



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
ALIMENTOS**

Daiana Cardoso de Oliveira

**CARACTERIZAÇÃO E POTENCIAL TECNOLÓGICO DE
AMIDOS DE DIFERENTES CULTIVARES DE MANDIOCA
(*Manihot esculenta* Crantz)**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Prof.^ª. Dr.^ª. Edna Regina Amante

Florianópolis
2011

Daiana Cardoso de Oliveira

**CARACTERIZAÇÃO E POTENCIAL TECNOLÓGICO DE
AMIDOS DE DIFERENTES CULTIVARES DE MANDIOCA
(*Manihot esculenta* Crantz)**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia de Alimentos”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos.

Florianópolis, 31 de maio de 2011.

Prof. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz , Dr.^a
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Edna Regina Amante
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a, Dr.^a Regina Vasconcellos Antônio,
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a, Dr.^a Ana Carolina de Oliveira Costa,
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof., Dr. Everton Skoronski ,
Universidade do Sul de Santa Catarina

Aos meus queridos pais, Ignêz e
Deoli, por todo amor, carinho,
compreensão, fé e estímulo.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível com a ajuda e apoio de muitas pessoas. As palavras são poucas para expressar tamanha gratidão a elas.

Agradeço a Deus por estar me iluminando, protegendo e me dando forças para seguir em frente.

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós Graduação de Engenharia de Alimentos pela oportunidade da realização deste trabalho. Também ao CAL e todos os funcionários que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

À minha orientadora, Prof. Dra. Edna Regina Amante, pela confiança, paciência, carinho, dedicação, incentivo e orientação. Você é uma pessoa muito especial!

Aos colegas de Laboratório Ângela Angeloni Rovaris, João Gustavo Provesi e Carol Sena de Aquino pela amizade e ajuda.

À Dr. Maria Janete Angeloni Marcon, pelo auxílio com as análises e pela espontaneidade em colaborar.

Às graduandas do curso em Ciência e Tecnologia Agroalimentar Júlia Rodrigues Frescura, Isabela de Bona Munoz, Cibelle Duk Auras, Tatiana de Araújo Jacques, Caroline Odedrecht Dias e Cláudia Bernardo pela ajuda na extração do amido, em especial à Cláudia que continuou me ajudando durante a realização das análises.

À professora Dra. Vera Frescura que colocou o laboratório a nossa disposição.

Ao Ismael pelo auxílio e colaboração com as análises de viscosidade intrínseca.

Às amigas de pós-graduação, Raquel Aparecida Loss e Ana Carolina de Aguiar, por compartilharem os desabafos e pela amizade.

À professora Ms. Márcia Michels, da UNISUL, por entender minhas ausências, pelo apoio e ajuda de sempre.

Ao professor Dr. Everton Skoronski e à Mylena Fernandes, da UNISUL, pela amizade, auxílio e palavras de consolo nos momentos difíceis.

Ao professor Dr. Jair Juarez João, da UNISUL, pelos ensinamentos e incentivo no início desta caminhada.

Aos estagiários da Prestação de Serviços, do laboratório do CENTEC- UNISUL, Marciel Della Giustina, Daniela Denez, Camila Gonçalves e em especial a Bruna Barreto Remor, pela ajuda na realização das análises.

À secretária do curso de pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Raquel Crestani Agostineto, pela paciência e prestatividade.

Aos meus pais, pelo apoio, incentivo e compreensão. Ao meu irmão Sérgio pelo apoio e também ao meu irmão Daniel e minha cunhada Gisele por me recepcionarem tão bem em seu lar quando tinha que vir toda a semana para Florianópolis.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) - Urussanga, pelo fornecimento das raízes de mandioca modificadas geneticamente.

Ao CENTEC da UNISUL, e todos os coordenadores que passaram por lá durante estes dois anos, por cederem a estrutura física e os equipamentos para a realização de algumas análises.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores da banca examinadora, por aceitarem o convite.

*“O homem não teria alcançado o possível, se inúmeras vezes não
tivesse tentado atingir o impossível”*

Max Weber

OLIVEIRA, Daiana Cardoso de. **Caracterização e potencial tecnológico de amidos de diferentes cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)- Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2011.

RESUMO

O amido de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é de baixo custo e de grande produção no Brasil. Os grânulos de amido têm características próprias segundo as origens que não correspondem ao grande número de aplicações para esta matéria-prima. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar dez diferentes cultivares de mandioca, produtos de melhoramento genético, fornecidos pela Epagri- SC. Foram estudadas as cultivares STS 2/03-10 (raiz branca), SCS 252 – Jaguaruna, Mandim Branca (proveniente de Neossolo Quartzarênico), Mandim Branca (proveniente de Argissolo), STS 1302/96-3 – Vermelhinha (proveniente de Neossolo Quartzarênico), STS 1302/96-3 – Vermelhinha (proveniente de Argissolo), SCS 253 – Sangão (proveniente de Neossolo Quartzarênico), SCS 253 – Sangão (proveniente de Argissolo), STS 1311/96-1, STS 1302/96-4, Preta, STS 1309/96-7 e STS 2/03-7. O amido destas cultivares foram caracterizados quanto ao pH, pureza, amilose, densidade absoluta, amido danificado, viscosidade intrínseca e massa molar, susceptibilidade enzimática, tamanho e forma dos grânulos, poder de inchamento e índice de solubilização, índice de cristalinidade e propriedades visco-amilográficas. Dentre as cultivares em estudo o amido da cultivar STS 1302/96-3 – Vermelhinha, proveniente de Argissolo, que se mostrou mais susceptível ao ataque enzimático e consequentemente, maior velocidade de hidrólise, poderia ser utilizado para a elaboração de álcool e amidos modificados, como os amidos fermentados. O maior poder de inchamento apresentado pela cultivar Preta direciona o uso deste amido como espessante, com melhor rendimento do produto final. Amidos das cultivares STS 1302/96-4 e Mandim Branca (proveniente de Argissolo) deram origem a pastas finas e transparentes e apresentaram baixos picos de viscosidade máxima. Estes resultados vêm direcionar as aplicações para estes amidos como espessantes de suave viscosidade, como para a produção de molhos, sopas e alimentos infantis. Como esperado para

amido de mandioca, todas as cultivares em estudo apresentaram baixa tendência à retrogradação, destacando-se as cultivares STS 1302/96-3 – Vermelhinha (proveniente de Argissolo), SCS 252- Jaguaruna, STS 1302/96-4 e Mandim Branca (proveniente de Argissolo e Neossolo Quartzarênico). Assim, os amidos destas cultivares poderiam ser utilizados em produtos que permanecem estocados, como pães e produtos panificáveis, assim como onde é indesejável a perda de água, como pudins e sobremesas. Os resultados obtidos também vêm comprovar que diferenças significativas podem ocorrer em amidos de uma mesma cultivar, mostrando a necessidade da caracterização do amido de uma mesma planta sempre que esta for aplicada como matéria-prima no processo industrial.

Palavras-chave: Amido de mandioca. Cultivar. Amilose. Amilopectina. Aplicação industrial.

