandioca.....	7
2.2.2. Trituração.....	8
2.2.3. Extracção.....	8
2.2.4. Separação.....	9
2.2.5. Desidratação.....	9
2.2.6. Secagem.....	9
2.3. Caracterização do amido.....	9
2.3.1. Amido.....	9
2.3.2. Estrutura e composição do amido.....	11
2.4. Características físico-químicas e funcionais.....	15
2.4.1. Gelatinização.....	15

2.4.2. Retrogradação.....	17
2.4.3. Intumescimento dos Grânulos.....	20
2.4.4. Solubilidade.....	21
2.4.5. Ciclo de congelamento-descongelamento.....	22
2.5. Aplicações do amido nativo.....	23
2.6. Qualidade do amido.....	24
3. Materiais e Métodos.....	26
3.1. Matéria-prima.....	26
3.2. Métodos.....	26
3.2.1. Extracção de amido da farinha de mandioca.....	26
3.2.2. Rendimento da Farinha de mandioca em amido.....	27
3.2.2. Determinação do intervalo de temperatura de gelatinização.....	28
3.2.3. Tendência à retrogradação.....	28
3.3.4. Poder de inchamento.....	28
3.3.5. Índice de solubilidade.....	28
3.3.6. Estabilidade ao ciclo de congelamento e descongelamento.....	29
3.3.7. Densidade absoluta.....	29
3.2.8. Análise estatística.....	29
4. Análise e Discussão dos Resultados.....	30
4.1. Rendimento da extracção do amido da farinha da mandioca.....	30
4.2. Temperatura de gelatinização.....	30
4.3. Poder de inchamento e índice de solubilidade.....	33
4.5. Estabilidade ao ciclo de congelamento-descongelamento.....	35
4.6. Densidade absoluta do amido.....	37
5. Conclusões e Recomendações.....	38
5.1 Conclusões.....	38
5.2. Recomendações.....	39

6. Referências bibliográficas.....	40
Apêndices.....	i
Anexos.....	x

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ARSO	<i>African Organisation for Standardisation</i>
b.s	Base seca
DADTCO	<i>Agricultural Development & Trading Company</i>
DP	<i>Degree of polarization</i>
DSC	Calorimetria diferencial de varedura (<i>Differential scattering calorimetry</i>)
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
IS	Índice de solubilidade
INE	Instituto Nacional de estatística
Máx	Máximo
MIC	Ministério de Indústria e Comércio
Min	Mínimo
N.d	Não determinado
NMR	Ressonância magnética nuclear (<i>Nuclear magnetic resonance</i>)
PI	Poder de inchamento
RVA	Analisador visco rápido (<i>Rapid visco analyzer</i>)
R _{Ex}	Rendimento da farinha de mandioca em amido
SANS	<i>Small angle neutron scattering</i>
SBS	<i>Solid Bleached Sulfate</i>
SDS	<i>Sodium dodecil sulfate</i>
Visc	Viscosidade

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Fluxograma do processo básico de obtenção de amido da mandioca de alta qualidade.	7
Figura 2.2: Fotomicrografias de amidos..	10
Figura 2.3: Modelo do grânulo de amido	11
Figura 2.4: Estrutura molecular de amilose	12
Figura 2.5: Estrutura molecular de amilopectina.	12
Figura 2.6: A) Modelo de cachos de amilopectina. B) Representação esquemática da estrutura de amilopectina com indicação das regiões amorfas e cristalinas.	13
Figura 2.7: Susceptibilidade à retrogradação de géis de amido á 8°C.	19
Figura 2.8: Sinérese das pastas amido de 3 variedades de mandioca fresca em 5 ciclos de congelamento-descongelamento.....	23
Figura 3.1: Fluxograma do processo de obtenção do amido a partir da farinha de mandioca.	27
Figura 4.1: Fotografia do amido extraído a partir da farinha de mandioca.....	30
Figura 4.2: Fotografias do amido da farinha de mandioca capturadas do microscópio a diferentes temperaturas.....	31
Figure 4.2: Sinérese das pastas de amido em função do tempo de armazenamento a 5°C.....	32
Figura 4.3: Poder de inchamento dos granulos de amido em funcao da temperatura.	34
Figura 4.4: Índice de solubilidade do amido em função da temperatura.....	35
Figura 4.5: Sinérese das pastas de amido durante 5 ciclos de congelamento.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Composição química da mandioca por 100 g da parte comestível	6
Tabela 2.1: Composição físico-química e funcional de amido da mandioca em comparação aos amidos da batata-doce, do inhame e do milho.....	14
Tabela 2.2: Faixa de temperatura de gelatinização de alguns amidos nativos	17
Tabela 2.3: Funções e aplicações do amido nativo	24
Tabela 2.4: Requisitos de qualidade do amido de mandioca alimentar	25

1. Introdução

A mandioca é um alimento energético e fonte de carboidratos nas regiões tropicais, sendo considerado um alimento básico para milhões de pessoas. Em Moçambique, a mandioca constitui um alimento de grande relevância socioeconómica, contribuindo para impulsionar a agricultura local e a sua produção foi estimada em cerca de 12.7 milhões de toneladas, correspondendo ao ano de 2014 (FAO, 2015).

Devido ao seu elevado teor em água (cerca de 70%), a mandioca está sujeita a deterioração fisiológica, durante as primeiras 24 a 72 horas, depois de colhida, que resulta na perda da qualidade e quantidade daquele alimento e, conseqüentemente, afectando à sua comercialização e consumo. Em geral, estas perdas são estimadas em 31% calculados em 50-80% da produção bruta (MIC, 2007). Daí que a conservação da mandioca tem constituído uma preocupação constante dos produtores e indústrias de processamento da mandioca e seus derivados.

Estudos têm sido realizados visando minimizar as perdas pós-colheita da mandioca *in natura*. Ramos *et al.* (2013) avaliaram o efeito combinado de diferentes inibidores da peroxidase em raízes de mandioca *in natura*, sendo estas tratadas com soluções de ácido ascórbico, bissulfito de sódio, Na⁺-EDTA, L-cisteína e dodecil sulfato de sódio (SDS). Os autores observaram que os tratamentos aplicados foram eficientes em aumentar o tempo de prateleira dessas raízes até 4 dias. Porém, este aumento de tempo de prateleira pode provocar efeitos adversos na qualidade da mandioca devido a factores como a conversão do amido em açúcares, aliada ao facto das raízes se tornarem fibrosas (Booth *et al.*, 1976). Para minimizar este problema, a mandioca pode ser transformada em produtos tais como farinha, amido, etc., sendo o amido o derivado mais versátil e valorizado no sector industrial dada às suas diversas aplicações.

O amido é um polissacarídeo constituído por polímeros de α -D-glicose, a amilose e a amilopectina; o conhecimento da estrutura dos grânulos de amido aliado ao das suas características físico-químicas e funcionais constitui uma importante ferramenta para a valorização do potencial deste como matéria-prima para ser utilizado pela indústria (Marcon *et al.*, 2007).

Tradicionalmente, o amido é extraído das raízes de mandioca *in natura* (Fernández *et al.*, 1996), após o descasque, trituração ou desintegração para a libertação dos grânulos de amido, filtração para a separação das fibras do material solúvel, sedimentação, centrifugação e secagem. Geralmente, o processamento da mandioca deve ser efectuado de imediato após colheita, de modo a minimizar a sua deterioração, e, conseqüentemente, aumentar o tempo de vida útil da mandioca com vantagens na qualidade do produto final. Outra alternativa para contornar o problema de perdas por deterioração pós-colheita tem sido o emprego de técnicas de conservação da mandioca em forma de *chips*, que, posteriormente, podem ser utilizados para a obtenção do amido. Contudo, esta técnica apresenta desvantagens relativamente ao elevado consumo de água que, segundo Abera e Rakshit (2003), é superior a 1 m³/kg de chips (a escala laboratorial).

Na literatura existe pouca informação sobre a metodologia de transformação da farinha de mandioca em amido, bem como as suas propriedades físico-químicas e funcionais. Portanto, o objectivo geral do presente estudo foi caracterizar o amido extraído da farinha de mandioca.

1.1. Objectivos

1.1.1. Objectivo geral

O objectivo geral do presente estudo consistiu em caracterizar o amido extraído da farinha de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e avaliar as características físico-químicas e funcionais do produto final.

1.1.2. Objectivos específicos

A determinação das propriedades do amido extraído da farinha é de grande importância pois irá definir o aproveitamento final desse produto. Sendo assim, para alcançar o objectivo geral, foram definidos os seguintes objectivos específicos:

- Desenvolver o processo de extracção do amido a partir da farinha de mandioca;
- Determinar as propriedades funcionais do amido no que concerne aos parâmetros do índice de solubilidade, do poder do inchamento, da densidade absoluta e da temperatura de gelatinização;

- Determinar as propriedades da pasta do amido em relação a tendência à retrogradação, a estabilidade ao ciclo de congelamento e de descongelamento.

O conhecimento destas propriedades é de fundamental interesse uma vez que constitui um indicativo de qualidade do amido capaz de atender as exigências do mercado.

1.2. Metodologia

A realização do presente trabalho de investigação seguiu a seguinte metodologia:

- a) Revisão bibliográfica: informação obtida a partir de fontes secundárias como teses, dissertações, páginas de internet (*Google Scholar*, *Google Books*, *Springer Link*, *Bookzz*, entre outras) de temas relacionados com a extracção de amido e suas propriedades físico-químicas, térmicas e funcionais;
- b) Aquisição das amostras de farinha de mandioca;
- c) Realização das experiências de laboratório para extracção do amido e sua caracterização físico-química e funcional;
- d) Tratamento de dados através da análise estatística, utilizando a comparação das médias;
- e) Elaboração do relatório final.

1.3. Justificação do estudo

A mandioca é um produto com elevado grau de perecibilidade, pelo que esta sujeita a deterioração fisiológica após colheita, o que resulta na perda de qualidade, prejudicando os ganhos económicos do produto.

Em Moçambique, as perdas pós-colheita da mandioca correspondem em média a 31% de 50-80% da produção bruta em todo país estimada em 7 milhões toneladas (MIC, 2007). Portanto, o presente trabalho surge no âmbito da necessidade de se obter formas de conservação da mandioca para posterior processamento em amido, o que em parte resultará no aproveitamento integral daquele produto.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Mandioca

Manihot esculenta Crantz, vulgarmente conhecida como mandioca, é uma raiz originária das Américas pertencente a família das *Euphorbiaceae*. Acredita-se que esta família é composta por mais de 300 géneros e 8000 espécies. O género *Manihot* compreende 98 espécies tropicais, dos quais apenas a mandioca é cultivada para ser comercializada (Lebot, 2009). A cultura de mandioca é uma planta arbustiva de fácil adaptação, capaz de desenvolver-se até em solos mais empobrecidos, bastante resistente a doenças e pragas e às diversas variações climáticas.

A mandioca é cultivada em diversas regiões tropicais, tendo-se previsto uma produção mundial de mais de 288 milhões de toneladas de raízes frescas para o ano de 2015 (FAO, 2015). Entre os maiores produtores da mandioca destaca-se a Nigéria que ocupa o primeiro lugar com uma produção estimada em 57 milhões de toneladas, seguido pela Tailândia e Indonésia cujas produções rondam em 33.6 e 24.5 milhões de toneladas, respectivamente (FAO, 2015). De acordo com a mesma fonte, em África, Moçambique ocupa a sexta posição na produção da mandioca, atrás de Ghana e Angola que produziram cerca de 15.1 e 14.3 milhões de toneladas, respectivamente.

Em Moçambique, segundo os dados obtidos do Censo Agro-pecuário 2009-2010, o cultivo da mandioca está difundido em quase todo território nacional. A província de Nampula é o maior produtor desta cultura (29.27%), seguido da província de Zambézia (26.76%) e Inhambane (8.80%) (INE, 2011). Em 2010, o Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM) reportou a descoberta de 5 novas variedades de mandioca resistentes a doença de podridão, as quais foram atribuídas nomes moçambicanos (Eyope, Nziva, Calicanana, Okhumelela e Orera).

Sob o ponto de vista alimentar, a importância da mandioca reside essencialmente no seu elevado teor em carboidratos (30 a 35%) (Nassar, 2004), sendo por isso considerado uma das maiores fontes calóricas para cerca de 800 milhões de pessoas no mundo (Shore, 2002). Segundo Blagbrough *et al.* (2010) nas regiões tropicais, a mandioca é a quarta maior fonte de carboidratos depois do arroz, milho e cana-de-açúcar.

A mandioca serve como alimento de primeira necessidade na Ásia, América Latina e África (Balagopalan, 2002), incluindo os países em desenvolvimento, devido ao papel social que desempenha sobretudo junto às populações com baixo poder aquisitivo. Esta raiz pode ser consumida crua (*in natura*), cozida, podendo ser acompanhada de outros ingredientes ou não (Balagopalan, 2002). O mesmo autor afirma que a mandioca é, ainda, consumida sob a forma dos seus derivados tais como, farinha, rale (mandioca torrada), amido, chips, etc.

Em Moçambique, na região Norte, a mandioca é consumida *in natura*, seca e, principalmente, em forma de farinha depois de cozida (Donovan *et al.*, 2011). No centro do país, 60% da mandioca é cozida, ainda fresca, e cerca de 31% e 9% são consumidas na forma de farinha e seca, respectivamente (Tivana *et al.*, 2009; Donovan *et al.*, 2011). Já na região Sul é muito comum o consumo da mandioca fresca cozida (74%), sendo a parte restante consumida na forma de rale, farinha e seca (Donovan *et al.*, 2011).

2.1.1. Valor nutritivo da mandioca

A mandioca é constituída maioritariamente de água, seguido de amido e pequenas quantidades de proteínas, lípidos, fibras, cinzas (ou sais minerais) e compostos cianogénicos (Tabela 1.1). Dependendo da quantidade destes compostos, a mandioca pode ser subdividida em duas variedades, nomeadamente, a mandioca amarga (HCN > 100 mg/kg de mandioca fresca, base húmida) e a mandioca doce (HCN < 100 mg/kg de mandioca fresca, base húmida) (Nassar, 2004; McKey *et al.*, 2010), sendo esta variedade a mais indicada para o consumo humano. Já a variedade de mandioca amarga é destinada para o processamento, visando reduzir ou eliminar o conteúdo de ácido cianídrico (HCN) (Chiwona-Karltun *et al.*, 2000).

Tabela 1.1: Composição química da mandioca por 100 g da parte comestível

Constituintes da mandioca	Composição (g/100g)
Humidade (%)	61.8
Cinzas (g)	0.6
Proteínas (g)	1.1
Carboidratos (g)	36.2
Lípidos (g)	0.3
Fibra alimentar (g)	1.9
Cianetos totais (ppm)	85 – 600
Cálcio (mg)	15

Fonte: Taco (2006); ^a Burns *et al.*, 2012

Além da utilização da mandioca no consumo e processamento doméstico, essa raiz, actualmente, tem sido objecto de estudo por vários empreendedores em quase todo mundo para o processamento industrial, dado o interesse económico dos seus derivados. Industrialmente, a mandioca é destinada a produção de farinhas, amidos e, muito recentemente, álcool. Em Moçambique existem pequenas unidades de processamento de mandioca em farinha e uma fábrica móvel a “*Dutch Agricultural Development & Trading Company (DADTCO)*”, que processa a mandioca em “Cassava cake”, produto que é usado pela Cervejas de Moçambique para a produção da cerveja Impala (www.jornalnoticias.co.mz, 3 de Fevereiro de 2015). Assim, a viabilidade de produção a nível industrial do amido a partir da mandioca ou sua farinha seria de grande relevância para o país, visto que poderia contribuir para impulsionar o sector de agronegócios, com vantagens socioeconómicos e tecnológicos, além de garantir o aproveitamento integral da mandioca.

2.2. Processo de obtenção do amido da mandioca

O processo de obtenção de amido, independentemente da técnica utilizada, consiste basicamente na lavagem e descasque das raízes, seguida da trituração, extracção e da purificação para separação das fibras e outros componentes solúveis. Na etapa final, o amido é submetido a secagem (geralmente em “*Flash dryer*”). O processo é resumido no fluxograma 2.1.