OLIVEIRA, Daiana Cardoso de. **Characterization and technological potential of different starches of cassava cultivars (*Manihot esculenta* Crantz)**. 2011. Dissertation (Master in Food Engineering) - Graduate Program in Food Engineering, University of Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

ABSTRACT

The starch of cassava roots (*Manihot esculenta* Crantz). As the cassava starch is low cost and high production in Brazil. The starch granules have characteristics according to the sources that do not correspond to the large number of applications for this material. In this sense, the present study aimed to characterize ten different cassava cultivars, breeding products, supplied by Epagri-SC. Were studied the cultivars of STS 2/03-10 (white root), SCS 252 - Jaguaruna, Mandim Branca (from Neossolo Quartzarênico) Mandim Branca (from Argissolo), STS 1302/96-3 - Vermelhinha (from Neossolo Quartzarênico), STS 1302/96-3 - Vermelhinha (from Argissolo), SCS 253 - Sangão (from Neossolo Quartzarênico), SCS 253 - Sangão (from Argissolo), STS 1311/96-1, 1302/96-4 STS , Preta, STS and STS 1309/96-7 2/03-7. The starch of these cultivars were analyzed for pH, purity, amylose, absolute density, damaged starch, intrinsic viscosity and molecular weight, enzymatic susceptibility, size and shape of beads, swelling power and solubility index, crystallinity index and visco-Amylograph. Among the cultivars studied starch cultivar STS 1302/96-3 - Vermelhinha, from Argissolo, which was more susceptible to enzymatic attack and consequently, higher hydrolysis rate, could be used to produce alcohol and modified starches, as fermented starches. The highest swelling power displayed by the cultivar Black directs the use of starch as a thickener, with better yield of final product. Starches from cultivars STS 1302/96-4 and Mandim Branca (from Argissolo) gave rise to thin and transparent folders and had low maximum peak viscosity. These results have direct applications for these starches as thickeners of sweet stickiness, as for the production of sauces, soups and baby food. As expected for cassava starch, all cultivars under study showed a low tendency to retrogradation, especially the cultivars STS 1302/96-3 - Vermelhinha (from Argissolo), SCS 252 - Jaguaruna, STS and 1302/96-4 Mandim Branca (from Argissolo and Neossolo Quartzarênico). Thus, the starches of these cultivars could be used in products that remain stored, such as

breads and breadmaking products, as well as where it is undesirable water loss, such as puddings and desserts. The results have also been established that significant differences occur in starch of the same cultivar, showing the need for characterization of starch from the same plant where it is applied as feedstock in the manufacturing process.

Keywords: Cassava starch,. Cultivar. Amylose. Amylopectin. Industrial application.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Mandioca - planta (A) e raiz (B).....	25
Figura 1.2 - Fluxograma sintético de produção do amido de mandioca.	27
Figura 1.3 - Representação esquemática do grânulo de amido.	29
Figura 1.4 - (A) amilose e (B) amilopectina.....	30
Figura 1.5 - A) Classificação das cadeias da amilopectina em tipo A, B e C. B) Estrutura da amilopectina formando as regiões amorfas e cristalinas no grânulo de amido. C) Modelo da estrutura interna do grânulo de amido com a visualização dos anéis de crescimento e centro ou hilum.	32
Figura 1.6 - Micrografias das dispersões de amido a 5 g.l^{-1} à 25°C ; aumento de 100 vezes sob luz polarizada.	34
Figura 1.7 - Fotomicrografias dos amidos de mandioca (A), biri (B), batata (C) e araruta (D), mandioquinha-salsa (E) e milho (F).....	36
Figura 1.8 - Curva de viscosidade típica do RVA mostrando os parâmetros comumente avaliados.	42
Figura 1.9 - Potencialidade do uso do amido no Brasil.....	48
Figura 2.1 - Mapa das regiões de cultivo das raízes de mandioca, utilizadas para a extração do amido.	56
Figura 2.2 - Difractograma de raio-x descritivo do método de índice de cristalinidade relativa adaptado à razão das intensidades difratadas.	60
Figura 2.3 - Susceptibilidade enzimática dos amidos das diferentes cultivares a α -amilase, expressa pela percentagem de maltose liberada pela ação da enzima sobre o amido.	79
Figura 2.4 - Micrografia eletrônica de varredura dos grânulos de amido de mandioca das cultivares STS 2/03-10 (A), SCS 252- Jaguaruna (B), Mandim Branca (C), STS1302/96- Vermelhinha (D), SCS 253- Sangão (E), STS 1311/96-1 (F), STS 1302/96-4 (G) e Preta (H).	82
Figura 2.5 - Micrografia eletrônica de varredura dos grânulos de amido de mandioca das cultivares STS 1309/96-7 (A) e STS 2/03-7 (B).	83

Figura 3.1 - Poder de inchamento dos amidos de diferentes cultivares de mandioca.....	91
Figura 3.2 - Índice de solubilização dos amidos de diferentes cultivares de mandioca.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Conteúdo de amilose de amidos de diversas fontes.	31
Tabela 2.1 - Cultivares de mandioca oriundas de diferentes localidades e seus respectivos solos.	55
Tabela 2.2 - pH dos amidos das diferentes cultivares de mandioca.	63
Tabela 2.3 - Percentual de lipídeo, proteína e amido total (BPS) dos amidos extraídos de diferentes cultivares de mandioca.....	65
Tabela 2.4 - Teor de cinzas nos amidos dos diferentes cultivares de mandioca.	68
Tabela 2.5 - Amido danificado (BPS) dos amidos extraídos de diferentes cultivares de mandioca.	71
Tabela 2.6 - Densidades (BPS) dos amidos extraídos de diferentes cultivares de mandioca.	73
Tabela 2.7 - Teor de amilose em diferentes cultivares de mandioca.....	74
Tabela 2.8 - Índice de cristalinidade (BPS) dos amidos extraídos de diferentes cultivares de mandioca.	76
Tabela 2.9 - Viscosidade intrínseca e massa molar média de amidos de diferentes cultivares de mandioca.....	77
Tabela 2.10 - Equação polinomial e inclinação da curva de ajuste da susceptibilidade enzimática dos diferentes amidos.	79
Tabela 2.11 - Diâmetro dos grânulos de amido de diferentes cultivares de mandioca.	81
Tabela 3.1 - Propriedades viscoamilográficas dos amidos das cultivares de mandioca, obtidas a partir de amilogramas construídos no RVA.	96

LISTA DE ABREVIATURAS

ABAM	Associação Brasileira de Produtores de Amido de Mandioca
AOAC	<i>Association of Official Analytical Chemists</i>
BPS	Base peso seco
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural
FAO	<i>Food and Agricultural Organization</i>
HCN	Ácido cianídrico
IBGE	Instituto Brasileiro de geografia estatística
IC	Índice de Cristalinidade
kV	Kilovolt
mA	Miliamper
MEV	Microscópio eletrônico de varredura
RVA	<i>Rapid Visco Analyser</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	23
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
1.1 A mandioca como fonte de amido	25
1.2 Amido	28
1.1.1 Estrutura e característica dos grânulos	28
1.2.1 Caracterização do amido	34
1.2.1.1 Propriedades físico-químicas e morfológicas do amido de mandioca.....	34
1.2.1.2 Susceptibilidade à ação enzimática	37
1.2.1.3 Solubilidade e inchamento dos grânulos de amido.....	39
1.2.1.4 Propriedades de gelatinização do amido	40
1.2.1.5 Retrogradação.....	43
1.3 O amido de mandioca	45
1.3.1 Aplicações do amido de mandioca e a importância das propriedades físico-químicas e reológicas do amido.....	46
CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MORFOLÓGICA DO AMIDO DE DIFERENTES CULTIVARES DE MANDIOCA	53
2.1 INTRODUÇÃO	53
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	54
2.2.1 Material	54
2.2.2 Métodos	54
2.2.2.1 Coleta e transporte das amostras	54
2.2.2.2 Extração do amido da mandioca.....	56
2.2.2.3 Análises físico-químicas.....	57
2.2.3 Procedimentos Estatísticos	62
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
2.3.1 pH	62
2.3.2 Composição Centesimal	64
2.3.3 Amido danificado	69

2.3.4 Densidade absoluta.....	72
2.3.5 Teor de amilose.....	74
2.3.6 Índice de cristalinidade.....	75
2.3.7 Viscosidade intrínseca.....	77
2.3.8 Suscetibilidade Enzimática.....	78
2.3.9 Forma e tamanho dos grânulos.....	80
2.4 CONCLUSÃO.....	84

CAPÍTULO 3 - CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE AMIDOS DE DIFERENTES CULTIVARES DE MANDIOCA.... 87

3.1 INTRODUÇÃO.....	87
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	88
3.2.1 Material.....	88
3.2.2 Métodos.....	88
3.2.2.1 Coleta e transporte das amostras.....	88
3.2.2.2 Extração do amido da mandioca.....	89
3.2.2.3 Propriedades inerentes ao intumescimento dos grânulos, solubilidade e viscosidade.....	89
3.2.2.4 Procedimentos Estatísticos.....	89
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	90
3.3.1 Poder de inchamento e índice de solubilização.....	90
3.3.2 Propriedades da pasta de amido.....	94
3.4 CONCLUSÃO.....	98

CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 101

REFERÊNCIAS..... 103

APÊNDICES..... 121

Apêndice A - Umidade dos amidos de cada cultivar extraídos em triplicata.....	123
Apêndice B - Poder de inchamento e índice de solubilização.....	125
Apêndice C - Viscoamilogramas dos amidos das diferentes cultivares de mandioca, realizados em triplicata.....	127

INTRODUÇÃO

Os grânulos de amido têm características próprias, segundo suas origens. Estas características não correspondem ao grande número de aplicações disponíveis para esta importante matéria-prima, atingindo os mais diferentes setores industriais. O que definirá as diferentes aplicações serão as características dos grânulos de amido, tais como: teor de amilose e amilopectina, índice de cristalinidade, poder de inchamento, índice de solubilização, viscosidade intrínseca (massa molar média), susceptibilidade enzimática, densidade dos grânulos, propriedades do gel, tais como: temperatura inicial de pasta, temperatura do pico de viscosidade máxima, viscosidade máxima, viscosidade no resfriamento. Além destas, inúmeras outras características, desde pH, acidez, fator ácido e outras são úteis para a definição das aplicações do amido.

Na indústria de alimentos, a propriedade mais estudada para os amidos é a viscosidade, uma vez que este é muito empregado como espessante em inúmeras formulações. A capacidade de formar gel é uma importante característica dos amidos, atribuída à entrada de água no grânulo, aumentando o volume do mesmo, em inúmeras vezes. Na gelatinização ocorre saída da amilose a partir da formação de uma estrutura viscosa, altamente hidratada, com estabilidade dependente da composição do amido, das moléculas de amilose e amilopectina presentes e do modo como estão organizadas no grânulo (WHISTLER; PASCHAL, 1965).

O amido está, assim como a celulose, amplamente distribuído na natureza, ocorrendo em cereais, tubérculos, raízes, leguminosas e outras fontes (BOBBIO, 1995). No entanto, para servir como fonte comercial de amido, as matérias-primas vegetais precisam dispor de quantidade viável deste polímero natural e o mesmo deve ser de fácil extração. Além destas questões econômicas e tecnológicas inerentes à própria matéria-prima, o amido deve ter propriedades adequadas para a comercialização (GUILBOT; MERCIER, 1985; APLEVICZ; DEMIATE, 2007; MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007; FRANCO et al., 2008).

A exploração do potencial tecnológico do amido pode representar um grande diferencial para a valorização da mandioca. No entanto, grande parte das indústrias que valorizam o amido de mandioca são

empresas multinacionais, devido a pouca profissionalização nas empresas nacionais que atuam neste setor.

A procura por novas fontes de amido e a caracterização dos mesmos é incessante, para o atendimento às expectativas tecnológicas. Dentro deste contexto, o presente trabalho em parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), que desenvolve novas cultivares de mandioca, com as características agronômicas desejáveis, tem como objetivo caracterizar os amidos de raízes de diferentes cultivares desenvolvidas, indicando os seus potenciais tecnológicos, de acordo com as características apresentadas.

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 A MANDIOCA COMO FONTE DE AMIDO

A mandioca, *Manihot esculenta* Crantz (Figura 1.1), é uma planta perene, arbustiva, pertencente à família das Euforbiáceas. A parte mais importante da planta é a raiz, rica em fécula, utilizada na alimentação humana e animal ou como matéria-prima para diversas indústrias. Originária do continente americano, a mandioca provavelmente já era cultivada no Brasil pelos índios, por ocasião da sua descoberta do país (OLSEN & SCHAAL, 1999; FILHO; BAHIA, 2009).



Figura 1.1 - Mandioca - planta (A) e raiz (B).

Fonte: Notícias do Campo (2009).

As espécies de mandioca são divididas em duas grandes classes: a amarga ou brava (tóxica), de uso apropriado para industrialização e a doce ou mansa (atóxica), também chamada de aipim ou macaxeira, de uso mais frequente na culinária (WESTBY, 2002). De acordo com Salomão Junior et al. (1994), o que realmente as diferencia é o teor de glicosídeos cianogênicos, sendo que ambos os grupos podem ser utilizados pela indústria de mandioca, sem haver diferença significativa no rendimento. A mandioca doce ou mansa contém, geralmente, entre

um e dez miligramas de HCN por 100 g de polpa crua e a amarga ou brava entre 15 a 30 mg por 100 g de polpa crua (PINTO, 2008).

No cenário mundial a Nigéria aparece como maior produtora de mandioca, seguido pela Tailândia e Brasil. No Brasil, a mandioca é uma das principais culturas, tanto em área colhida, aproximadamente 1,6 milhões de hectares, quanto em valor da produção, sexto lugar dentre as culturas exploradas no País. Mesmo assim, apesar de sua importância, a média de produtividade de raízes tuberosas de mandioca é baixa, alcançando 26.423 kg.ha⁻¹ (IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009).

O cultivo da mandioca está presente em todos os estados brasileiros, porém sua concentração é maior na Região Nordeste, que vem participando com valores ligeiramente superiores a 35 % da produção nacional. A Região Norte também se caracteriza como importante produtor e consumidor dos produtos de mandioca. Já a Região Sul, além de importante produtora de raiz, conta com o maior número de indústrias, principalmente as de fécula (amido de mandioca), consideradas em sua maioria de médio e grande porte (FAO, 2010).

O plantio da mandioca, normalmente é feito no início da estação chuvosa, quando a umidade e o calor tornam-se elementos essenciais para a brotação e o enraizamento (MATTOS, 2000). Ela não tem época definida de maturação, após 8 meses já pode ser colhida, observando-se o teor de amido, que varia com as estações do ano, ou então em atendimento ao mercado e compromissos com a agroindústria. Esta margem de segurança na colheita ocorre em função da mandioca poder permanecer armazenada no solo, sendo colhida com um (8 a 12 meses) ou dois ciclos (13 a 24 meses) (JÚNIOR et al., 2002).

O amido é a substância de reserva das raízes de mandioca com teores que variam entre 20 e 30 % da matéria fresca e cerca de 80 a 90 % na matéria seca (VILELLA; FERREIRA, 1987). O mercado para o amido ainda está em crescimento e aperfeiçoamento, levando à busca de produtos com características específicas que atendam às exigências da indústria (LEONEL; JACKEY; CEREDA, 1998).

O processo de produção do amido (Figura 1.2), consiste na colheita ou recebimento das raízes, lavagem, descascamento, cominuição e/ ou ralação e prensagem da massa sob água corrente.