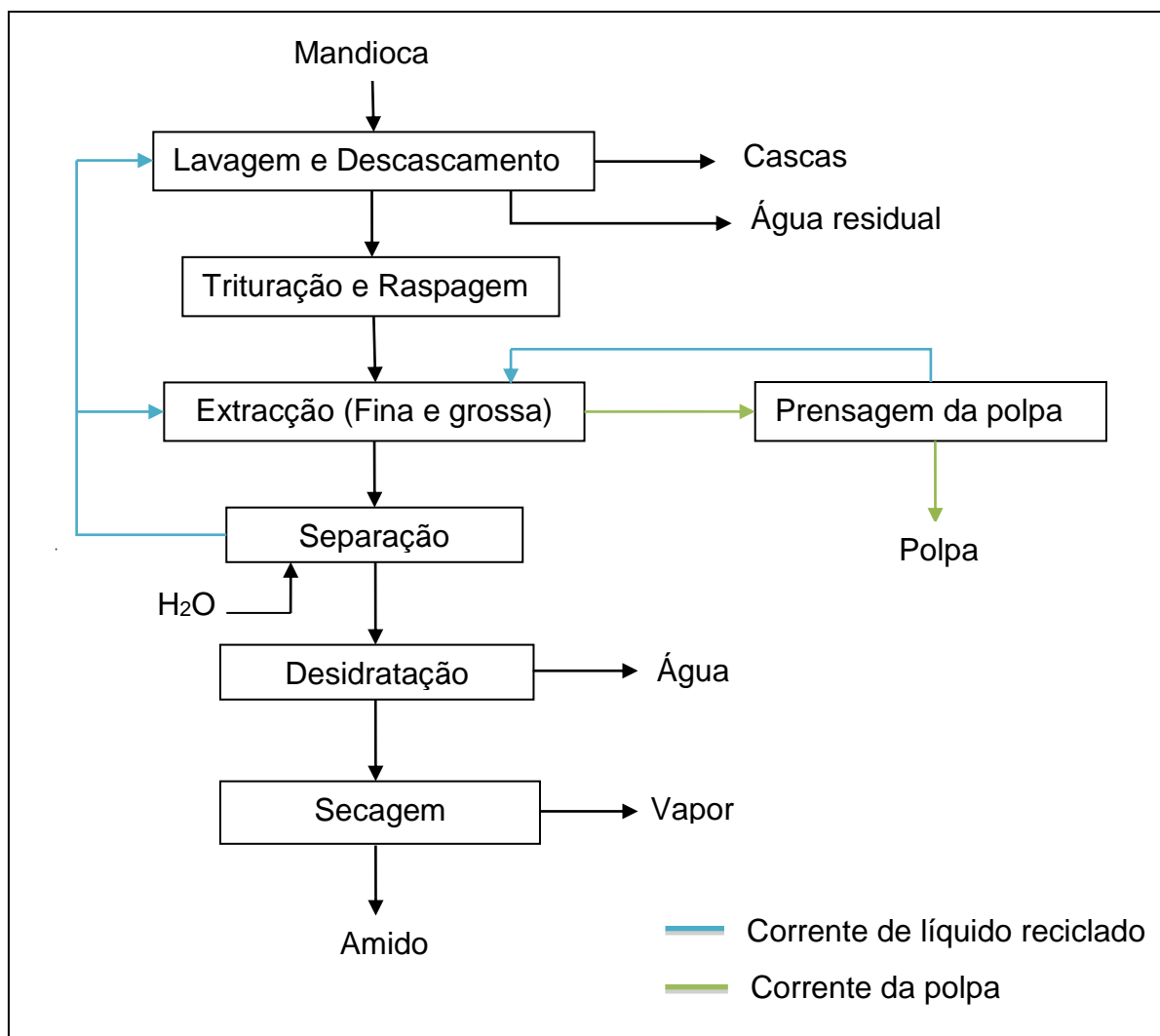


Figura 2.1: Fluxograma do processo básico de obtenção de amido da mandioca de alta qualidade (modificado a partir de Siroth *et al.*, 1998). Fonte: Breuninger *et al.* (2009).

Segundo Siroth *et al.* (2000), o processo de obtenção de amido pode ser realizado com ou sem o uso do decantador. Segundo o mesmo autor, descrevem-se, sucintamente, as etapas de produção de amido da mandioca fresca sem empregar decantador:

2.2.1. Preparação e lavagem da mandioca

A mandioca quando chega a fábrica é colocada em depósitos abertos de concreto para armazenamento a curto prazo (0 a 24 após colheita). As raízes são encaminhadas do depósito para o funil de carga (5 m³). De seguida são movidas para transportadores de corrente onde são transportadas com uma velocidade de 20 a 40 m/min. A areia, pedaços de casca quebrados e outras impurezas são removidas à medida que as

raízes de mandioca passam através de um peneiro cilíndrico (1,20 × 1,50 × 40 m). Após a peneiração, as raízes são transportadas para uma câmara de água onde são lavadas e movidas por uma pá de lâminas rodando a 10 rpm. A água utilizada para lavagem é recirculada das fases de processamento posterior.

2.2.2. Trituração

A mandioca lavada e descascada em etapas anteriores é cortada em pedaços de 1 a 2 centímetros por uma lâmina de corte a 250 rpm. Os pedaços são posteriormente alimentados gravimetricamente a uma raspadeira de dentes de serra, onde ocorre o rompimento das células e libertação dos grânulos do amido. O líquido recirculado durante o processo é alimentado na raspadeira junto com a mandioca cortada.

2.2.3. Extração

A extração do amido é feita em extractores cujo princípio de funcionamento se baseia em cones rotativos (Oviedo, 1991) providos de malhas de peneiração com abertura de 125 – 425 µm.

A suspensão obtida na raspadeira é bombeada através de uma série de extractores grossos e finos, verticais ou horizontais. Os extractores são cestas centrífugas contínuas perfuradas, com dimensões (L × C × H) de 1.14 × 1.36 × 2.10 m, operando a 800 rpm. A polpa do extractor grosso é repetidamente extraída utilizando a mesma malha (35 a 40 *mesh* ou 355 a 425 µm) usada na primeira fase de extração, até que o conteúdo mínimo de amido na polpa seja atingido. A humidade da polpa é reduzida por uma prensa de parafuso e finalmente a polpa é descartada. O teor de humidade da polpa prensada é de cerca de 60 a 70% e o teor de amido é de cerca de 45 a 55% (base seca). A pasta de amido que sai do extractor grosso contém uma grande quantidade de fibra fina que deve ser removida no extractor fino. Os extractores são equipados com um pano de filtro e uma malha com abertura de 100 (150 µm) a 120 (125 µm). A extração fina é repetida com uma malha de 140 a 200 *mesh*. A extração é normalmente completada por uma série de extractores grossos e finos.

2.2.4. Separação

A suspensão de amido obtida a partir da extracção fina tem uma concentração de 20 - 35% (10 - 17° Baumé). Esta suspensão é adicionalmente concentrada (separando água da suspensão) até 40% (20° Baumé) utilizando um separador bifásico ou trifásico ou uma série de hidrociclones.

2.2.5. Desidratação

Para produzir amido nativo, a suspensão de amido concentrada é normalmente desidratada numa centrífuga horizontal com cestos de 1.20 m de diâmetro e 0.65 m de comprimento, operado a 900 rpm. Nesta etapa obtém-se bolo de amido com um teor de humidade de 35-40%. Processos alternativos de desidratação, por exemplo, a filtração de alta pressão ou a utilização de uma prensa de filtro, são utilizados em algumas fábricas de amido para reduzir a perda de amido na corrente líquida (Breuninger *et al.* 2009).

2.2.6. Secagem

Finalmente o bolo de amido com elevada humidade (35-40%) é então enviado a um secador pneumático ("*Flash dryer*") a temperatura elevadas, na gama que varia entre 170 a 200°C, por um curto período de tempo (cerca de 6 s) para baixar o teor de humidade até 13% ou menos, antes da embalagem. Oviedo (1991) refere que alguns secadores possuem um sistema de controlo automático da humidade final que deve estar dentro dos limites de 12 – 13%, obtendo-se um produto final com granulometria fina.

2.3. Caracterização do amido

2.3.1. Amido

O amido é um carboidrato de reserva que se encontra distribuído em diversas espécies vegetais, como por exemplo em tubérculos, contendo um conteúdo em amido que varia entre 65 a 85% de peso seco (Lajolo e Menezes, 2006). Ele caracteriza-se por ser um pó branco, geralmente insípido, insolúvel em água fria, mas em água quente ele incha, formando uma suspensão coloidal.

Segundo Whistler e Daniel (1993) o amido é o único polissacarídeo produzido em pequenos agregados individuais, denominados grânulos, que são pequenas unidades relativamente densas. O amido ocorre sob a forma de grânulos microscópicos semi-cristalinos, densamente empacotados e possui uma densidade de cerca de $1,5 \text{ g/cm}^3$ (Imberty *et al.*, 1991). Este polissacarídeo é comumente encontrado nas raízes, nos tubérculos, nos cereais, nas sementes de vegetais e em algumas frutas. Pelo facto de ser facilmente hidrolisado e digerido, o amido constitui a fonte de energia mais importante na alimentação humana, representando cerca de 80 – 90 % de todos os polissacarídeos da dieta (Santacruz, 2004).

Os grânulos de amido de uma determinada fonte botânica podem ser facilmente identificados por meio de microscopia, pois possuem tamanhos e formatos diferentes (Figura 2.2).

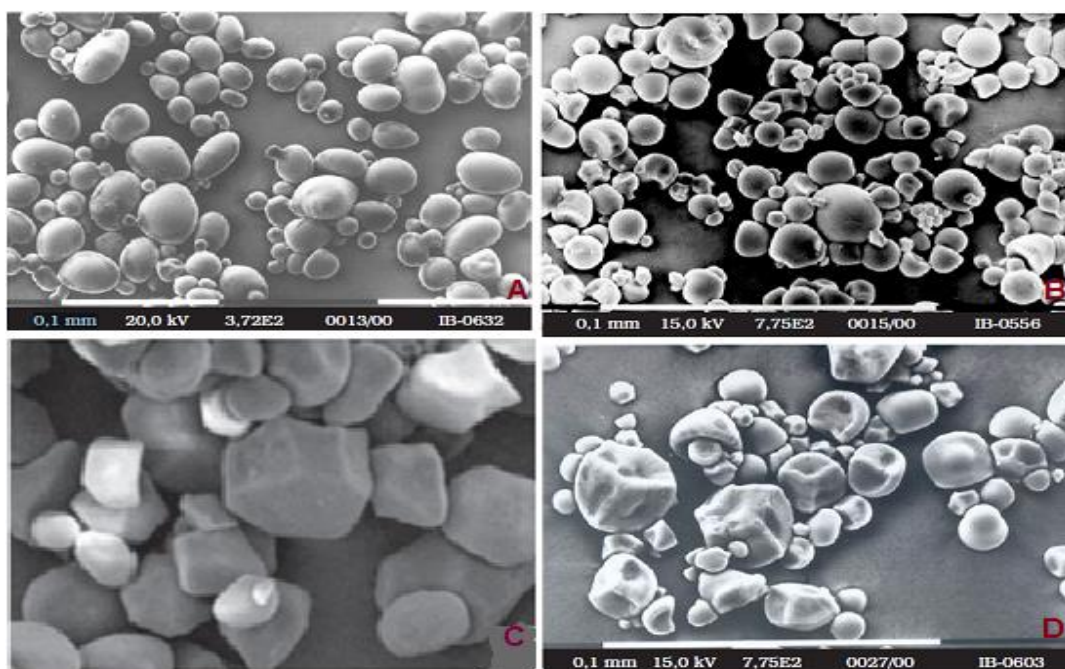


Figura 2.2: Fotomicrografias de amidos. (A) Batata; (B) Mandioca; (C) Milho; e (D) Batata-doce. Fonte: Leonel (2007).

Na forma granular, o amido pode ser isolado facilmente por sedimentação, centrifugação e filtração, e pode ser submetido a várias modificações químicas, físicas e enzimáticas, sendo posteriormente submetido ao processamento. Conseqüentemente, o amido é produzido como um dos produtos de base mais económico. Entretanto, o homem encontrou aplicações diversificadas para o amido,

que vai além da sua função original, como fonte de energia biológica, sendo utilizado, bem como seus derivados em quase todas as indústrias (Muccillo, 2009).

2.3.2. Estrutura e composição do amido

O amido é estruturalmente formado por uma mistura de dois polissacarídeos, amilose e amilopectina, ambos constituídos por unidades de α -D-glicose. De acordo com Blanshard (1987) estas duas moléculas do amido diferem entre si, quanto ao peso molecular, ao grau de polimerização das suas cadeias e a disposição dos mesmos no interior do grânulo (figura 2.3).

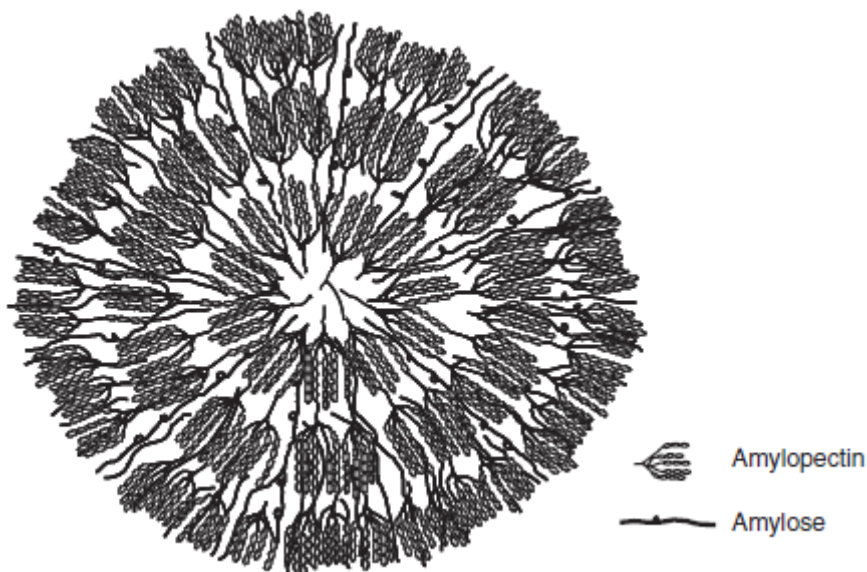


Figura 2.3: Modelo do grânulo de amido proposto por Lineback (1986)

Fonte: Jane (2009).

A amilose é um polímero essencialmente linear formada por unidades de glicose, unidas entre si por ligações glicosídicas α - (1,4) (Figura 2.4). Segundo Whistler e BeMiller (1999) pode-se dar o caso de ocorrer algumas ramificações na amilose, com ligações α -1,6 em 0,3 a 0,5% do total de ligações na molécula.

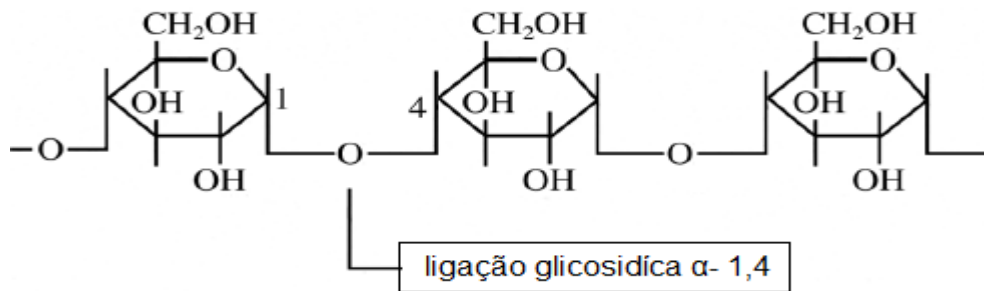


Figura 2.4: Estrutura molecular de amilose

Fonte: Cornell (2004)

A amilose contém, em média, 500 a 6000 resíduos de glicose que estão distribuídos entre 1 a 20 cadeias e, cada cadeia tem um grau de polimerização (DP) de 500. Este polímero possui um peso molecular entre 1.3×10^5 a 1.8×10^7 g/mol (Bello-perez *et al.*, 2010).

A amilose se caracteriza por apresentar uma estrutura helicoidal, na sua forma cristalina, dentro da qual é possível acomodar moléculas de iodo, formando um complexo de cor azul intenso, sendo essa reacção a base de uma das técnicas utilizadas para identificação do amido e determinação do teor de amilose (*bluevalue*) (Jane *et al.*, 1994).

A amilopectina é uma molécula de elevado peso molecular (7×10^7 a 5.7×10^9 g.mol⁻¹) (Yoo e Jane, 2002), formada por cadeias curtas de amilose conectadas entre si por ligações α- (1,6) (Figura 2.5). A cada 18 a 28 unidades de glicose da cadeia de amilose aparece uma ligação α- (1,6), e esses pontos de ligação das ramificações constituem 4 a 5% do total de ligações (Feniman, 2004).

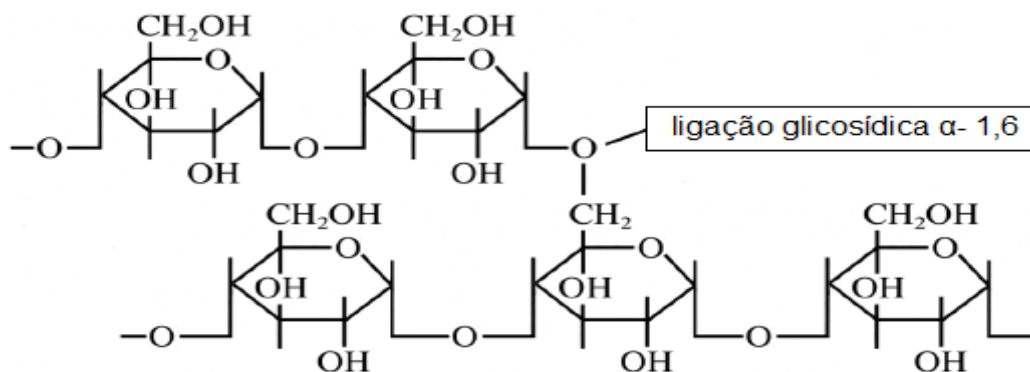


Figura 2.5: Estrutura molecular de amilopectina. Fonte: Cornell (2004)

Esquemáticamente a amilopectina pode ser representada através do “modelo de cachos (*clusters*) de amilopectina” (Figura 2.6) proposto por Nikuni (Parker e Ring 2001). A amilopectina é uma molécula altamente ramificada, constituída por três tipos de cadeias ramificadas (A, B e C). As cadeias A são as ligadas a outras cadeias (B- ou C-) pelas suas extremidades reductoras através de ligações α -D- (1,6), mas não são ramificadas. As cadeias B são as ligadas a outra cadeia B ou uma cadeia C, mas são ramificadas por cadeias A ou outras cadeias B em O-6 de uma unidade glucosídica. Cada molécula de amilopectina tem apenas uma cadeia C, que transporta a única extremidade reductora da molécula (Jane, 2009).