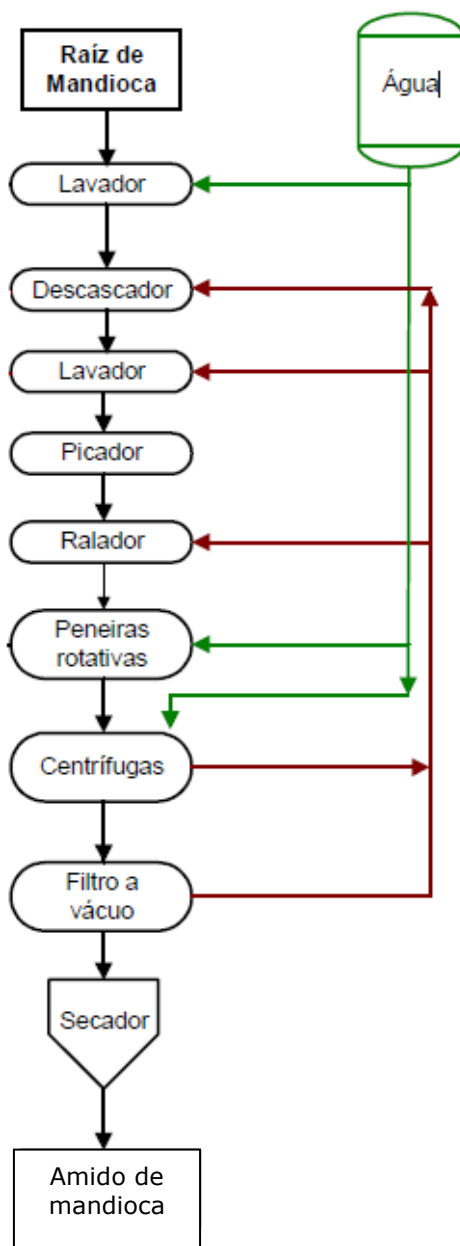


Figura 1.2 - Fluxograma sintético de produção do amido de mandioca.

Fonte: Adaptado de Pinto (2008).

O bagaço acumulado é eliminado e o amido é arrastado pela água e separado por decantação em tanques ou planos inclinados, ou por centrifugação. O amido de mandioca é seco em secadores de túnel ou *flash-dryers* (VILELA; FERREIRA, 1987).

Segundo Lavina (1993), a matéria-prima, mandioca, apresenta uma série de vantagens, se comparada a outras fontes de amido. Entre elas, pode ser citada a eliminação da etapa de maceração (hidratação), muito comum nos cereais. A mandioca, dispensa a reposição de água bem como etapas de purificação de componentes proteicos e lipídicos, devido às baixas quantidades destes compostos existentes nestes na sua composição química.

O processo de extração do amido tem como objetivo obter um produto com alto grau de pureza, devendo apresentar baixos conteúdos de proteínas, lipídeos, cinzas e fibras. As condições empregadas no processo variam de acordo com a espécie de amido e sua fonte botânica, e devem evitar ao máximo o dano mecânico ou modificação dos grânulos (MARQUES, 1989 apud CEREDA; LEONEL, 2000).

1.2 AMIDO

1.1.1 Estrutura e característica dos grânulos

O amido apresenta-se na forma de compostos de reserva de plantas e é responsável por cerca de 70 a 80 % das calorias consumidas pelo homem (WHISTER; BEMMILLER, 1997 apud COUTINHO; CABELLO, 2005).

Sendo formado nos plastídeos das plantas superiores, o amido é sintetizado nas folhas, onde serve como carboidrato de reserva temporário, acumulando-se nos cloroplastos durante o dia e servindo como fonte principal para a síntese de sacarose citosólica durante a noite. Essa sacarose é então transportada para os órgãos de armazenamento das plantas, como sementes, frutas, tubérculos e raízes, acumulando assim, amido nestes tecidos (TESTER et al., 2004; VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004).

O amido é o único polissacarídeo produzido em pequenos agregados individuais, denominados de grânulos (WHISTLER; DANIEL, 1993), como representado na Figura 1.3.

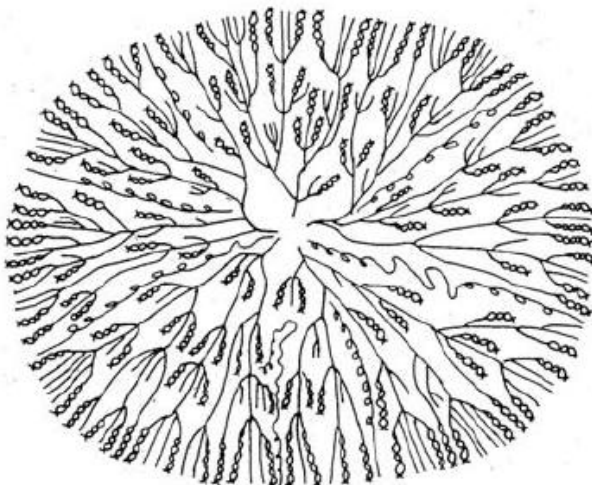


Figura 1.3 - Representação esquemática do grânulo de amido.

Fonte: Lineback (1986) apud Feniman (2004).

Dentre os polissacarídeos, somente o amido se organiza na forma de grânulos, que são pequenas unidades individuais e relativamente densas. Os grânulos se desenvolvem ao redor do ponto de nucleação, que é denominado de hilum e a forma e o tamanho variam entre os vegetais (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004; LIU, 2005).

Por estar ligado ao desenvolvimento da planta, a estrutura do amido está também intimamente relacionada às condições agronômicas do local na qual se dá o cultivo. Alterações de clima, por exemplo, podem influenciar na formação do grânulo e na deposição do amido. Esses fatores, por sua vez, podem interferir sobre o tamanho e formação do grânulo de amido (DAIUTO; CEREDA, 2004).

Estruturalmente, o amido é um homopolissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina (Figura 1.4). A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α - (1, 4), originando uma cadeia linear, podendo apresentar pequenas ramificações (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004; LIU, 2005). Já a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em α - (1, 4) e com pontos de ramificações α - (1,6), formando uma estrutura ramificada (WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005).

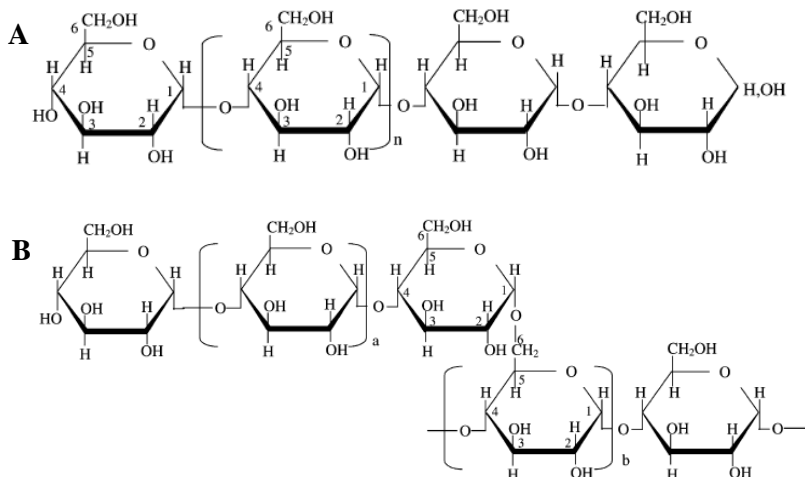


Figura 1.4 - (A) amilose e (B) amilopectina.

Fonte: Morrison (1996).

Não se sabe com certeza o comprimento das cadeias de amilose, mas sabe-se que contém milhares de unidades de glicose, de tal modo que a massa molecular varia de 1×10^5 a 1×10^6 g.mol⁻¹. A amilopectina é uma molécula muito maior, que apresenta centenas de milhares a milhões de unidades de glicose por molécula (JANE, 2003). Cerca de 4 à 5 % das unidades de glicose estão envolvidas em ligações $\alpha(1,6)$ (COULTATE, 1998).

A funcionalidade do amido, assim como a organização física na estrutura granular é, em grande parte, atribuída à proporção entre a amilose e a amilopectina (AMANTE, 1986; BILIADERES, 1991).

O teor de amilose e amilopectina varia de uma fonte para outra (Tabela 1.1) e com o grau de maturação das plantas sendo que, as diferentes proporções destes polímeros influenciam na viscosidade e gelatinização do amido (BOBBIO; BOBBIO, 1995).

A amilopectina absorve muita água durante a cocção do amido, sendo a grande responsável pelo inchamento do grânulo. Portanto, amidos ricos em amilopectina são mais solúveis em água a 95 °C do que os que contêm muita amilose. Já durante o aquecimento do grânulo de amido em meio aquoso, a amilose contribui na viscosidade da fase contínua da dispersão amido-água (GALLANT; BOUCHET; BALDWIN, 1997).

Tabela 1.1 - Conteúdo de amilose de amidos de diversas fontes.

Fontes de Amido	Teor de amilose (%)
Arroz Ceroso*	0
Milho Ceroso*	0
Milho	25
Arroz	16
Batata Doce	18
Mandioca	18
Batata	18
Banana	21
Trigo	24
Ervilha	30
Milho com alto teor de Amilose	80

* Amido contendo predominantemente amilopectina.

Fonte: Bobbio e Bobbio (1995)

A amilose pode estar presente sob a forma de complexos amilose-lipídeos ou de amilose livre. Os complexos amilose-lipídeos, embora detectados no amido nativo, possivelmente sejam formados em maior extensão durante o tratamento hidrotérmico ou a gelatinização (ELIASSON, 1996; ELIASSON, 2004; TESTER et al., 2004; VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004).

A amilopectina é, estrutural e funcionalmente, a mais importante das duas frações, pois sozinha é suficiente para formar o grânulo, como ocorre em mutantes que são desprovidos de amilose. Quanto à amilose, sua localização exata dentro do grânulo ainda não é clara. Acredita-se que a amilose esteja localizada entre as cadeias da amilopectina e aleatoriamente entremeada entre as regiões amorfas e cristalinas. As moléculas de amilose maiores estão concentradas no centro do grânulo e, provavelmente, formam duplas hélices associadas com a amilopectina, enquanto as moléculas menores presentes na periferia podem ser lixiviadas para fora do grânulo. Apesar de seu papel limitado na formação de cristais, a amilose pode influenciar a organização das duplas hélices, interferindo na densidade de empacotamento das cadeias de amilopectina (OATES, 1997; TESTER et al., 2004). Além disso, estudos recentes (BAKER et al., 2001; KUAKPETOON; WANG, 2007) sugerem que parte da amilose pode cristalizar-se juntamente com a amilopectina, formando lamelas cristalinas. Porém, a organização exata

desses componentes dentro do grânulo ainda não está totalmente esclarecida.

No grânulo coexistem moléculas lineares (amilose) e ramificadas (amilopectina) unidas por ligações de hidrogênio, resultando em regiões cristalinas ou micelas (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004) (Figura 1.5).

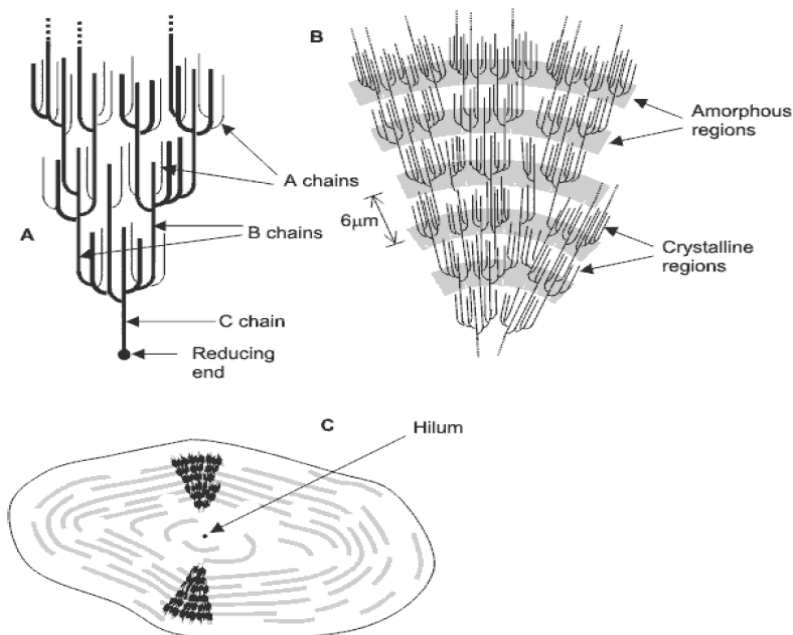


Figura 1.5 - A) Classificação das cadeias da amilopectina em tipo A, B e C. B) Estrutura da amilopectina formando as regiões amorfas e cristalinas no grânulo de amido. C) Modelo da estrutura interna do grânulo de amido com a visualização dos anéis de crescimento e centro ou hilum.

Fonte: Adaptado de Parker e Ring (2001).

As longas cadeias de polissacarídeos do grânulo de amido se associam entre si por meio de ligações de hidrogênio, resultando em cristalinidade que é atribuída a amilopectina. Com base na cristalinidade, o amido pode ser classificado em formas A, B, C, das quais a A e B encontram-se presentes nos cereais e a forma C, considerada uma mistura das anteriores, é encontrada na maioria dos tubérculos, leguminosas e sementes (FREITAS, 2002)

Biliaderis (1992) afirma que são as regiões cristalinas do amido que mantêm a estrutura do grânulo, controlam o seu comportamento na

presença de água e os tornam mais ou menos resistentes aos ataques químicos e enzimáticos. A região amorfa dos grânulos de amido são menos densas, portanto, mais susceptíveis ao ataque enzimático e absorvem mais água em temperaturas abaixo da temperatura de gelatinização. Não existe uma demarcação entre as regiões amorfas e cristalinas, o que existe são evidências de uma estrutura supramolecular onde as fases amorfas e cristalinas são interdependentes. Os grânulos intactos apresentam três padrões de difração de raio x. A maioria dos amidos de cereais apresentam padrão A, os amidos de batata, outras tuberosas e amidos retrogradados têm padrão B e leguminosas possuem padrão C (HOSENEY, 1986). Adicionalmente, quando moléculas de amilose associam-se com lipídeos no grânulo de amido, é visualizado um padrão de raios x tipo V, que é parcialmente resistente à digestão enzimática (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

A amilopectina tem um papel principal na cristalinidade dos grânulos de amido. Altas temperaturas de gelatinização têm sido relatadas como resultantes do alto grau de cristalinidade, que fornece estabilidade estrutural aos grânulos e maior resistência a gelatinização. Assim, a presença de amilose reduz o ponto de fusão das regiões cristalinas e a energia para iniciar a gelatinização, pois as cadeias longas de amilopectina requerem uma maior temperatura para dissociar completamente, do que aquela requerida para cadeias mais curtas das duplas hélices. Amidos com altos conteúdos de amilose têm maior região amorfa, e perdem cristalinidade em temperaturas menores de gelatinização (SINGH et al., 2003).