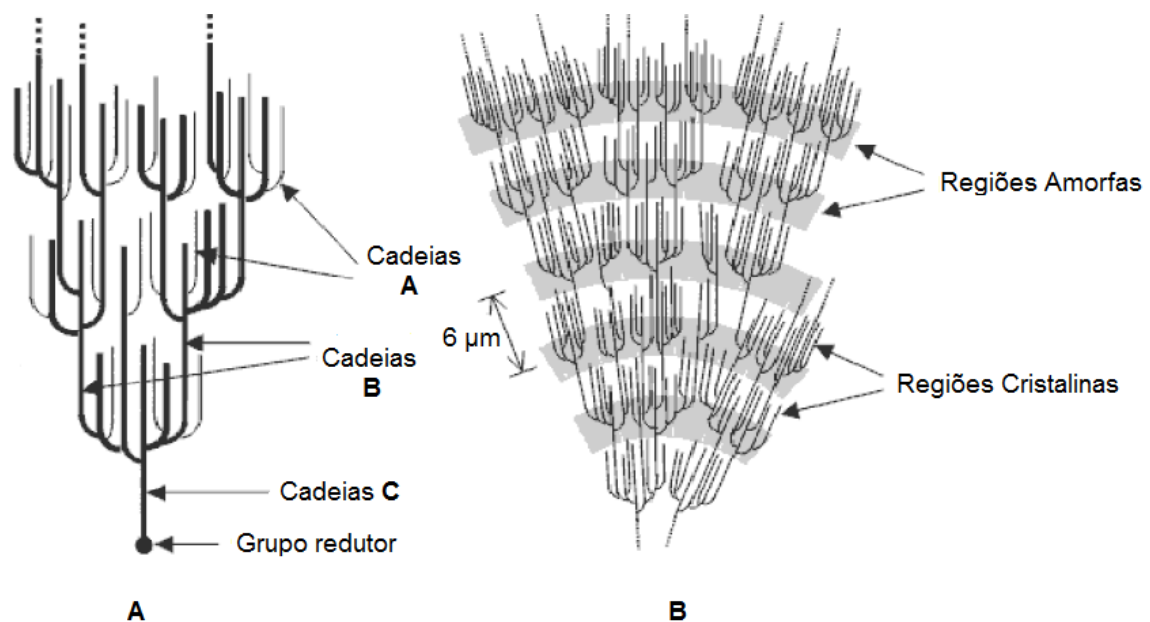


Figura 2.6: **A)** Modelo de cachos de amilopectina. **B)** Representação esquemática da estrutura de amilopectina com indicação das regiões amorfas e cristalinas.

Adaptado de Parker e Ring (2001)

Contudo, o modelo acima apresentado não é aplicável a todas amilopectinas, independentemente da fonte botânica (Muccillo, 2009).

A proporção amilose/amilopectina no grânulo de amido, e a sua organização física são responsáveis pelas propriedades físico-químicas e funcionais do amido.

A maioria dos amidos, tais como do milho normal, arroz, cevada e batata contém 70-80% de amilopectina e 20-30% de amilose (Jane, 2009), existindo algumas variedades

de milho, sorgo, cevada e arroz designadas como “waxy” ou ceroso que contêm baixos teores de amilose (0 a 8%), assim como amidos com alta quantidade do mesmo (50 a 70%) (Jane *et al.*, 1994). De acordo com Hoover (2001) o teor de amilose para amido da mandioca varia entre 18.6 a 25.6%, dependendo da variedade da planta.

O amido é composto maioritariamente de carboidratos, mas inclui, também, pequenas quantidades de substâncias como lípidos, proteínas, fibras e sais minerais. Alguns desses nutrientes conferem características desejáveis ao amido, enquanto outros afectam sua qualidade, podendo influenciar as propriedades que determinam suas aplicações industriais (Moorthy, 2002).

Segundo Cereda *et al.* (2001) citado por Amorim (2011) os cereais apresentam elevado teor de lípidos, os quais não podem ser retirados com muita facilidade na extracção, são responsáveis pela fixação da cor, desenvolvimento de aromas e complexações. Já nos amidos de raízes e tubérculos, os teores de lípidos são naturalmente baixos, o que os torna mais neutros e menos sujeitos a complexações. Nestes amidos, as proteínas também aparecem em pequenas quantidades e não influenciam nas suas propriedades funcionais. A tabela 2.1 apresenta a composição química-física e funcional de alguns amidos de mandioca em comparação aos amidos da batata, do inhame e do milho.

Tabela 2.1: Composição físico-química e funcional de amido da mandioca em comparação aos amidos da batata-doce, do inhame e do milho.

Constituintes (%)	Fonte botânica						
	Mandioca				Batata (e)	Inhame (f)	Milho (g)
	a)	b)	c)	d)			
Humidade	N.d	13.63	14.92	N.d	10.29	14.01	11.40
Proteína	0.08	N.d	0.28	0.31*	0.24	0.53*	0.73*
Lípidos	0.05	0.04	0.24	0.20	0.02	0.27	0.58
Fibra bruta	N.d	0.28	0.49	0.23	N.d	N.d	N.d
Cinzas	0.06	0.12	0.23	0.22	0.30	0.31	0.78
Fósforos	N.d	0.05	N.d	N.d	0.38	0.01	N.d

N.d - não determinado; *proteína bruta

Fonte: a) Sandoval e Quitero (2013); b) e f) Pérez *et al.* (2005); c) Nuwamanya *et al.* (2010); d) Numfor *et al.* (1995); e) Mbougoung *et al.* (2009) e g) Yousif *et al.* (2012).

As moléculas de amido são capazes de formar ligações por pontes de hidrogénio sempre que se encontrarem paralela umas às outras. Devido a este facto aparecem zonas alternadas amorfas e cristalinas (Muccillo, 2009). A cristalinidade dos grânulos de amido é atribuída à molécula de amilopectina. Já os amidos com altos teores de amilose possuem maior região amorfa. Os grânulos intactos de amido exibem três padrões de cristalinidade quando observados por meio de difracção de raios-X. A maioria dos amidos de cereais apresentam padrão A, os amidos de batata e outras tuberosas tem padrão B e leguminosas possuem padrão C (Hoseney, 1986). Quando a amilose estiver complexada com compostos orgânicos, água ou iodo, o tipo V pode aparecer.

Segundo Biliaderis (1992) as regiões cristalinas controlam o comportamento do grânulo na presença de água e o tornam mais resistente aos ataques enzimáticos e químicos. As regiões amorfas são menos densas, portanto são mais susceptíveis ao ataque enzimático e absorvem mais água em temperaturas inferiores a temperatura de gelatinização. Amorim (2011) afirma que não existe uma delimitação entre as regiões amorfas e cristalinas, o que existe são evidências de uma estrutura supramolecular onde as regiões amorfas e cristalinas são interdependentes.

2.4. Características físico-químicas e funcionais

2.4.1. Gelatinização

Quando os grânulos de amido em excesso de água são aquecidos progressivamente até atingir uma determinada temperatura ou intervalo de temperaturas em que a birrefringência (perda da organização estrutural) começa a desaparecer (Biliaderis, 2009) e ocorre a fusão dos cristais, esta temperatura designa-se por temperatura de gelatinização. Nesta temperatura ocorre o rompimento estrutural das pontes de hidrogénio mais fracas entre as cadeias de amilopectina e de amilose e os grânulos de amido nessas regiões começam a intumescer e a formar pastas com elevada viscosidade (Donald, 2004).

Segundo Thomas e Atwell (2005) gelatinização é colapso intermolecular e intramolecular (ruptura das pontes de hidrogénio) dos grânulos, acompanhada de alterações irreversíveis das propriedades tais como, inchamento dos grânulos, fusão dos cristais, perda de birrefringência e solubilização do amido. Baseando-se nestas

propriedades várias técnicas analíticas tem sido utilizadas para estudar o fenômeno de gelatinização dos grânulos de amido, como: calorimetria diferencial de varredura (*DSC*), ressonância magnética nuclear (*NMR*), microscopia óptica e eletrônica, cromatografia de alta resolução, a transmitância da luz, dispersão de neutrões em pequenos ângulos (*small angle neutron scattering - SANS*), medição da viscosidade da pasta obtida por viscoamilógrafos (Brabender ou *RVA*), difração de raios-X, métodos enzimáticos, etc.

Jenkins e Donald (1998) examinaram a distribuição de água dentro dos grânulos de amido observaram que o conteúdo de água aumenta primeiramente dentro do anel amorfo. Com o aquecimento progressivo, o inchamento das regiões amorfas vai provocando estresse sobre os cristais de amilopectina e este estresse fará com que as hélices duplas da amilopectina se dissociem (Donald, 2004). Em consequência disto ocorre a fusão das regiões cristalinas, evidenciada pela perda de birrefringência (perda da cruz de malta) ou pela perda de cristalinidade vista através de raios-X (Garcia *et al.*, 1996).

A perda de birrefringência é feita com auxílio de microscópio Kofler de luz polarizada munido de uma placa de aquecimento, que é um método sensível e relativamente simples (Liu & Zhao, 1990). Watson (1964) referenciado por Oviedo (1991) considera que devem ser registradas as temperaturas inicial, intermediária e final da gelatinização, que correspondem, respectivamente a 2, 50 e 98% da perda da birrefringência da população dos grânulos de amido.

Zoben e Stephen (1995) afirmam que por vezes é impossível determinar as fases de transição nos amidos pela perda de birrefringência, pois em alguns casos a birrefringência está ausente devido aos cristais serem pequenos ou casualmente orientados e também porque a birrefringência pode estar relacionada à orientação molecular nas regiões amorfas. Portanto é muito importante, no estudo da gelatinização se referir ao método que foi utilizado para registrar as alterações que ocorrem durante este fenômeno (Biliaderis, 1991).

A gelatinização depende em grande parte da estrutura molecular da amilopectina (extensão da ramificação, comprimento da cadeia, massa molecular), composição do grânulo (razão amilose/amilopectina, lipídios complexadas em cadeias de amilose e teor de fósforos) e morfologia do grânulo (relação de regiões cristalina e amorfa) (Tester,

1997). A gelatinização é também influenciada pelo pH da amostra, pela taxa de aquecimento e pelo método e tempo de secagem em que o amido foi submetido.

Geralmente os cereais gelatinizam a uma faixa de temperatura maior que dos tubérculos e raízes (Tabela 2.2). Segundo Abera & Rakshit (2003), a elevada temperatura de gelatinização dos grânulos é consequência do alto nível de cristalinidade devido ao alto teor de amilopectina, ou seja, os amidos com alto teor relativo de amilose exibem temperaturas de gelatinização relativamente menores.

Tabela 2.2: Faixa de temperatura de gelatinização de alguns amidos nativos

Fontes do amido nativo	Faixa de temperatura de gelatinização (°C) ^a
Batata	58-63-68
Milho	62-67-72
Cevada	58-61-64
Mandioca	59-64-69
Milho Ceroso	63-68-72
Arroz	68-74-78

^avalores determinados através do microscópio Kofler (inicial-intermediária-final)

Fonte: Biliaderis (2009)

2.4.2. Retrogradação

O termo retrogradação foi sugerido pela comunidade de amido, quando pesquisadores notaram que os grânulos de amido retornam à sua condição de insolubilização ao arrefecer, fenômeno verificado em pães em deterioração, pastas de amido envelhecidas, congeladas e/ou refrigeradas (Taub e Singh, 1998).

Segundo Bhao e Bergman (2004) retrogradação é o fenômeno que ocorre quando pastas de amido aquecidas são arrefecidas abaixo da temperatura de fusão dos seus cristais, provocando a reassociação das moléculas de amilose e amilopectina, que unem-se com as unidades dos grânulos de amido intumescidos formando uma estrutura ordenada com o consequente aumento da viscosidade, da firmeza do gel e endurecimento da textura. Considera-se, ainda, que a retrogradação resulta da tendência das moléculas ou de grupos de moléculas, de amido dissolvido, se unirem

umas às outras através de pontes de hidrogénio, dando formação a partículas de maior tamanho, numa tentativa de cristalização de moléculas grandes e pesadas que por essa razão precipitam (Muccillo, 2009). Esta transformação pode ser acompanhada pela libertação da água, fenómeno designado por “sinérese”.

A retrogradação é um fenómeno complexo e é influenciado por vários factores, tais como: a fonte botânica do amido, a concentração de amido na suspensão, regimes de temperatura de cozimento e arrefecimento, pH e a presença de solutos, tais como lípidos, açúcares e electrólitos (Martin *et al.*, 1991). Por exemplo, no meio ácido os amidos tendem a retrogradar, sendo este fenómeno quase inexistente no meio alcalino.

As indústrias de processamento de alimentos que utilizam amido como ingrediente têm a retrogradação como opositor, porque este fenómeno é responsável pela perda de qualidade da textura e deterioração das propriedades físicas dos alimentos durante o armazenamento (Miyazaki *et al.*, 2000). Na literatura existem vários estudos experimentais que apontam a retrogradação como um dos maiores factores que contribui para o envelhecimento do pão e outros produtos panificados (Cauvain, 2003; Taub e Singh, 1998; Martin *et al.*, 1991). Portanto, seria interessante analisar a tendência do amido à retrogradação, pois permite avaliar a estabilidade das pastas de amido durante o tempo de prateleira.

Geralmente, amidos que tendem a retrogradar perdem a claridade (tornam-se opacos) durante o armazenamento, e, a determinação da tendência à retrogradação pode ser efectuada por meio de medição de transmitância das pastas de amido na conservação sob refrigeração (Marcon *et al.*, 2007).

Actualmente o acompanhamento do fenómeno da retrogradação é feito por meio de viscoamilogramas, obtidos pelo analisador Visco Rápido (RVA), onde o índice de retrogradação é expresso pela diferença entre a viscosidade mínima após o arrefecimento da pasta e a viscosidade final, medida denominada *setback* (Muccillo, 2009)

A maior tendência a retrogradação tem sido relacionada às moléculas de amilose que, tendem a formar agregados de moléculas com outras moléculas de amilose adjacentes através de pontes de hidrogénio. O processo de retrogradação de amilose é bastante

rápido (levando horas a dias) quando comparado com a de amilopectina que pode levar dias a semanas (Zobel e Stephen, 2006).

As pastas de amido de tubérculos e raízes são menos propensas a retrogradação do que os amidos de cereais, uma vez que estes possuem teores relativamente maiores de amilose (Singh *et al.*, 2003). Sobolewska-Zielińska e Fortuna (2010) estimaram a tendência à retrogradação de amidos de várias fontes determinando diariamente a turbidez de géis de amido a 2%. As fontes com maior teor de amilose exibiram maiores valores relativos de turbidez (Figura 2.7) e, conseqüentemente, maior tendência à retrogradação.

Durante o fenômeno de retrogradação, as pastas dos amidos de milho, trigo e arroz, geralmente, formam géis opacos, contrariamente, às pastas da mandioca e batata que permanecem claras, apesar de apresentar um certo aumento da viscosidade (Oliveira, 2011). A rápida retrogradação na maioria dos casos é um processo praticamente indesejável, sobretudo nas indústrias de processamento de alimentos. Porém, para as indústrias de fabricação de plásticos biodegradáveis pode ser uma propriedade bastante útil (Zobel e Stephen., 2006)

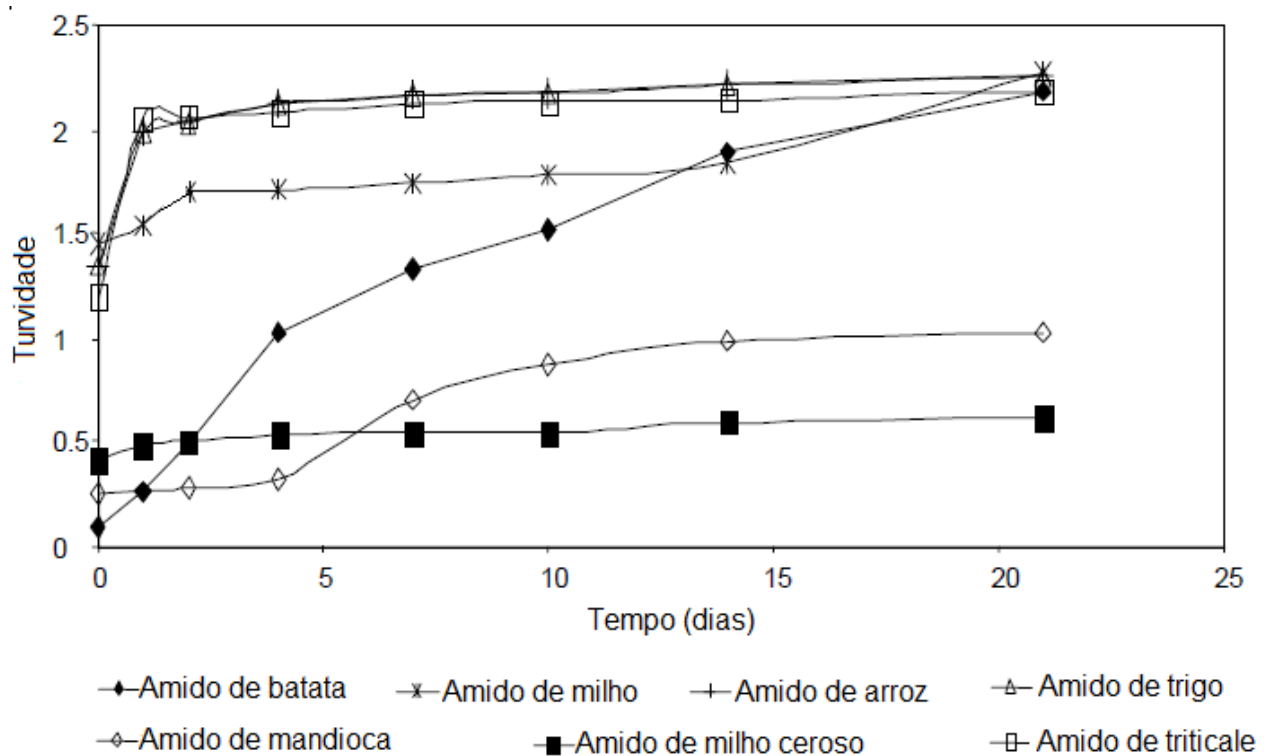


Figura 2.7: Susceptibilidade à retrogradação de géis de amido a 8°C.