Os grânulos de amido apresentam birrefringência quando observados em microscópio óptico sob luz polarizada, o que indica um certo grau de organização molecular. A parte linear da molécula de amilopectina forma estruturas helicoidais duplas, estabilizadas por ligações de hidrogênio entre grupamentos hidroxila. São elas que dão origem às regiões cristalinas dos grânulos. A região amorfa é composta pelas cadeias de amilose e pelas ramificações da amilopectina (SOUZA; ANDRADE, 2000).

A refração pelas suas regiões cristalinas resulta no modelo típico de “Cruz de Malta” (Figura 1.6), o que caracteriza a orientação radial das macromoléculas. O centro ou “hilum”, encontrado no centro da cruz, é considerado o ponto original de crescimento do grânulo. Essa propriedade de birrefringência é devida ao alto grau de orientação molecular interna, não tendo qualquer relação com a forma cristalina em particular (ELIASSON, 2004; LAJOLO; MENEZES, 2006).

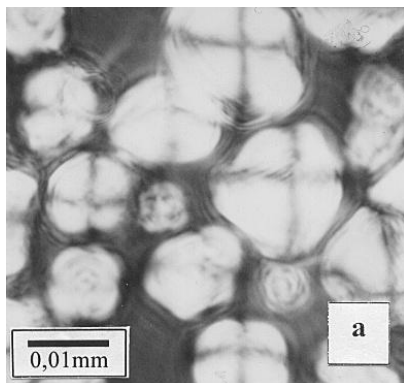


Figura 1.6 - Micrografias das dispersões de amido a 5 g.l⁻¹ à 25°C; aumento de 100 vezes sob luz polarizada.

Fonte: Souza e Andrade (2000).

Os grânulos de amido são insolúveis em água fria; no entanto, se a continuidade da membrana exterior tiver sido destruída pela moagem, a absorção de água pode ser facilitada. Por tratamento do grânulo intacto com água quente, uma parte, solúvel, do amido difunde através da parede do grânulo; em água quente os grânulos incham tanto que acabam por romper (MORRISON, 1996) e, conseqüentemente, com perda da birrefringência. Por tratamento ácido ou pela ação de enzimas, os componentes do amido hidrolisam lentamente, originando dextrinas (uma mistura de oligossacarídeos de baixo peso molecular), (+) maltose e, finalmente, D-(+)-glicose (MORRISON, 1996).

Assim, a compreensão da estrutura dos grânulos de amido é de extrema importância para o entendimento de suas propriedades físico-químicas, as quais determinam o comportamento do amido natural, nos mais diversos processos industriais a que normalmente são submetidos (BEMILLER, 1997).

1.2.1 Caracterização do amido

1.2.1.1 Propriedades físico-químicas e morfológicas do amido de mandioca

O amido é constituído apenas de carboidratos. No entanto, o produto industrial apresenta outras substâncias tais como: matéria graxa, proteínas e cinzas. Essas substâncias são partes da própria planta de onde o amido foi extraído. A quantidade delas no amido depende da

composição da planta e do método de extração e purificação. Quanto menor o teor destas substâncias, melhor a qualidade do amido. Teores menores também refletem processos de extração e purificação mais eficientes (CEREDA, 2001).

De modo geral, o amido de mandioca é constituído do polissacarídeo quase puro (99,26 %), contendo aproximadamente 0,34 % de proteína, 0,22 % de gordura e 0,06 % de cinzas (VELIKAVA; DINT' TKLYONG, 1971 apud AMANTE, 1986).

As propriedades do amido são resultados de características tais como tamanho dos grânulos, teores de amilose e amilopectina e tipo de cadeias destes polímeros. Dependem também de outros constituintes que estão presentes no amido como fósforo, ou de resíduos da extração (CEREDA et al., 2001).

A literatura denomina os componentes fibras, açúcares totais e proteínas que ficam após a extração de fração não amilácea. Menor fração não amilácea proporciona maiores rendimentos de extração e processos industriais mais simples (FRANCO et al., 2001). Trabalho recente de Maieves et al. (2011), demonstrou que quanto maior o teor de amido na matéria-prima, menor a quantidade de resíduos sólidos gerados.

Recursos analíticos avançados vêm colaborando para a caracterização de amidos, tais como a ressonância magnética nuclear (RMN), a calorimetria diferencial de varredura (DSC), raios x e infravermelho (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

Outros parâmetros mais simples, como o pH têm relação com a natureza do amido, nativo, fermentado ou modificado. Enquanto a maioria dos amidos nativos apresentam pH próximo da neutralidade, no polvilho azedo, um amido naturalmente modificado por ácidos e enzimas, o pH está em torno de 3,5, o que caracteriza o produto (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

A previsão dos efeitos dos agentes e dos processos de modificação sobre os amidos, como matérias-primas, são dependentes das características dos grânulos, as quais diferem mesmo em uma mesma espécie vegetal (WHISTLER; PASCHAL, 1965). A densidade absoluta, por exemplo, é uma característica do grânulo que permite prever a susceptibilidade à ação de enzimas na hidrólise enzimática, para a produção de maltodextrinas (PERONI, 2003).

O tamanho e forma dos grânulos podem ser avaliadas através da técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) (SOUZA; ANDRADE, 2000). O tamanho e a forma dos grânulos de amido variam com a espécie, conforme mostrado na Figura 1.7, e a distribuição de

tamanho varia com o estágio de desenvolvimento da planta e forma de tuberização. Outro parâmetro interessante é a regularidade na forma, ou seja, diferença entre diâmetros, que indica regularidade do tamanho. Baixa variabilidade das medidas é uma característica desejável para papéis como os usados para cópias e fax (LEONEL, 2007).

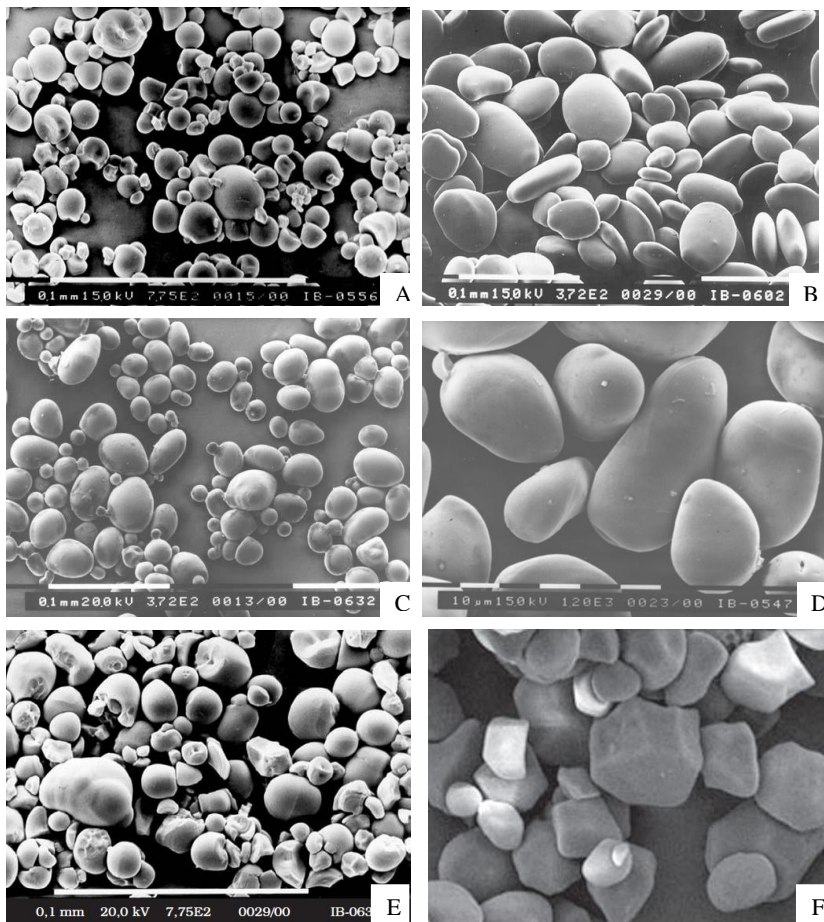


Figura 1.7 - Fotomicrografias dos amidos de mandioca (A), biri (B), batata (C) e araruta (D), mandioquinha-salsa (E) e milho (F).

Fonte: Adaptado de Leonel (2007).

Os grânulos de amido de mandioca apresentam diâmetros similares aos de amido de milho, porém são morfologicamente diferentes. São ovais ou redondos com alguns côncavo convexos característicos. Não são vistos estriamentos nos grânulos e, sob luz polarizada observam-se claramente a cruz de malta. O tamanho varia de 5 a 35 μm de diâmetro com a média de 20 μm (CEREDA, 2001).

Sriroth et al. (1999), estudando a influência do tempo de colheita em quatro cultivares comerciais de mandioca na Tailândia sobre a estrutura dos grânulos de amido, observaram através da análise de tamanho de grânulos de amido, utilizando sistema de análise de imagem (Carl Zeiss, KS 400 v2) acoplado a microscópio óptico (Axiophol 2 Zeiss), que a distribuição de tamanho dos grânulos foi afetada pela idade da raiz. Ocorreu, ainda, uma mudança gradativa de uma distribuição normal para bimodal, ou seja, com dois picos representando faixas distintas de tamanho de grânulos de amido.

1.2.1.2 Susceptibilidade à ação enzimática

Os principais grupos de enzimas que hidrolisam amidos são α -amilase, β -amilase, glicoamilase e enzimas desramificantes (isoamilases e pululanases) (ROBINSON, 1991; FELLOWS, 1994).

As α -amilases (α - D- (1,4)-glucan 4- glucanohidrolases) são endoenzimas, podendo ser de origem bacteriana ou fúngica. Estas enzimas hidrolisam a amilose e a amilopectina clivando as ligações glicosídicas nas ligações α -(1,4), ao acaso, iniciando o ataque pelas extremidades não redutoras, deixando as ligações α -(1,6) intactas, originando α -maltose, dextrinas- limite (com 3 a 4 resíduos de glicose) e poucas moléculas de glicose (AMANTE, 1986). A α -amilase é ativada por íons Ca^{+2} . Acredita-se que os íons Ca^{+2} estabilizam a conformação global da enzima, podendo-se encontrar até 10 átomos de Ca^{+2} por mol de enzima. Sua atividade ótima é com pH entre 6 e 8 (WHITAKER; VORAGEN; WONG, 2003; MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

As α -amilases são inativadas em alimentos ácidos e sua atividade é avaliada medindo-se a redução da capacidade da solução de amido em formar a cor azul característica com o iodo. O maior efeito desta enzima é a redução da viscosidade final da pasta (ROBINSON, 1991).

A ação das α -amilases na amilose ocorre em duas etapas. Na primeira, há uma rápida e completa conversão da amilose até maltose e maltotriose, resultando do ataque casual da enzima sobre o substrato. A segunda etapa se dá muito lentamente, com a hidrólise dos

oligossacarídeos, formando maltose e pouca glicose (REED, 1975 apud MOORE, 2001). A lentidão dessa etapa é explicada por Zanin (1989), com a observação do aumento contínuo de K_m (Constante de Michaelis-Menten), com a diminuição da cadeia polimérica e a diminuição de $V_{máx}$ (velocidade máxima de formação da glicose) a partir de um substrato com 8 unidades de glicose. O sítio catalítico é composto por 8 subsítios, sendo o ponto de clivagem localizada entre o sexto e o sétimo subsítio; portanto, os substratos que não são suficientemente longos não conseguem preencher todos os subsítios de alta energia de ligação (MARCON; AVANCINI, AMANTE, 2007).

As β -amilases (α - D- (1,4)- glucan maltohidrolases), são exoenzimas e hidrolisam a cadeia de amido na penúltima ligação glicosídica, nas extremidades não redutoras, formando resíduos de β -maltose (BARFOED, 1976; PAZUR, 1965 apud AMANTE, 1986). Sua atividade ótima é em pH entre 4 e 5 (ROBINSON, 1991).

As glicoamilases (α -D-(1,4)- glucan 4- glucoidrolases), também conhecidas como amiloglucoamilases, são exoamilases que clivam as ligações glicosídicas α - (1,4), α -(1,6) e α - (1,3), transformando a amilose, a amilopectina e os malto-oligossacarídeos completamente em D-glicose, a partir das extremidades não redutoras das moléculas de amido (AMANTE, 1986; MOORE, 2001 apud MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

Amidos com diferentes morfologias têm mostrado diferenças na susceptibilidade à hidrólise enzimática. Segundo Hoover e Zhou (2003), grânulos de amidos de leguminosas são mais susceptíveis a α - amilase pancreática do que amidos de batata ou milho com teor elevado de amilose, mas menos susceptíveis do que grânulos de amido de cereal ou mandioca.

A hidrólise enzimática também tem sido utilizada como ferramenta que possibilita a compreensão da estrutura física e química do grânulo de amido e de seus componentes. A velocidade de hidrólise dos grânulos de amido depende, fortemente, da origem botânica, do sistema enzimático utilizado e do tamanho dos grânulos, entre outros fatores (FRANCO; CIACCO, 1992; FRANCO et al., 1998).

Em estudos realizados por Rocha, Carneiro e Franco (2010), em amidos de mandioca, batata-doce, mandioquinha- salsa e batata, o amido de mandioca se mostrou mais susceptível à enzima, com 20,9 % de hidrólise, enquanto que o amido de batata foi o mais resistente, apresentando, sob as mesmas condições 5,9 % de hidrólise.

Gunaratne e Hoover (2002) mostraram diferenças de susceptibilidade enzimática entre os amidos usando α - amilase

pancreática de suíno. As diferenças têm sido atribuídas ao tamanho do grânulo, área superficial, tipo de unidade celular (A, B ou A + B), proporção entre amilose e amilopectina, complexo amilose-amilopectina, cristalinidade e comprimento da distribuição dos pontos de ramificação α - (1,6) entre as áreas amorfas e cristalinas da amilopectina.

Gunaratne e Hoover (2002) concluíram que a diferença de tamanho dos grânulos e a presença dos pontos de ramificação α - (1,6) nas regiões cristalinas dos amidos do tipo A são os fatores que influenciam para a hidrólise dos amidos nativos, pois o conteúdo de amilose, o complexo amilose-lipídeo e a cristalinidade foram significantes entre os amidos estudados.

Segundo Franco et al. (2001) as áreas cristalinas do amido mantêm a estrutura do grânulo, controlam o seu comportamento na água, tornando-o relativamente resistente ao ataque enzimático e químico.

1.2.1.3 Solubilidade e inchamento dos grânulos de amido

O inchamento e a solubilidade do grânulo variam de acordo com a fonte do amido, fornecendo evidências da interação entre as cadeias nos domínios amorfos e cristalinos dos polissacarídeos. A extensão destas interações é influenciada pela proporção amilose: amilopectina e pelas características dessas moléculas (distribuição e peso molecular, grau e comprimento de ramificações e conformação) (SINGH et al., 2003).