Fonte: Sobolewska-Zielińska e Fortuna (2010).

2.4.3. Intumescimento dos Grânulos

Quando o amido é aquecido em excesso de água, a estrutura cristalina dos grânulos de amido é rompida (devido à quebra de ligações de hidrogénio) e as moléculas de água associam-se através de pontes de hidrogénio aos grupos hidroxilo das moléculas de amilose e amilopectina que ficam expostos (Alay e Meireles, 2015). Esta absorção de água provoca o inchamento dos grânulos (Biliaderis, 2009).

A magnitude de inchamento de uma população de grânulos do amido é determinada medindo o factor de inchamento que é referida como a relação entre o volume de grânulos inchados e o volume do amido seco (Tester e Morrison, 1990) e/ou medindo o poder de inchamento que é a razão entre a massa (em gramas) dos grânulos intumescidos e a massa (em gramas) dos grânulos do amido seco.

A diferença de expansão entre os amidos nativos tem sido atribuída à interacção dos factores tais como o tamanho dos grânulos, a cristalinidade, o conteúdo complexo amilose-lípido, e a interacção entre as cadeias de amido na região amorfa (Bertolini, 2010). A capacidade de inchamento dos grânulos é principalmente atribuída a molécula de amilopectina, sendo a amilose e lípidos factores que restringem o inchamento (Tester & Morrison, 1990).

Segundo Wong & Lilievre (1982) baseando-se em trabalhos feitos em amidos, confirmam que os grânulos menores tendem a ser mais cristalinos do que os grânulos maiores. No entanto, os grânulos menores têm maior capacidade de expansão que os grânulos relativamente maiores.

A avaliação do intumescimento dos grânulos, as vezes, tem servido de auxílio para indicar o grau de associação das ligações não covalentes entre as moléculas de amido (Moorthy *et al.*, 2012). O amido de cereais normais e de cerosos exibem curvas de inchamento e solubilidade de dois estágios, o que sugere a presença de dois tipos de forças envolvidas nas interacções entre as cadeias poliméricas que relaxam a diferentes temperaturas (Barbosa, 2013). Já o amido da mandioca apresenta taxa de inchamento uniforme a temperaturas menores (60°C - 65°C) que o amido de cereais, indicando um menor grau de associação e forças de associação mais uniforme (Oviedo, 1991).

Segundo Wong e Lilievre (1982) a diferença em características reológicas (viscosidade de ruptura e final, textura, módulo viscoso (G''), módulo de armazenamento (G'), factor de perda ($\tan \delta$), etc.) verificadas em pastas de amidos é atribuída a sua capacidade de inchamento. Por exemplo, os amidos que apresentam maior poder de inchamento, geralmente, exibem viscosidade mais alta e pastas de amido menos rígidos.

2.4.4. Solubilidade

Os grânulos de amido não são solúveis em água fria, mas podem reter pequenas quantidades de água (formando a designada cola de amido), causando um pequeno inchamento reversível (Whistler e Daniel, 1993). Contudo, os grânulos de amido tornam-se parcialmente solúveis quando aquecidos em excesso de água devido a lixiviação das moléculas de amilose para a solução.

De acordo com os estudos feitos sobre o comportamento de várias pastas de amido, observou-se que a solubilização aumenta com o aumento do teor de amilose, provavelmente devido a dificuldade de solubilização da amilopectina, que resulta na permanência da pasta na base do tubo de centrífuga (Bertolini, 2010). De um modo geral, os mesmos factores que influenciam o poder de inchamento afectam, também, a solubilidade dos grânulos. Na maior dos casos o poder de inchamento e a solubilidade aumentam com o aumento da temperatura. Porém, é preciso salientar que a redução do poder de inchamento reflecte-se na maior quantidade de material solúvel no sobrenadante.

Segundo Nunes *et al.* (2009), o amido da mandioca apresenta variações significativas do índice de solubilidade a partir de 60°C e na maior dos casos é nesta temperatura que se verifica o aumento notável do poder de inchamento. Sajeev *et al.* (2010), determinaram o índice de solubilidade de nove variedades de mandioca e obtiveram valores variando entre 14.3 a 27%. Rao *et al.* (2014) em seus estudos encontraram um valor máximo de 8.46% de solubilidade em amido de mandioca nativo. Vários autores demonstraram que valores altos do índice de solubilidade são verificados em amidos com elevados teores de amilose, uma vez que as regiões amorfas apresentam forças de ligação mais fracas.

2.4.5. Ciclo de congelamento-descongelamento

A análise de estabilidade das pastas de amido submetidos a ciclos de congelamento/descongelamento é importante para caracterizar o amido em termos da sua aplicabilidade em alimentos que devem ser armazenados sob refrigeração e/ou congelados, visto que a libertação de água (sinérese) é geralmente prejudicial à qualidade do produto final (Silva *et al.*, 2006).

A percentagem de sinérese, as vezes, serve de auxílio para estimar a tendência à retrogradação das pastas do amido submetidos ou não a refrigeração. O fenómeno de retrogradação dos amidos intensifica-se mais com a diminuição da temperatura de congelamento (Amani *et al.*, 2005).

Como já referido, a sinérese é consequência da retrogradação, portanto os aspectos fundamentais relacionados a este fenómeno podem ser correlacionados com a resistência a ciclos de congelamento/descongelamento dos géis de amido. Abera e Rakshit (2003) determinaram a estabilidade das pastas de amidos a -18°C extraídos em de 3 variedades mandioca fresca (Figura 2.8) e, verificaram que nos primeiros dois ciclos não ocorreram perdas de água acentuados. Nos ciclos subsequentes (3 – 5º ciclo), a percentagem de água libertada aumentou bruscamente em todas as pastas de amido, todavia não foram registados variações significativas entre eles. A percentagem mínima e máxima de sinérese foi verificada no 1º e 5º ciclo (0.1 e 49.6%) em pastas de amido extraído da mandioca de variedade R5. Geralmente, a quantidade de água libertada aumenta com o aumento dos ciclos (Abera e Rakshit, 2003).

Num estudo sobre a estabilidade dos géis (a 4°C e -21°C) de 21 amostras de amido de inhame obtidos de 4 espécies diferentes, Amani *et al.* (2005) observaram que estes amidos apresentavam ligeiras diferenças quando submetidos a refrigeração ou congelamento. Para as cultivares, *Dioscorea alata* e *Dioscorea cayenensis-rotundata complex*, sob refrigeração, os valores médios de sinérese mínima e máxima obtidos foram de 32 e 45%, respectivamente. Após o congelamento a sinérese mais alta (56%) foi verificada em amido de *Dioscorea dumetorum* e mínima (39%) para variedade *Dioscorea esculenta*. De acordo com este estudo a sinérese dos géis de amido aumenta progressivamente quando estes são armazenados a temperaturas inferiores a 0°C .

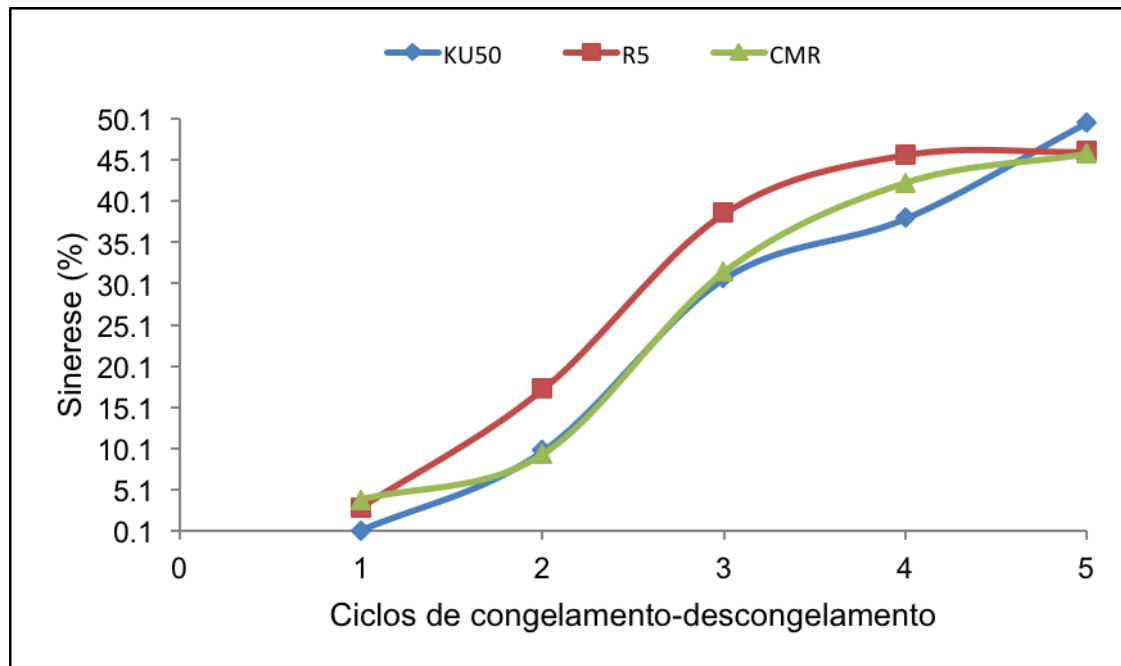


Figura 2.8: Sinérese das pastas amido de 3 variedades de mandioca fresca em 5 ciclos de congelamento-descongelamento. Fonte: Abera e Rakshit (2003).

2.5. Aplicações do amido nativo

As aplicações do amido nativo, à indústria, devem-se ao seu baixo custo, disponibilidade e capacidade de conferir uma ampla gama de propriedades funcionais aos produtos alimentares e não alimentares (BeMiller, 2007). A aplicabilidade deste polissacarídeo é determinada não apenas pelas suas características físico-químicas, mas principalmente pelas suas propriedades funcionais (Amorim, 2011). Os amidos são utilizados principalmente nas indústrias de alimentos e papel, com 57% do amido consumido nas indústrias alimentares e 43% no sector não alimentar (LMC, 2008) citado por Bertolini (2010).

Na indústria alimentar, os amidos e seus derivados são utilizados como ingredientes, componentes básicos ou aditivos de produtos (Muccillo., 2009). As aplicações dos amidos vão para além da indústria alimentar e papeleiro, podendo ser destinados a indústrias farmacêutica, têxtil, plástica, metalúrgica, de construção, etc. Na Tabela 2.3 estão apresentadas, resumidamente, as funções, aplicações do amido em algumas indústrias.

Tabela 2.3: Funções e aplicações do amido nativo

Indústria	Aplicações	Função	Autor(es)
Alimentos	Pudins, alimentos para bebês, alimentos congelados	Espessantes Estabilizantes	Bertolini (2010)
	Sopas, caldos e molhos de carne	Espessantes Emulsificantes	
	Embutidos de carne e Caramelo	Agentes ligantes	Guilbot, Mercier (1985)
	Molhos de saladas	Emulsificantes	
Papel	Papéis de impressão e escrita, papel fax, papéis de parede, papelão, placas SBS, selos de postais, etiquetas, fitas adesivas, tampas de envelopes, etc.	Espessante, ligante, floculante e auxiliar de retenção de pigmentos, dimensionamento de superfícies, etc.	Maurer (2009) e Breuninger <i>et al</i> (2009)
Têxtil	Fibras de tecidos	Aumentar a resistência do fio e resistência à abrasão durante a tecelagem	Breuninger <i>et al</i> (2009)
Metalúrgica	Flotação	Agente depressor	Moreira (2013)
Siderúrgica	Moldes	Agente ligante	Maningat <i>et al</i> (2009)
Construção civil	Revestimentos de paredes e tectos, juntas de gessos	Texturização Agentes ligantes.	

2.6. Qualidade do amido

O amido ocupa uma posição importante no dia-a-dia do homem, devido a sua versatilidade, sendo aplicado para diversos fins. A aplicação do amido nos alimentos e na indústria depende principalmente das suas características físico-químicas e suas propriedades funcionais que variam de fonte para fonte. Portanto a *African Organisation for Standardisation* (ARSO) (norma CD-ARS 846:2012) estabeleceu que todos os amidos de mandioca deveriam obedecer essencialmente certos requisitos de qualidade tais como características sensoriais, analíticas e físicas.

Tabela 2.4: Requisitos de qualidade do amido de mandioca alimentar

Características	Requisitos
Sensoriais	<ul style="list-style-type: none">- Cor branca- Insípido- Inodoro- Livre de partículas estranhas
Físicas	<ul style="list-style-type: none">- Insolúvel em água fria- Insolúvel em etanol a 96%- Granulometria, Min: 95% da massa deve passar por um crivo de 100-140 µm (0.1-0.12 mm)
Analíticas	<ul style="list-style-type: none">- Acidez total, Máx: 1.0 (%w/w)- Teor de cianetos, Máx: 10.0 (mg/kg)- Teor de amido, Min: 95 (% w/w)- Humidade, Max: 12.0 (% w/w)- Fibras, Max: 0.2 (% w/w, base seca)- Cinzas sulfatadas, Máx: 0.6 (% w/w)- Propriedade da pasta (Visc.): 33 – 34 cSTM- Cinzas insolúveis em ácido, Máx: 0.2 (% w/w)- Cloretos, Máx: 0.64 (% w/w)- PH: 5 – 7
<p>Nota: Todos os amidos que não estão em conformidade com os requisitos apresentados nesta tabela são classificados como amidos industriais.</p>	

3. Materiais e Métodos

3.1. Matéria-prima

Para a realização da presente pesquisa utilizou-se farinha de mandioca proveniente do distrito de Inharrime (província de Inhambane).

3.2. Métodos

3.2.1. Extracção de amido da farinha de mandioca

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma da extracção do amido da farinha de mandioca seguindo a metodologia descrita por Abera e Rakshit (2003), com ligeiras modificações. Adicionou-se 750 ml de água destilada em 100 g de farinha de mandioca contido no copo Becker de 2 l e após 3 horas de repouso a mistura foi filtrada através de um peneiro de 75 μm . Antes da etapa de extracção o conteúdo foi agitado para evitar a sedimentação do amido e maximizar a quantidade do amido a ser extraído. O resíduo foi misturado com 400 ml de água e filtrado, sendo esta operação repetida duas vezes. O filtrado (leite do amido) foi deixado em repouso durante 5 horas e depois submetido a decantação. O bolo de amido foi re-suspenso em 300 ml de água com a finalidade de remover partículas estranhas. Após 3 horas de sedimentação seguida de decantação o amido resultante foi seco em estufa a 45°C durante 18 horas. O amido seco (com 9,3 % de humidade) foi moído num liquidificador Kenwood e peneirado com auxílio de um peneiro (malha de 63 μm).

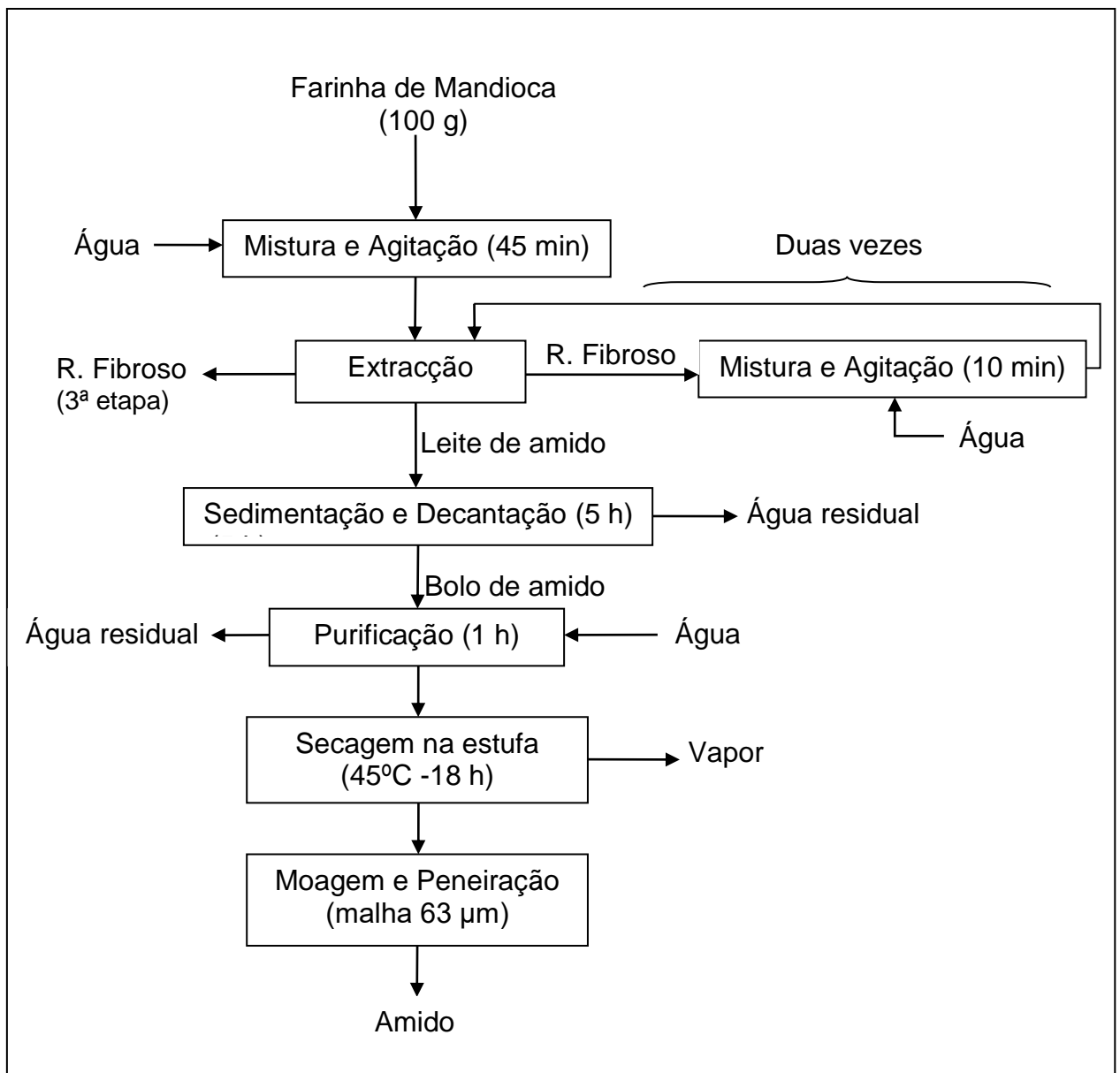


Figura 3.1: Fluxograma do processo de obtenção do amido a partir da farinha de mandioca.

3.2.2. Rendimento da Farinha de mandioca em amido

O rendimento da farinha de mandioca em amido (R_{EXt}) foi determinado de acordo com a equação 3.1.

$$R_{EX} = \frac{\text{Massa do amido seco (g)}}{\text{Massa da farinha de mandioca (g)}} * 100 \quad (3.1)$$

3.2.2. Determinação do intervalo de temperatura de gelatinização

A determinação do intervalo de temperatura de gelatinização foi feita de acordo com o método de Ratnayake e Jackson (2006) com ligeiras modificações. O método baseou-se no acompanhamento do inchamento dos grânulos de amido a diferentes temperaturas (40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80 e 85°C), tendo estas alterações sido observadas através do microscópio óptico Olympus Cx41 (modelo Japonês). O acompanhamento deste processo foi efectuado com o auxílio de uma câmara digital (marca Canon, 3.15V., pc1900., China) para a captura das imagens.

3.2.3. Tendência à retrogradação

A avaliação da tendência à retrogradação foi realizada medindo a quantidade de água libertada pela pasta de amido a 5°C, de acordo com o método descrito por Biliaderis (1982). O acompanhamento deste fenómeno foi feito durante 28 dias, determinando-se semanalmente a percentagem de água sobrenadante após a centrifugação de acordo com a equação:

$$\% \text{ Sinerese} = \frac{\text{Massa da água libertada (g)}}{\text{Massa da pasta inicial (g)}} * 100 \quad (3.2)$$

3.3.4. Poder de inchamento

O poder de inchamento (PI) foi determinado usando o método de Schoch (1964). O PI foi calculado através da equação abaixo:

$$\text{PI} = \frac{\text{Massa do precipitado (g)}}{\text{Massa da amostra na base seca (g)}} \quad (3.3)$$

3.3.5. Índice de solubilidade

Para a determinação do índice de solubilidade (IS) recorreu-se ao método referenciado em 3.2.4. O sobrenadante obtido na determinação do PI foi transferido para uma placa de petri previamente pesado e colocado a secar na estufa a 105°C até peso constante. O IS foi calculado de acordo com a equação:

$$\% \text{ IS} = \frac{\text{Massa do produto seco}}{\text{Massa da amostra na base seca}} * 100 \quad (3.4)$$

3.3.6. Estabilidade ao ciclo de congelamento e descongelamento

A estabilidade da pasta de amido ao ciclo de congelamento e descongelamento foi feita seguindo a metodologia de Bello perez *et al.* (2000). Este método consiste basicamente na determinação da percentagem de sinérese que é dada pela equação 3.2.

3.3.7. Densidade absoluta

A densidade (ρ) do amido foi determinada usando o método de deslocamento do xileno em proveta de 50 ml à 30°C. Coloca-se 10 a 15 ml do xileno na proveta. Pesa-se aproximadamente 3 g da amostra e transfere-se cuidadosamente para a proveta. O volume antes e depois da introdução da amostra deve ser lido após bater levemente na lateral da proveta de modo a eliminar bolhas de ar e ajudar o amido a assentar na base, respectivamente. O volume do amido é igual ao volume do xileno deslocado (diferença entre o volume final e inicial do xileno na proveta). A densidade através da razão da massa pelo volume. A densidade absoluta foi calculada através da seguinte expressão:

$$\rho = \frac{\text{Massa do amido (g)}}{\text{Volume do xileno deslocado(ml)}} \quad (3.5)$$

Onde:

ρ – Densidade absoluta do amido (g/ml).

3.2.8. Análise estatística

Todas as determinações dos parâmetros físico-químicas e funcionais foram realizadas em triplicado e cada valor foi expresso como média \pm desvio padrão.

4. Análise e Discussão dos Resultados

4.1. Rendimento da extracção do amido da farinha de mandioca

O rendimento de extracção obtido, expresso em percentagem, foi de $60,55\% \pm 0,46$ (~ 61 g/100 g de farinha de mandioca). Este rendimento é superior aos valores médios encontrados por Abera e Rakshit (2003) e Leonel *et al* (1998), que foram de 22,2% e 25,5%, respectivamente, para amido extraído das raízes de mandioca frescas. Os autores justificaram o baixo rendimento ter sido originado pelas perdas que variaram entre 13 a 20% durante as etapas da purificação e peneiração. Essas perdas são devidas a aglomeração de partículas finas do amido às fibras, à retenção do amido no resíduo sólido e líquido.

No presente estudo não foram consideradas as perdas do amido durante o seu processamento devido a dificuldade de poder estimá-las. Dos resultados obtidos pode-se concluir que a tecnologia empregue para a extracção do amido da farinha de mandioca pode ser considerado viável se utilizado a nível industrial comparativamente ao processo actualmente utilizado.



Figura 4.1: Fotografia do amido extraído da farinha de mandioca

4.2. Temperatura de gelatinização

A gelatinização é um fenómeno que ocorre nos grânulos de amido quando são aquecidos em excesso de água até perda da cristalinidade e/ou de birrefringência acompanhada de inchamento irreversível. A figura 4.2 apresenta as fotografias do amido de farinha de mandioca, após o aquecimento na faixa de temperatura que variou de 40 a 75°C, capturadas no microscópio óptico. Durante o aquecimento os grânulos permaneceram intactos até 50°C. O inchamento dos grânulos iniciou na faixa de 55 –

60°C, porém foi a $60 \pm 1^\circ\text{C}$ que se verificou fisicamente o aumento da viscosidade, o que caracterizou o início da gelatinização do amido obtido da farinha de mandioca. Resultados similares foram obtidos por Tulyathan *et al.* (2006) e Pérez *et al.* (2005) em amido de mandioca fresca.

A 65°C observou-se um aumento acentuado dos grânulos do amido e pouquíssimos grânulos intactos, indicação de que um pouco mais de 50% dos grânulos foram gelatinizados. Muccillo (2009) afirmou que geralmente, os grânulos maiores são os primeiros a gelatinizar, e só depois os menores. A desorganização da estrutura molecular dos grânulos torna-se mais evidente na faixa de $70 - 75^\circ\text{C}$, tendo sido verificado fusão completa dos cristais na faixa dos $80 - 90^\circ\text{C}$ (Apêndice A₃). Santos *et al.* (2015) reportaram que as temperaturas de gelatinização do amido de mandioca estão na faixa de ($55 - 70^\circ\text{C}$), similarmente ao que foi encontrado neste trabalho ($60 - 70^\circ\text{C}$), que corresponde a uma variação da ordem dos $\pm 10^\circ\text{C}$, independentemente da fonte botânica (Tabela 2.2).

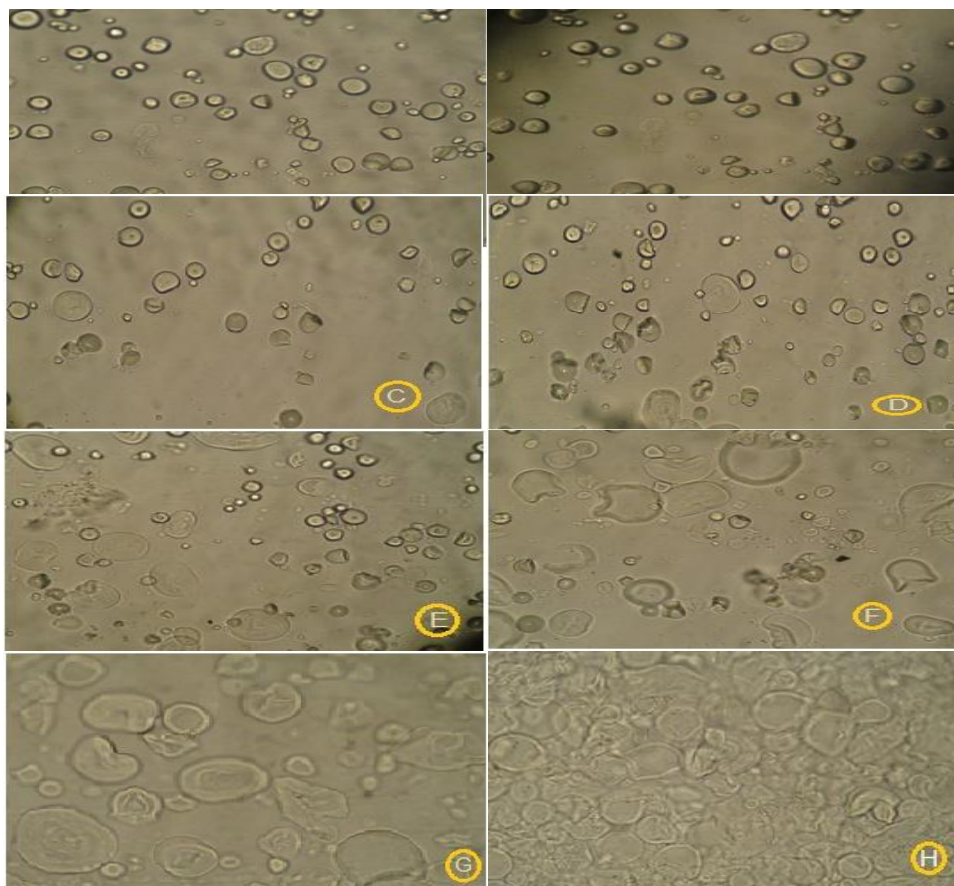


Figura 4.2: Fotografias do amido da farinha de mandioca capturadas do microscópio a diferentes temperaturas (A: 40°C ; B: 45°C ; C: 50°C ; D: 55°C ; E: 60°C ; F: 65°C ; G: 70°C e H: 75°C).

4.2. Tendência à retrogradação

A sinérese representa a quantidade de água libertada pela pasta de amido durante o armazenamento. A separação da água dos géis resulta da tentativa de recristalização das moléculas de amido durante o arrefecimento, processo denominado retrogradação. Portanto, a sinérese por vezes serve de auxílio para estimar a tendência à retrogradação. A Figura 4.3 apresenta os resultados da sinérese dos géis de amido (5%, w/w) conservados a 5°C durante 4 semanas (28 dias).

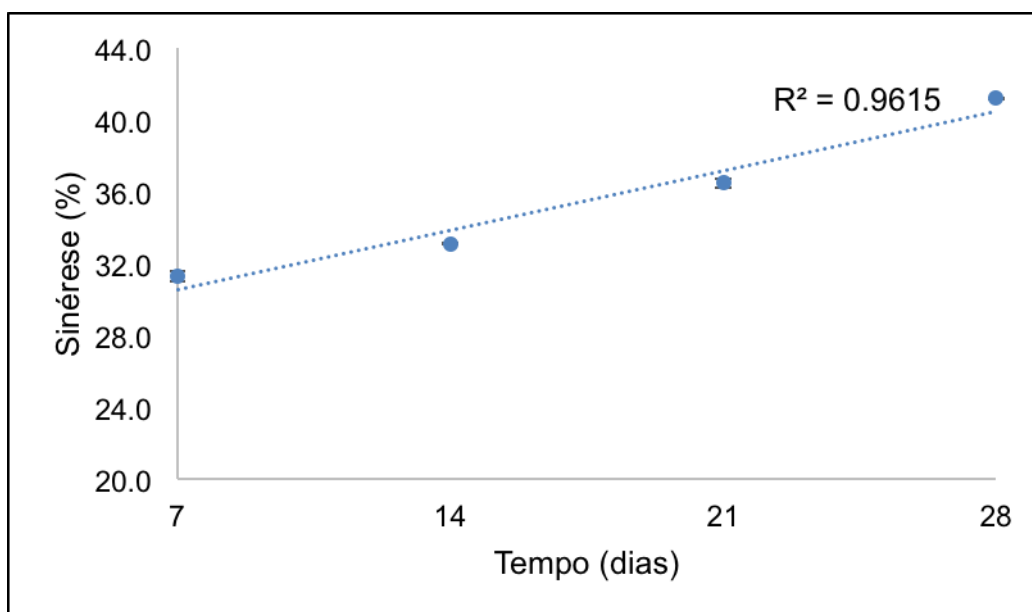


Figura 4.3: Sinérese das pastas de amido em função do tempo de armazenamento a 5°C

Da figura 4.3 observa-se que a sinérese aumentou com o tempo de armazenamento. Verifica-se, também, que comparativamente ao 7º dia, este aumento da sinérese foi, respectivamente, de 1,8% (14º dia), 5,2% (21º dia), e atingiu 9,9% no 28º dia.

Os resultados reportados por Chinma *et al.* (2011) para o amido de mandioca fresca, no mesmo período de tempo, variaram de 6,5 a 24%. Portanto, os valores elevados da sinérese obtidos, no presente estudo, podem ter sido influenciados pela elevada quantidade de água não retida pelos grânulos de amido da farinha de mandioca, indicando uma fraca capacidade de absorção da água, durante o aquecimento em excesso de água, durante 30 min. Esse resultado pode ser atribuído a diferença de protocolos usados para determinação da sinérese e também provavelmente, ser associada a presença de grânulos danificados na preparação da matéria-prima e na

moagem do próprio amido. Verifica-se, ainda, que a variação da sinérese foi de 10% para as pastas de amido da farinha de mandioca, comparativamente ao resultado observado por Chinma *et al.* (2011), que foi de 17%.

Miyazaki *et al.* (2000) obtiveram para o amido de batata-doce (11,1 – 31,3%) e Sandhu e Singh (2007) obtiveram para o amido de milho (40 – 60%). Pelo que se pode notar a variação de sinérese obtida neste trabalho foi relativamente baixo quando comparado aos obtidos por outros autores, indicando que os géis de amido de farinha de mandioca possuem relativamente, baixa tendência a retrogradação.

Do gráfico 4.3 observa-se, ainda, que a sinérese é um processo fortemente dependente do tempo ($R^2 = 0,9615$), tal como descrito por Hoover (2001) e Miyazaki *et al.* (2000). A retrogradação é um factor importante no processamento alimentar porque as propriedades físicas dos produtos se deterioram devido a este fenómeno com o passar do tempo.

4.3. Poder de inchamento e índice de solubilidade

Quando o amido é aquecido em excesso de água a estrutura cristalina é rompida e as moléculas de água ligam-se aos grupos hidroxilo expostos de amilose e amilopectina por ligação de hidrogénio. Isto causa o inchamento e solubilidade dos grânulos (Hoover, 200). A Figura 4.4 representa o gráfico do poder de inchamento do amido da farinha de mandioca obtido neste estudo e do amido de mandioca fresca obtido por Chinma *et al.* (2011). Na Figura 4.5 estão apresentados os resultados do índice de solubilidade do amido da farinha de mandioca.

Pela análise dos resultados do poder de inchamento (Figura 4.4) e do índice de solubilidade (Figura 4.5) observa-se que ambos os parâmetros aumentaram com o aumento da temperatura. O poder de inchamento do amido da farinha de mandioca variou de 2,4 a 22,8 g/g de amido (base seca), enquanto o índice de solubilidade variou de 0,6 a 9,4%. O poder de inchamento começou a aumentar significativamente a partir de 60°C (4,6 g/g de amido base seca), facto comprovado pelo aumento de diâmetro dos grânulos observado através do microscópio (Figura 4.2A).

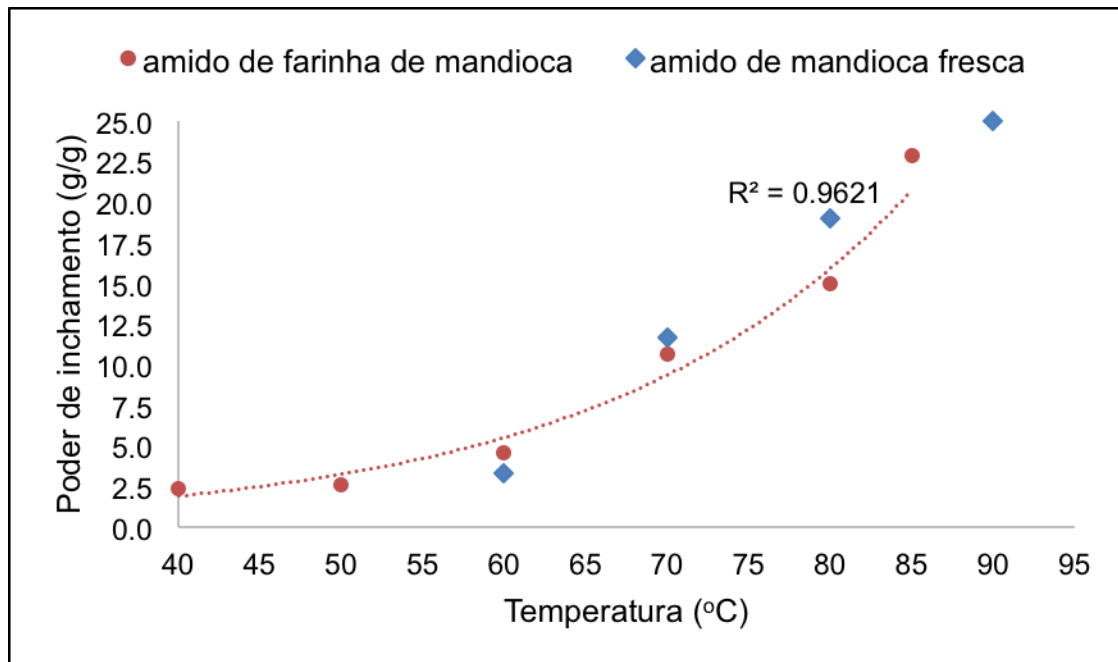


Figura 4.4: Poder de inchamento dos grânulos de amido em função da temperatura.

Os resultados obtidos no presente estudo estão próximos dos encontrados por Chinma *et al.* (2011) para o amido da mandioca fresca a 60°C (3.3 g/g de amido b.s) e 70°C (11.7 g/g de amido b.s), apresentando uma diferença de aproximadamente 5 unidades a 80°C (19 g/g de amido, b.s), mas diferem dos encontrados por Abera e Rakshit (2003) que determinaram o poder de inchamento a 85°C e encontraram valor máximo de 26 g/g para o amido de mandioca fresca. Altos valores do poder de inchamento estão relacionados com o elevado índice de cristalinidade (Nuhamanya *et al.*, 2009). Segundo Hashim *et al.* (1992), afirmaram que os grânulos de amido têm um inchamento limitado abaixo de temperatura de início de gelatinização (60 °C) e poucos grânulos passam para a solução, mas acima desta faixa, ocorre um aumento no poder de inchamento, similarmente ao que foi verificado neste trabalho.

Da Figura 4.5 observa-se, também, que a solubilização dos grânulos de amido apenas foi notável a partir dos 70°C. O resultado da solubilidade máxima obtido neste trabalho (9,4%) foi muito próximo a encontrada (8,46%) por Rao *et al.* (2014). Porém, Sajeev *et al.* (2010) reportaram valores de solubilidade do amido variando entre 14,3 - 27% em 9 variedades de mandioca fresca. Isto mostra que pouca quantidade de carboidratos e outros materiais solúveis foi libertada para a solução por parte do amido obtido. Rao *et al.* (2014) afirmaram que o baixo índice de solubilidade dos amidos também

pode estar associado a fortes interações moleculares entre as moléculas deste polissacarídeo.

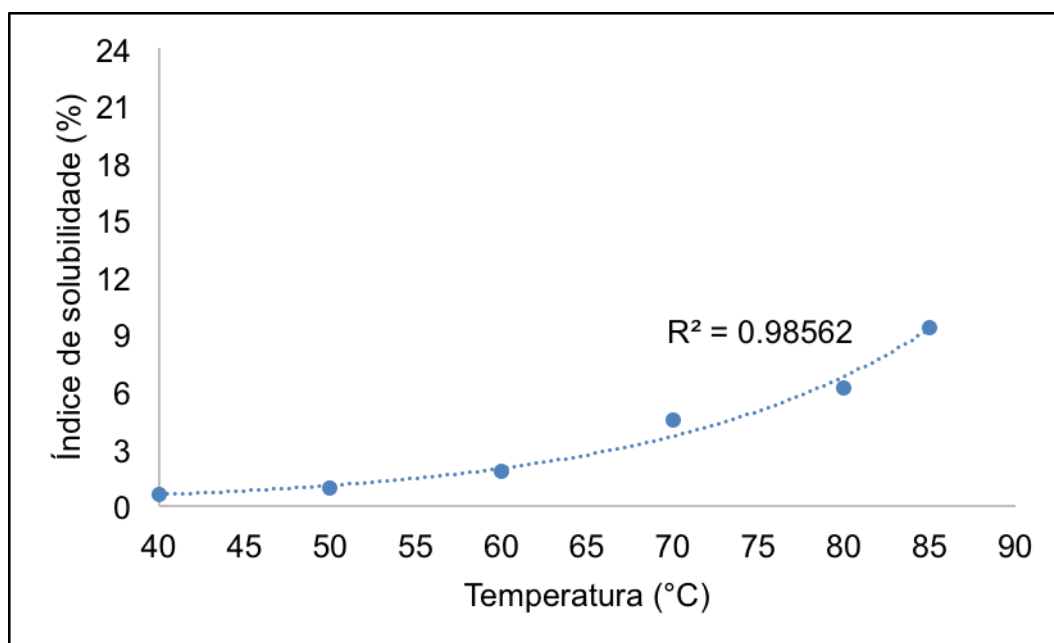


Figura 4.5: Índice de solubilidade do amido em função da temperatura.

Uma análise similar é feita para o índice de solubilidade (Figura 4.5). A solubilidade é atribuída, em grande parte, a solubilização da amilose durante a gelatinização do amido. Observa-se que o amido obtido da farinha de mandioca torna-se mais solúvel com o aumento da temperatura.

4.5. Estabilidade ao ciclo de congelamento-descongelamento

Na Figura 4.6 apresenta-se os resultados obtidos da sinérese em função do número de ciclos de congelamento-descongelamento das pastas de amido da farinha de mandioca e da mandioca fresca. É de referir que um ciclo corresponde a 18 horas de congelamento (-24°C) e 6 horas de descongelamento a temperatura do laboratório ($25 - 27^{\circ}\text{C}$) e as pastas do amido da mandioca fresca foram congeladas a -20°C .

Durante o congelamento, ocorre uma separação de fases com a formação de cristais de gelo. No descongelamento, coexistem duas fases aquosas, uma rica em amido e a outra pobre (menor quantidade de amido). Quanto maior o número de ciclos de congelamento-descongelamento, maior será a separação de fases, devido à ocorrência da retrogradação da amilopectina presente na fase aquosa, rica em amido (Takeiti *et al.*, 2007).

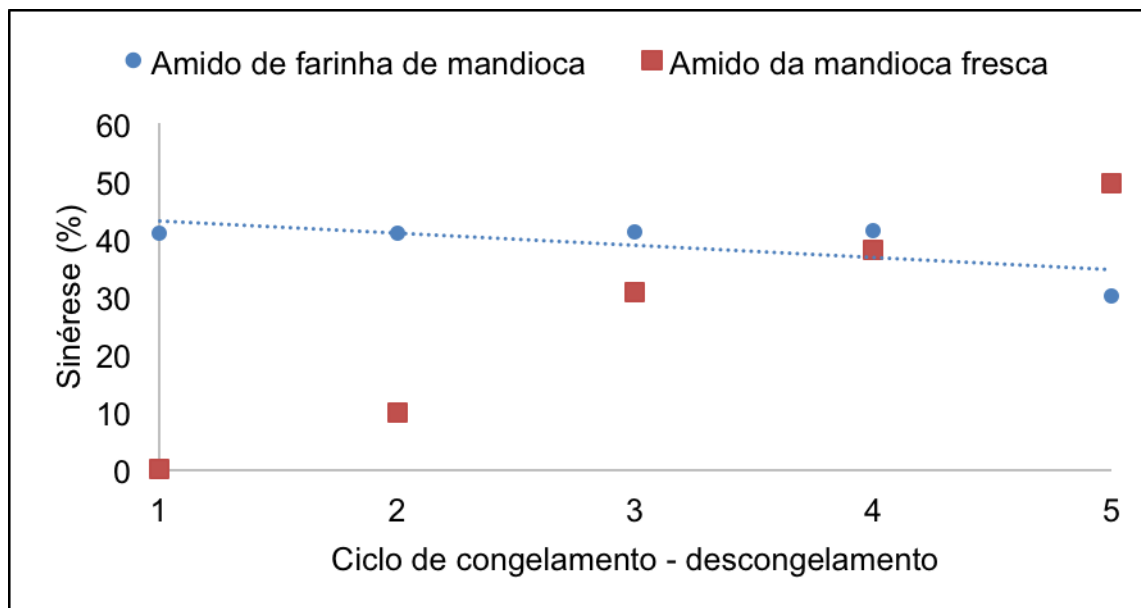


Figura 4.6: Sinérese das pastas de amido durante 5 ciclos de congelamento.

Conforme se pode observar da figura 4.6, a quantidade de água libertada aumentou até ao 4º ciclo, com taxas de aumento muito pequenos, reduzindo bruscamente no último ciclo. Esta redução na sinérese pode, possivelmente, justificar-se pelo tempo prolongado de congelamento (48 horas acima do tempo necessário).

Já foi referido anteriormente que o amido obtido possui fraca capacidade de absorção de água, o que resultou em grandes perdas de água nos primeiros 3 ciclos em relação as perdas encontrados por Abera e Rakshit (2003) em géis de amido da mandioca fresca nos ciclos análogos (Figura 4.6). Porém observou-se valores muito próximos no 4º ciclo. Os valores altos obtidos no presente trabalho estão também aliados a temperatura de congelamento mais negativa. Porém a sinérese dos géis de amido da mandioca fresca aumentou em intervalos muito estreitos comparativamente ao aumento verificado por Aberae Rakshit (2003) em géis de amido da mandioca fresca.

O valor máximo de sinérese (49.60%) verificado em géis do amido da mandioca fresca excedeu o valor máximo encontrado no presente estudo (41.32%) em 8 unidades.

Takeiti *et al.* (2007), num estudo da estabilidade dos géis (congelados a -18°C) do amido da batata-doce, reportaram valores de sinérese de 9.87, 25.29, 37.24, 36.96 e 37.41% para os cinco ciclos, respectivamente. Estes resultados mostram que os géis de amido da farinha de mandioca e do amido da mandioca são mais propensos a retrogradação quando submetidos ao congelamento. Moorthy *et al.* (2012), reportaram

que o amido da mandioca e batata-doce possuem baixa tendência à retrogradação, por conseguinte, exibem uma elevada estabilidade de pasta que é uma propriedade útil em alimentos que requerem armazenamento, especialmente os que são submetidos a operações repetidas de congelamento e descongelamento.

4.6. Densidade absoluta do amido

Os resultados da densidade do amido obtido da farinha de mandioca estão apresentados na tabela (Apêndice A₂). Neste estudo foi obtida uma densidade média de $1,476 \pm 0,001 \text{ g/cm}^3$ e com erro relativo de 0,02, indicando a proximidade deste resultado ao valor teórico, podendo este ser considerado aceitável (erro <5%).

A densidade influencia no tempo de detenção nos decantadores e/ou nas centrífugas, pois quanto maior a densidade menor será o tempo de detenção nestes equipamentos (Nunes *et al.*, 2009). Os mesmos autores, reportaram valores de densidade do amido de 3 variedades de mandioca em torno de, 1.584, 1.513 e 1.508 g/cm^3 . Estes valores são ligeiramente superiores ao valor obtido neste trabalho e esta diferença pode ser atribuída a menor quantidade de grânulos danificados no amido (Oliveira, 2011).

Os valores altos de densidade indicam que as moléculas de amido encontram-se bastante compactas. De acordo com Oliveira (2011) a densidade, às vezes, serve de auxílio para estimar a susceptibilidade à acção enzimática, ou seja, quanto maior for a compactação das moléculas na estrutura do amido, menor será a possibilidade do amido sofrer ataques enzimáticos.

5. Conclusões e Recomendações

5.1 Conclusões

A farinha de mandioca pode constituir uma óptima matéria-prima para a extracção do amido, visto que esta possui longa vida de prateleira e, ainda, proporciona melhores rendimentos do que o obtido da extracção do amido da mandioca fresca. O processo de extracção proposto no presente estudo permitiu a obtenção de um rendimento em torno de 3 a 4 vezes maior do que os rendimentos apresentados na literatura.

A partir dos resultados obtidos conclui-se que as características funcionais do amido da farinha de mandioca mostraram estar entre as características do amido da mandioca reportados por diversos autores, tendo-se verificado uma aproximação estreita quanto ao poder inchamento e o poder de inchamento encontrado por Abera e Rakshit (2003) em amido de chips de mandioca. As suspensões de amido em excesso de água apresentaram baixa temperatura de gelatinização (60 a 65°C) em relação aos amidos de cereais e de inhame.

Dos resultados da sinérese permitiu concluir que o amido da farinha de mandioca apresentou baixa tendência à retrogradação, comparativamente ao amido de outras fontes, tais como de inhame, milho e batata doce.

A temperatura influencia significativamente no poder de inchamento e índice de solubilidade, pelo que estas propriedades registaram curvas crescentes com o aumento da temperatura. Os valores do índice de solubilidade relativamente menores podem estar associados a forças associativas muito fortes no amido de farinha de mandioca ou a menores teores de amilose.

As pastas do amido da farinha de mandioca apresentaram uma estabilidade intermédia ao ciclo de congelamento-descongelamento, situada entre a estabilidade dos géis de amido de batata-doce e do milho. A avaliação da densidade permitiu concluir que o amido possui uma organização estrutural compacta, o que pode resultar em menor facilidade ao ataque enzimático.

Conclui-se portanto que as condições de processamento da farinha de mandioca a nível laboratorial para a fabricação do amido não acarretaram grandes alterações na estrutura daquele polissacarídeo, mantendo parcialmente a sua integridade, propriedades físicas e funcionais e/ou tecnológicas.

5.2. Recomendações

Apesar de se ter obtido resultados satisfatórios dos parâmetros analisados, isto não constitui um estudo cabal, havendo necessidade de se complementar o trabalho desenvolvido. Portanto, tendo vista a determinação de propriedades peculiares do amido extraído da farinha de mandioca, recomenda-se a avaliação das propriedades reológicas e do comportamento do amido em outros solventes, tais como, em dimetilsulfóxido, glicerol, etanodiol, amónia, etc.

Adicionalmente, recomenda-se a determinação dos requisitos de qualidade referenciados pela norma CD-ARS 846:2012.

Recomenda-se também, avaliar e/ou otimizar as condições de processamento do amido a partir da farinha de mandioca.

A utilização da farinha de mandioca como fonte de matéria-prima para a obtenção industrial do amido passa necessariamente em desenvolver um projecto, a fim de se apurar a viabilidade económica deste processo face ao processo actualmente utilizado. Assim, recomenda-se o estudo económico da implementação do projecto.

A água residual resultante, se descarregada, ao ambiente, sem um tratamento prévio pode provocar a degradação ambiental (Magalhães *et al.*, 2013), portanto recomenda-se que esta deve ser analisada e submetida ao tratamento antes de se fazer a sua descarga.

6. Referências bibliográficas

1. Abera, S., & Rakshit, S. (2003). Comparison of Physicochemical and Functional Properties of Cassava Starch Extracted from Fresh Root and Dry Chips. *Starch/Starke*, vol. 55, 287-296.
2. Alcázar-Alay, S., & Meireles, M. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology*, vol. 35, n. 2, 215-236.
3. Amani, N., Kamenam, A., Rolland-Sabaté, A., & Colonna, P. (2005). Stability of yam starch gels during processing. *African Journal of Biotechnology*, vol. 4, n. 1, 94-101.
4. Amorim, E. (2011). *Avaliação da Eficiência da Descontaminação de Amido de Mandioca com Ozônio*. Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Tecnologia de Alimentos.
5. ARSO. (2012). Food Grade Cassava Starch: Specification - The African Organisation for Standardisation. *African Standard*, pp. 1-5; Nairobi, Kenya.
6. Balagopalan, C. (2002). Cassava Utilization in Food, Feed and Industry. In R. Hillocks, J. Thresh, & A. Bellotti, *Cassava: Biology, Production and Utilization* (pp. 301-318). Kerala, India: Sreekariyam Trivandrum 695 017.
7. Barbosa, M. C. (2013). *Efeito da adição de proteína nas propriedades físicas e reológicas*. Universidade Estadual Do Sudoeste da Bahia - UESB, Departamento de Engenharia Química, Itapetinga.
8. Bello-perez, L., Rodriguez-Ambriz, S., Sanchez-Rivera, M., & Agama-Acevedo, E. (2010). Starch Macromolecular Structure. In A. C. Bertolini (Ed.), *STARCHES: Characterization, Properties, and Applications* (pp. 33-52). Boca Raton, London: CRC Press.
9. Bello-Pérez, L., Romero-Manilla, R., & Paredes-Irapuato, O. (2000). Preparation and Properties of Physically modified banana Starch prepared by alcoholic-alkaline treatment. *Starch/Starke*, vol. 52, 154-159.

10. Bertolini, A. (2010). Trends in starch applications. In A. Bertolini (Ed.), *Starches: Characterization, Properties and Applications* (pp. 1-15). Boca Raton, USA: CRC Press.
11. Biliaderis, C. (1982). Physical Characteristics, Enzymatic digestibility and Structure of Chemically modified smooth pea and Waxy maize starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 30, 925-930.
12. Biliaderis, C. (2009). Structural Transitions and Related Physical Properties of Starch. In R. Whistler, & J. BeMiller, *Starch: Chemistry and Technology* (3^a Edicao ed., pp. 294-360). Boca Raton, London, New York, Washington, D.C: CRC Press.
13. Biliaderis, C. (1992). Structures and Phase Transitions of Starch in Food systems. *Food Technology*, vol. 145, 98-109.
14. Biliaderis, C. (1991). The structure and interactions of starch with food constituents. *S. Physiol. Pharmacol*, vol. 69, 60-78.
15. Blagbrough, I., Bayoumi, S., Rowan, M., & Beeching, J. (2010). Cassava: An appraisal of its phytochemistry and its biotechnological prospects. Review. *Phytochemistry*, vol. 71, 1940-1951.
16. Blanshard, J. (1987). Starch granule Structure and Function. In T. (. Galliard, *Starch: Properties and Potential*. London: Society of Chemical Industry (pp. 16-54).
17. Breuninger, W., Piyachomkwan, K., & Sriroth, K. (2009). Tapioca/Cassava Starch: Production and Use. In J. BeMiller, R. Whistler, & A. P. Inc (Ed.), *Starch Chemistry and Technology* (pp. 541-564). New York, West Lafayette, USA: Food Science and Technology, International Series.
18. Burns, A., Gleadow, R., Zacarias, A., Cuambe, C., Miller, R., & Cavagnaro, T. (2012). Variations in the Chemical Composition of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Leaves and Roots As Affected by Genotypic and Environmental Variation. *J. Agric. Food Chem*, vol. 60, 4946-4956.
19. Cauvain, S. (2003). *Bread making: Improving quality*. (W. P. limited, Ed.) Boca Raton, New York, Washington DC, USA: CRC Press.

20. Chinma, C., Ariahu, C., & Abu, J. (2011). Chemical composition, functional and pasting properties of cassava starch and soy protein concentrate blends. *Journal of Food Sci. Technol.*, pp. 1-7.
21. Chiwona-Karltun, L., Tylleskar, T., Mkumbira, J., Gebre-Medhin, M., Rosling., & H. (2000). Low dietary cyanogen exposure from frequent consumption of potentially toxic cassava in Malawi. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, vol. 51, n. 1, 33-43, disponível em <http://www.tandfonline.com/loi/ijf20>.
22. Cornell, H. (2004). The functionality of wheat starch. In A. Eliasson, & W. P. Limited (Ed.), *Starch in Food: Structure, Function and Applications*. Boca Raton, New York, Washington DC, USA: CRC Press.
23. Donovan, C., Haggblade, S., Salegua, V., Cuambe, C., Mudema, J., & Tomo, A. (2011). *Cassava Commercialization in Mozambique*. Michigan State University, Department of Agricultural, Food, and Resource Economics Department of Economics. Michigan 48824 : East Lansing.
24. FAO. (2015, outubro). Food Outlook. *Biannual Report on Global Food Markets*, pp. 32-37.
25. Feniman, C. (2004). *Caracterização de Raízes de Mandioca (Manihot esculenta Crantz) do Cultivar IAC 576-70 quanto a cocção, composição química e Propriedades do amido em duas épocas de colheita*. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de alimentos, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Estado de São Paulo - Brasil.
26. Fernández, A., Wenham, J., Dufour, D., & Wheatley, C. (1996). The influence of variety and processing on the physicochemical and functional properties of cassava starch and flour. In D. Dufour, G. O'Brien, & R. Best (Eds.), *Cassava Flour and Starch*. Cali, Colombia: International Centre for Tropical Agriculture.
27. Garcia, V., Colonna, P., Lourdin, D., Bizot, H., & Ollivon, M. (1996). Thermal transitions of cassava starch at intermediate water contents. *Journal of Thermal Analysis*, vol. 47, 1213-1228.

28. Guilbot, A., & Mercier, C. (1985). Starch. In *The Polysaccharides* (Vol. 3, pp. 209-273).
29. Hashim, D., Moorthy, S., Mitchell, J., Hill, S. L., & Blanshard, J. (1992). The Effect of Low Levels of Antioxidants on the Swelling and Solubility of Cassava Starch. *Starch/Starke*, vol. 44, n. 12, S. 471-475.
30. Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers*, vol. 67, 253-267.
31. Hoseney, R. (1986). *Principles Of Cereal Science And Technology*.(A. Inc, Ed.) Saint Paul, USA: Minesota.
32. IIAM, Instituto de Investigação Agrária de Moçambique. (2010). Cadeia de Valor de Mandioca.
33. Imberty, A., Buleon, A., Tran, V., & Perez, S. (1991). Recent Advances in Knowledge of Starch Structure. *Starch/Starke*, vol. 43, n. 10, 375-384.
34. INE, Instituto Nacional de Estatística. (2011). Censo Agro-pecuário 2009-2010. *Resultados Definitivos - Moçambique*.
35. Jane, J. (2009). Structural Features of Starch Granules II. In R. Whistler, & J. BeMiller, *Starch: Chemistry and Technology* (pp. 194-227). Indiana, USA: Academic Press, Inc.
36. Jane, J-L., Kasemsuwan, T., Leas, S., IA, A., Zobel, H., IL, D., et al. (1994). Anthology of Starch Granule Morphology by Scanning Electron Microscopy. *Starch/Starke*, vol. 46, n. 4, S. 121-129.
37. Jenkins, P., & Donald, A. (1998). Gelatinisation of starch: A combined SAXS/WAXS/DSC and SANS Study. *Carbohydrate Research*, vol. 308, 133-147.
38. Lajolo, F., & Menezes, E. (2006). *Carbohidratos em Alimentos Regionales Iberoamericanos*. Universidade de São Paulo, São Paulo.

39. Lebot, V. (2009). *Tropical Root and Tuber Crops: Cassava, Sweet potato, Yams and Aroids*. London: MPG Biddles Ltd, King's Lynn.
40. Leonel, M. (2007). Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. *Cienc. Tecnol., Campinas*, vol. 27, n. 3, 579-588.
41. Leonel, M., Jackey, S., & Cereda, M. (1998). Processamento Industrial de Fécula de Mandioca e Batata doce - um estudo de caso. *Centro de Raízes Tropicais, UNESP*, pp. 1-8.
42. Liu, J., & Zhoa, S. (n.d.). Scanning electron microscope study of gelatinization on starch granules in excess water. *Starche/Starke*.
43. Maningat, C., Seib, P., Bassi, S., Woo, K., & Lasater, G. (2009). Wheat Starch: Production, Properties, Modification and Uses. In R. Whistler, & J. BeMiller (Eds.), *Starch: Chemistry and Technology* (3^a ed.). Boca Raton, London, New York Washington, D.C, USA: CRC Press.
44. Marcon, M., Avancini, S., & Amante, E. (2007). Propriedades Químicas e Tecnológicas do Amido de Mandioca e do Polvilho Azedo, pp.101
45. Martin, M., Zeleznak, K., & Hosenev, R. A Mechanism of Bread Firming. I. Role of Starch Swelling. *Cereal Chemistry*, vol. 68, n. 5, 498-503.
46. Maurer. (2009). Starch in the Paper Industry. In R. Whistler, & J. BeMiller (Eds.). Boca Raton, Baston, New York, Washington D.C, USA: CRC Press.
49. Mbougoueng. (2009). Physicochemical and Functional Properties of Cultivars of Irish and Cassava Starches. *International Journal of Food Engineering*, vol. 3, n. 3, 1-14.
50. McKey, D., Cavagnaro, T., Cliff, J., & Gleadow, R. (2010). Chemical Ecology in Coupled Human and Natural systems: people, manioc, multitrophic interactions and global change. *Chemoecology*, vol. 20, 109-113.
51. MIC. (2007, Setembro). Boletim Especial do Balanço Alimentar Abril de 2007 a Março de 2008. *Boletim Especial*, pp. 1-7.

52. Miyazaki, K., Kumamoto, T., Kagoshima, K., & Kumamoto, O. (2000). Retrogradation of Sweetpotato Starch. *Starch/Starke*, vol. 52, n. 1, S. 13-17.
53. Moorthy, S. (2002). Physicochemical and Functional Properties of Tropical Tuber Starches: A Review. *Starch/Starke*, vol. 54, 559-592.
54. Moorthy, S., Sajeev, M., & Shanavas, S. (2012). Sweet Potato Starch: Physico.Chemical, Functional, Thermal and Rheological Characteristics. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, vol. 6, (special Issue 1), 124-133.
55. Moreira, W. (2013). *Fontes de amido aplicáveis à flotação de minério de ferro*. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Belo Horizonte, Brazil.
56. Muccillo, R. (2009). *Caracterizacao e Avaliacao de Amido Nativo e Modificado de Pinhao Mediante Provas Funcionais e Térmicas*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Química, Porto Alegre.
57. Nassar, N. (2006). Cassava: Some Ecological and Physiological Aspects . *Departamento de Genética, Universidade de Brasília, Brazil*, pp. 1-7.
58. Numfor, F., Walter, W., Jr., Schwartz., & S.J. (1995). Physicochemical Changes in Cassava Starch and Flour Associated with Fermentation: Effect on Textural Properties. *Starch/Starke*, vol. 47, n. 3, S. 86-91.
59. Nunes, L., Santos, W., & Cruz, R. (2009). Rendimento de extração e caracterização funcional de féculas de mandioca da região do semi-árido baiano. *Alimen. Nutr.*, vol. 20, n. 1, 129-134.
60. Nuwamanya, E., Baguma, Y., Emmambux, N., & Rubaihayo, P. (2010). Crystalline and pasting properties of cassava starch are influenced by its molecular propertie. *African Journal of Food Science*, vol. 4, n. 1, 008-015.
61. Oliveira, D. (2011). *Caracterização e potencial tecnológico de amidos de diferentes cultivares de mandioca (Manihot esculenta Crantz)*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianopolis: Centro Tecnológico.

62. Oviedo, M. (1991). *Efeito do Tratamento Ácido nas Propriedades Fisico-Químicas e Funcionais do Amido de Mandioca*. Tese para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas.
63. Parker, R., & Ring, S. (2001). Aspects of the Physical Chemistry of Starch, Mini Review. *Journal of Cereal Science*, vol. 34, 1-17.
64. Perez, E., Schultz, F., & Delahaye, E. (2005). Characterization of some Properties of Starches isolated from *Xanthosoma sagittifolium* (tannia) and *Colocassia esculenta* (taro). *Carbohydrate Polymers*, vol. 60, 139-145.
65. Ramos, P., Sediya, T., Viana, A., Pereira, D., & Finger, F. (2013). Efeito de Inibidores da Peroxidase sobre a Conservação de Raízes de Mandioca *in natura*. *Brazilian Journal of Food Technology*, vol. 16, n. 2, 116-124.
66. Rao, J., Parimalavalli., & Jagannadham, K. (2014). Impact of cross-linking on physico-chemical and functional properties of cassava starch. *International Journal Of Advanced Research*, vol. 2, n. 5, 284-289.
67. Ratnayake, W., & Jackson, D. (2006). Gelatinization and Solubility of Corn Starch during Heating in Excess Water: New Insights. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 54, n. 10, 3712-3716.
68. Sajeev, M., Sreekumar, J., Unnikrisnan, M., Moorthy, S., & Shanavas, S. (2010). Kinetics of thermal softening of cassava tubers and rheological modeling of the starch. *J. Food Sci. Technol.*, vol. 47, n. 5, 507-518.
69. Sandhu, K., & Singh, N. (2007). Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry*, vol. 101, 1499-1507.
70. Sandoval, A., & Quitero, F. (2013). Physicochemical Characterization of two Cassava (*Manihot esculenta crantz*) Starches and Flours. *Scientia Agroalimentaria*, vol. 13, 19-25.

71. Santacruz, S. (2004). *Characterisation of starches isolated from Arracacha xanthorrhiza, Canna edulis and Oxalis tuberosa and extracted from potato leaf*. Tese de Doutorado, Universidade de Ciências Agrárias da Suécia, Department of Food Science, Uppsala.
72. Santos, J., Pimentel, T., & Kloski, S. (2015). Estudo Comparativo das Propriedades Físico-químicas e Tecnológicas de Amido de Mandioca Nativo e Fermentado. *Revista de Ciências Exactas e Naturais*, vol. 17, n. 2.
73. Santos, T. (2012). *Produção de amido modificado de mandioca com propriedade de expansão*. Tese de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas.
74. Schoch, T. (1964). *Methods in Carbohydrate Chemistry* (Vol. 4). (R. Whistler, R. Smith, & J. BeMiller, Eds.) London, Inglaterra: Academic Press.
75. Shore, K. (2002). Decades of cassava research bear fruit. *Gene Conserve*, vol. 1, pp. 1-4.
76. Silva, G., Takizawa, F., Pedroso, R., Franco, C., Leonel, M., Sarmiento, S., et al. (2006). Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, vol. 26, n. 1, 188-197.
77. Sobolewska-Zielińska, J., & Fortuna, T. (2010). Retrogradation of Starches and maltodextrins of origin various. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.*, vol. 9, n. 1, 71-81.
78. Sriroth, K., Piyachomkwan, K., Wanlapatit, S., & Oates, C. (2000). Cassava Starch Technology: The Thai Experience. *Starch/Stärke*, vol. 52, 439-449.
79. Stephen, A., Philips, G., & Williams, P. (2006). *Food Polysaccharides and Their Applications* (2^a ed.). Boca Raton, London, New York: CRC Press.
80. TACO. (2006). *Tabela Brasileira de Composição de Alimentos*. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação – NEPA, 4^a edição Revisada e ampliada.

81. Takeiti, C., Fakhouri, F., Ormenese, R., Steel, C., & Collares, F. (2007). Freeze-thaw Stability of Gels Prepared from Starches of Non-conventional Sources. *Starch/Starke*, vol. 59, 156-160.
82. Taub, I., & Singh, R. (1998). *Food Storage Stability*. Boca Raton, London, New York Washington, D.C: CRC Press.
83. Tester, R., & Morrison, W. (1990). Swelling and Gelatinization of Cereal Starches. I. Effects of Amylopectin, Amylose, and Lipids. *Cereal Chemistry*, vol. 67, n. 6, 551-557.
84. Thomas, D., & Atwell, W. (2005). *Starches*. St. Paul: Eagan Press.
85. Tivana, L., Francisco, J., Bergenstål, B., & Dejmek, P. (2009). Cyanogenic Potential of Roasted Cassava (*Manihot esculenta Crantz*) roots Rale from Inhambane Province, Mozambique. *Czech J. Food Sci.*, vol. 27, s375-s378.
86. Tulyathan, V.; Chimchom, K.; Ratanathamman, K.; Pewlong, C.; Navankasattusas, S. (2006). *J. Sci. Res. Chula. Univ*, vol. 31, n. 1, 1-24.
87. Whistler, R., & BeMiller, J. (1999). *Carbohydrates Chemistry for Food Scientists*. Saint Paul: Eagan Press.
88. Whistler, R., & Daniel, J. (1993). Carbohidratos. In O. Fennema, *Química de los alimentos* (pp. 81-156). Zaragoza: Acribia.
89. Wong, R., & Lilievre, J. (1982). Comparison of the Crystalinities of Wheat Starches with Different Swelling Capacities. *Starch/Starke*, S. 159-161.
90. www.jornalnoticias.co.mz. Acordo para massificar a produção da mandioca. 18 de Fevereiro de 2015. Economia. Acesso em 3 de Novembro de 2016
91. Yoo, S., & Jane, J. (2002). Molecular weights and gyration radil of amylopectin determined by high-perfomance size-exclusion chromatography. *Carbohydrate Polymers*, vol. 49, 307-314.
92. Yousif, E., Gadallah, M., & Sorour, A. (2012). Physico-chemical and Rheological Properties of Modified Corn Starches and its effect on Noodle Quality. *Annals of Agricultural Science*, vol. 57, n. 1, 19-27.

93 Zobel, H., & Stephen, A. (1995). Structure, Analysis and application. In A. Stephen, *Food Polyssacharides and their Application* (pp. 19-66). New York: Marcel Dekker.

Apêndices

APÊNDICES

Apêndice A1. Tabelas dos Resultados.....	iii
Apêndice A2. Densidade absoluta do amido.....	iv
Apêndice A3. Resultados de propriedades funcionais do amido de farinha de mandioca.....	v
Apêndice A4. Resultados das propriedades de pasta do amido da farinha de mandioca.....	viii

Apêndice A1. Tabelas dos Resultados

Tabela A1. Rendimento médio da farinha de mandioca em amido

	Peso da placa, Pp (g)	Pp + Produto seco	Peso do produto seco	Peso total do amido
1	28,0633	42,5444	14,4811	59,8411
	30,0088	45,9337	15,9249	
	30,2892	45,2645	14,9753	
	30,5259	44,9857	14,4598	
2	28,0353	43,8578	15,8225	60,0766
	28,2096	43,5096	15,3000	
	30,7525	45,6562	14,9037	
	29,7877	43,8381	14,0504	
3	30,7536	56,1719	25,4183	60,8857
	28,0363	50,0664	22,0301	
	28,7877	36,7942	8,0065	
	29,2110	34,6418	5,4308	
4	28,0717	48,6617	20,5900	60,0373
	28,6617	47,7839	19,1222	
	30,2926	50,6177	20,3251	

Apêndice A2. Densidade absoluta do amido

Tabela A2-1. Densidade do amido pelo método de deslocamento de Xileno em proveta

Ensaio	Vol _{xileno} (mL)	Vol _{xileno+amido} (mL)	Massa do amido (g)	Densidade (g/cm ³)	Erro relativo (d _{tab} =1.5 g/cm ³)
1	13	15	2,9541	1,4771	0,016
2	11	13	2,9506	1,4753	
3	10	12,0	2,9505	1,4753	
Média	–	–	–	1,4759 ± 0.0009	

Apêndice A3. Resultados de propriedades funcionais do amido de farinha de mandioca.

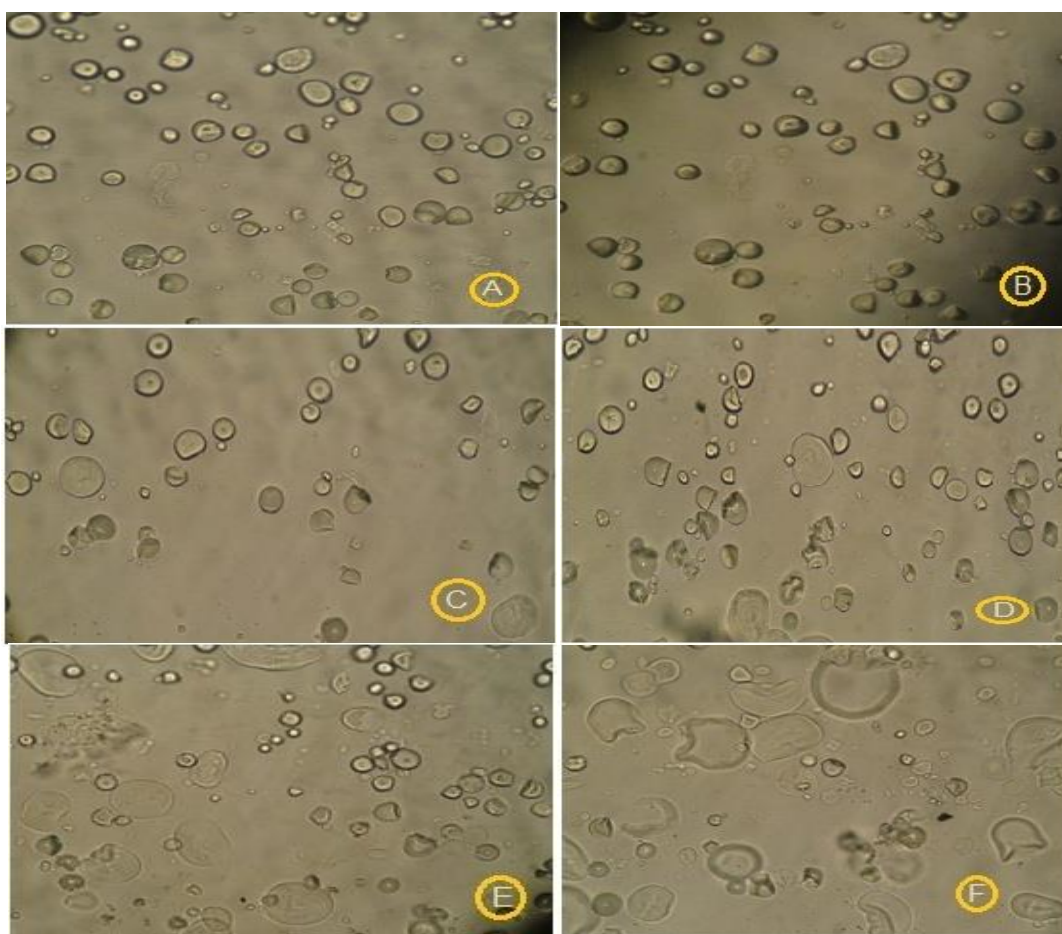
Tabela A3-1. Resultados do Índice de solubilidade e do poder de inchamento

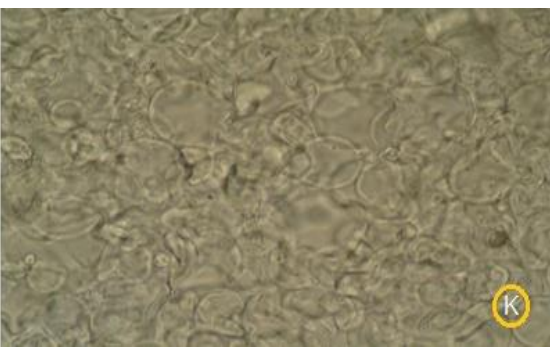
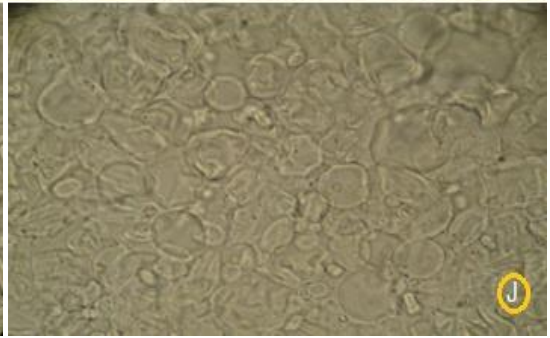
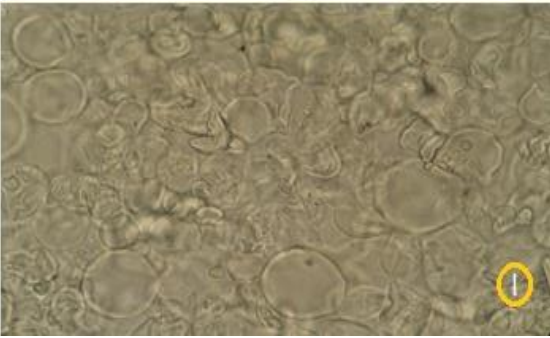
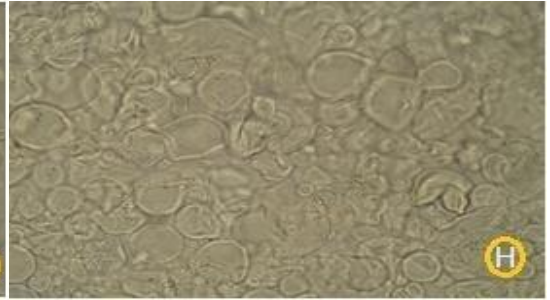
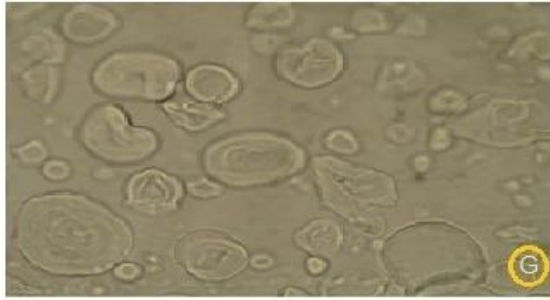
T (°C)	Peso do tubo, Pt (g)	Peso da placa, Pp (g)	Pt + peso do gel de amido, Pg (g)	Pp + Peso da placa seca, Ps (g)	Poder de inchamento PI (g/g)	Índice de solubilidade IS (%)
40	13,0295	30,7540	14,2149	30,7570	2,3708	0,6000
	12,3376	27,5660	13,5730	27,5692	2,4708	0,6400
	12,5406	30,5339	13,7323	30,5368	2,3834	0,5800
50	13,3672	15,1243	14,6721	15,1285	2,6098	0,8400
	13,5097	25,4279	14,7991	25,4325	2,5788	0,9200
	13,2905	28,5841	14,5836	28,5889	2,5862	0,9600
60	13,0093	28,0709	15,1747	28,0800	4,3308	1,8200
	12,3236	31,0159	14,5179	31,0243	4,3886	1,6800
	12,5340	30,5333	15,0221	30,5425	4,9762	1,8400
70	13,0092	27,5656	18,3023	27,5881	10,5862	4,5000
	12,3316	29,7870	17,7063	29,8099	10,7494	4,5800
	12,6040	30,7535	17,8789	30,7751	10,5498	4,3200
80	11,7379	27,5696	19,1977	27,6010	14,9196	6,2800
	11,6174	29,7816	19,1140	29,8121	14,9932	6,1000
	13,0364	30,7552	20,5309	30,7854	14,9890	6,0400
85	13,0103	28,0722	24,3114	28,1187	22,6022	9,3000
	12,3297	31,0167	24,0002	31,0644	23,3410	9,5400
	12,5927	30,5331	23,8914	30,5794	22,5974	9,2600

Tabela A3-2. Média dos resultados do Índice de solubilidade e poder de inchamento médio em cada temperatura.

T (°C)	IS (%)	PI (g/g)
40	0,6067± 0.030	2,4083± 0.051
50	0,9067± 0.061	2,5916± 0.016
60	1,7800± 0.087	4,5652± 0.357
70	4,4667± 0.133	10,6285± 0.107
80	6,1400± 0.125	14,9673± 0.041
85	9,3667± 0.151	22,8469± 0.428

Figura A3-1. Fotografias dos grânulos de amido tiradas em diferentes temperaturas de aquecimento para determinação da temperatura de gelatinização.(A:40°C; B:45°C; C:50°C; D:55°C; E:60°C; F:65; G:70°C; H:75°C; I:80°C; J:85°C e K:90°C).





Apêndice A4. Resultados das propriedades de pasta do amido da farinha de mandioca

Tabela A4-1. Resultados da percentagem de sinérese para avaliação da estabilidade ao ciclo de congelamento-descongelamento

Ciclos	Massa da pasta	m1	m2	M _{água}	Sinérese (%)
1 ^o	20,0470	28,0724	36,2828	8,2104	40,9558
	20,0247	29,7863	38,2158	8,4295	42,0955
	20,0370	31,0156	38,9527	7,9371	39,6122
2 ^o	20,0078	28,0719	36,2109	8,1390	40,6791
	20,0011	29,7871	38,1234	8,3363	41,6792
	20,0029	31,0153	39,1648	8,1495	40,7416
3 ^o	20,0335	28,0720	36,3175	8,2455	41,1586
	20,2280	29,7871	38,3966	8,6095	42,5623
	20,0382	31,0154	38,9896	7,9742	39,7950
4 ^o	20,0391	5,1677	13,3364	8,1687	40,7638
	20,0360	5,2259	13,5261	8,3002	41,4264
	20,0526	20,3663	28,7417	8,3754	41,7672
5 ^o	20,0374	5,1694	10,9818	5,8124	29,0078
	20,0003	5,2267	11,1044	5,8777	29,3881
	20,0303	20,3669	26,7559	6,3890	31,8967

Tabela A4-2. Média dos resultados da percentagem de sinérese em cada ciclo

	Média
Ciclo	sinérese (%)
1 ^o	40,8878
2 ^o	41,0333
3 ^o	41,1719
4 ^o	41,3191
5 ^o	30,0975

Tabela A4-3. Resultados da percentagem de sinérese em função do tempo para o ensaio de tendência a retrogradação

Dias	Massa da pasta	m1	m2	m _{água}	Sinérese (%)
7 ^o	20,0495	5,1678	11,3941	6,2263	31,0546
	20,0185	5,2265	11,4878	6,2613	31,2776
	20,0396	20,3670	26,7025	6,3355	31,6149
14 ^o	20,0320	5,1679	11,7855	6,6176	33,0351
	20,3980	5,2261	11,9646	6,7385	33,0351
	20,0360	20,3669	27,0039	6,6370	33,1254
21 ^o	20,0090	5,1684	12,4922	7,3238	36,6025
	20,0233	5,2274	12,5654	7,3380	36,6473
	20,0389	20,3672	27,6245	7,2573	36,2161
28	20,3069	5,1682	13,5261	8,3579	41,1579
	20,3050	20,3666	28,7368	8,3702	41,2224

Tabela A4-4. Média da percentagem de sinérese para o ensaio de retrogradação em cada 7 dias.

Dias	Média
	Sinérese (%)
7 ^o	31,3157 ±0,2821
14 ^o	33,0652 ±0,0521
21 ^o	36,4886 ±0,2371
28 ^o	41,1901 ±0,0521

Anexos

Anexo A. Procedimentos dos métodos experimentais..... xii

Anexo A. Procedimentos dos métodos

Determinação da faixa de gelatinização

Uma suspensão de 0.2% de amido preparada num Becker de 150 mL é aquecida durante 5 minutos com agitação no banho-maria de 40°C a 90°C, com incrementos de 5°C. A cada temperatura algumas gotas são espalhadas na lâmina com o auxílio de uma espátula e cobertas com uma lamínula. O conteúdo é colocado sobre o polarizador previamente posicionado na platina. As imagens são observadas usando uma objectiva de 40x e capturadas com uma máquina digital a 2.5x mega pixéis. A cada leitura deve-se usar lâmina e lamínulas novas. Registrar as temperaturas inicial, intermediária e final da gelatinização que correspondem respectivamente a 2%, 50% e 98% dos grânulos inchados. É de referir que as imagens devem ser identificadas e transferidas de imediato após cada análise, de modo que duas ou mais leituras sejam confundidas.

Avaliação da tendência à retrogradação

Uma suspensão com 5% de amido em água é aquecida no banho-maria à 90°C durante 30 minutos com agitação vigorosa em cada 5 minutos. De seguida transfere-se para 12 tubos de centrífuga cerca de 20 gramas das pastas formadas para cada tubo e refrigeradas a 5°C. A tendência à retrogradação é avaliada aos 7, 14, 21 e 28 dias determinando-se a percentagem de água liberada após centrifugação a 4500 rpm num centrifugador de marca Megafuge 8. O sobrenadante é transferido cuidadosamente para placas de Petri (peso conhecido) que depois são pesadas numa balança analítica.

Determinação do poder inchamento

Pesa-se 0.5 g de amido (base seca) num tubo de centrífuga e adiciona-se 15 mL de água destilada. De seguida a suspensão é submetida ao aquecimento a (40, 50, 60, 70, 80 e 85°C) em banho-maria durante 30 minutos com agitação em cada 5 minutos. O gel é arrefecido por 15 a 30 minutos e posteriormente submetido a centrifugação à 2500 rpm por 15 minutos. O sobrenadante é decantado e reservado para o cálculo do índice de solubilidade. O precipitado é pesado e o valor do poder de inchamento (PI) é determinado recorrendo a equação (3.3).

Determinação da densidade absoluta

A determinação da densidade absoluta do amido foi feita utilizando a proveta. Coloca-se 10 a 15 mL do xileno na proveta. Pesa-se aproximadamente 3 g da amostra e transfere-se cuidadosamente para a proveta. O volume antes e depois da introdução da amostra deve ser lido após bater levemente na lateral da proveta de modo a eliminar bolhas de ar e ajudar o amido a assentar na base, respectivamente. O volume do amido é igual ao volume do xileno deslocado (diferença entre o volume final e inicial do xileno na proveta). A densidade através da razão da massa pelo volume.

Estabilidade ao ciclo de congelamento e descongelamento

A avaliação da estabilidade das pastas de amido ao ciclo de congelamento e descongelamento pode ser feita determinando-se a percentagem de água liberada (sinérese). Uma suspensão de 5% de amido em água foi preparada num copo de 600 mL e submetida ao aquecimento a 90°C no banho-maria durante 30 minutos com agitação vigorosa em cada 5 minutos. De seguida aproximadamente 20 gramas do gel arrefecido até 50°C são transferidos para tubos de centrifuga (previamente lavados, secos e pesados) e colocados no congelador a - 24°C durante 18 horas e descongelados à temperatura ambiente durante 6 horas. No total são realizados 5 ciclos e no fim de cada ciclo determinou-se a percentagem de sinérese através da equação 3.2. O ensaio foi realizado em triplicata.