Com a entrada de água, grande parte da amilose deixa os grânulos e contribui para o índice de solubilização, determinado após centrifugação do gel de amido, no sobrenadante. A tendência para a saída da amilose está na dependência da conformação do grânulo e no envolvimento desta com as regiões amorfas, constituídas principalmente pela amilopectina. Assim, a avaliação do poder de inchamento e do índice de solubilização contribui para estimar o tipo de organização existente no interior dos grânulos de amido (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

O poder de inchamento é uma medida da capacidade de hidratação dos grânulos, porque a sua determinação consiste no peso do grânulo intumescido (inchado) e da água oclusa (ASAOKA et al., 1992 apud MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007)

Quando os grânulos de amido intactos são colocados em água fria, não são solúveis, mas podem reter pequenas quantidades de água,

causando um pequeno inchamento reversível (HOSENEY, 1986; WHISTLER; DANIEL, 1993). No entanto, quando o amido é aquecido em excesso de água, acima da temperatura de gelatinização, a estrutura cristalina é rompida devido ao relaxamento das ligações de hidrogênio e as moléculas de água interagem com os grupos hidroxilas da amilose e da amilopectina. Isso causa um aumento do tamanho do grânulo devido ao inchamento, com solubilização parcial (HOOVER, 2001).

Quando a temperatura da água é aumentada, as moléculas de amido vibram vigorosamente, rompendo as ligações intermoleculares e permitindo a formação de ligações de hidrogênio com a água. A penetração da água na estrutura do grânulo e a separação progressiva de maiores segmentos de cadeias de amido aumentam ao acaso a estrutura geral e diminuem o número de regiões cristalinas (WHISTLER; DANIEL, 1993 apud MARCON, 2009). O aquecimento contínuo, em presença de água abundante, resulta na completa perda da cristalinidade (WHISTLER; DANIEL, 1993).

1.2.1.4 Propriedades de gelatinização do amido

O termo “gelatinização” é utilizado para descrever a expansão e hidratação dos grânulos de amido quando estes são aquecidos na presença de água (SOARES, 2003). O processo de gelatinização é seguido pelo rompimento da ordem molecular dos grânulos e, conseqüentemente, perda da cristalinidade. A ausência de cristalinidade pode ser visualizada através da perda da cruz de malta (birrefringência), alteração do espectro de raios x e o aparecimento de uma endoterma de gelatinização (MACGREGOR; FINCHER, 1993).

O momento em que desaparece a birrefringência é conhecido como ponto ou temperatura de gelatinização, que normalmente ocorre dentro de uma faixa de temperaturas, gelatinizando primeiramente os grânulos maiores e posteriormente os menores (WHISTLER; DANIEL, 1993).

Já o empastamento é o fenômeno seguinte a gelatinização na dissolução de amido. Envolve inchamento granular, separação dos componentes moleculares e, eventualmente, total rompimento dos grânulos. É nesta etapa que ocorre o aumento da viscosidade do gel (BENINCA, 2008).

O aquecimento contínuo do grânulo de amido em excesso de água, além de causar a perda da cristalinidade, também resulta no inchamento do grânulo e solubilização parcial dos polímeros (principalmente amilose) com aumento de viscosidade, gerando uma

pasta. A construção de curvas de viscosidade tem sido útil na avaliação das alterações do grânulo (WHISTLER; BEMILLER, 1999).

As mudanças de viscosidade em suspensões amiláceas, devido ao intumescimento do grânulo de amido durante o aquecimento são comumente avaliadas em viscoamilógrafos como o Brabender e o Rápido Viscoanalisador (RVA) (DEMIATE; WOSIACK; CEREDA; MESTRES, 2005).

A avaliação da viscosidade de amidos feita no aparelho Brabender apresenta uma boa habilidade discriminativa no perfil de empastamento. Entretanto, o longo tempo de análise, a grande quantidade de amostra requerida, a pequena reprodutibilidade de instrumento para instrumento e o difícil procedimento de calibração vêm motivando o uso do RVA, que está se tornando muito popular para análise das propriedades de pasta dos amidos (THOMAS; ATWELL, 1999). O perfil de empastamento de amidos obtidos pelo RVA inclui pico de viscosidade, tempo para atingir este pico, quebra, viscosidade final, temperatura de pasta e tendência a retrogradação (*setback*) (THOMAS; ATWELL, 1999), como mostrado na Figura 1.8.

A construção das curvas de viscosidade representa importante ferramenta para as observações do comportamento do gel de amido e suas relações com as condições de processamento: aquecimento, agitação e resfriamento (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

Durante a fase inicial de aquecimento, um aumento na viscosidade é registrado no RVA quando os grânulos começam a inchar. Neste ponto, polímeros com menor massa molecular, particularmente moléculas de amilose, começam a ser lixiviadas dos grânulos. Um pico de viscosidade é obtido durante o empastamento, quando os grânulos, em sua maioria, estão totalmente inchados, havendo também grânulos intactos e o alinhamento molecular dos polímeros solubilizados ainda não ocorreu dentro do campo de atrito do instrumento. Durante a fase de temperatura (95 °C) e agitação constantes os grânulos começam a quebrar, a solubilização dos polímeros continua e o alinhamento molecular ocorre dentro do campo de atrito do instrumento, causando uma diminuição da viscosidade (THOMAS; ATWELL, 1999).

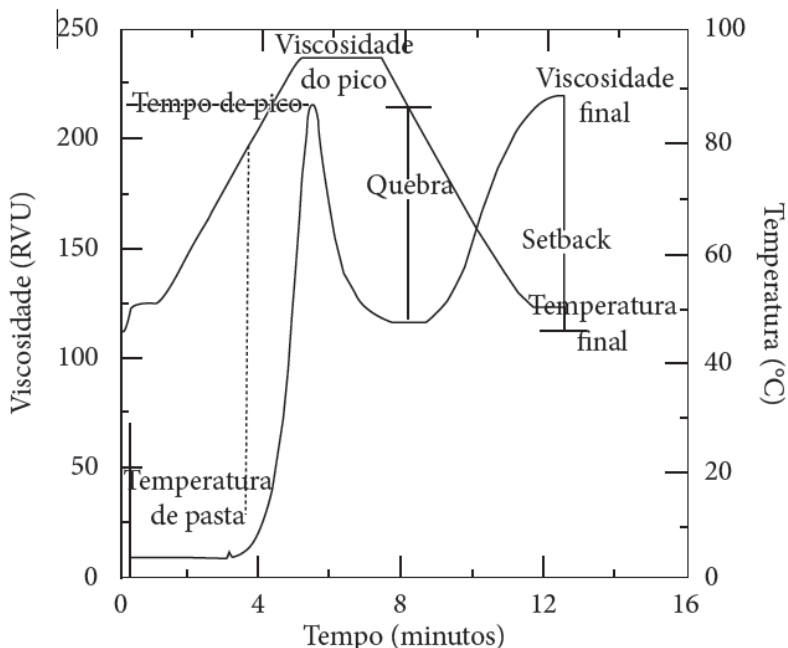


Figura 1.8 - Curva de viscosidade típica do RVA mostrando os parâmetros comumente avaliados.

Fonte: Newport Scientific (1998).

Ao ocorrer o resfriamento, alguns polímeros de amilose e amilopectina solubilizados começam a se reassociar, formando um precipitado ou gel ocorrendo um aumento na opacidade da pasta. Este processo é chamado retrogradação ou *setback* (WHISTLER; BEMILLER, 1997) e ocorre aumento da viscosidade. Dependendo do tipo de amido (da fonte botânica, ou se é um amido natural ou modificado), do nível de sólidos, do pH e do regime de aquecimento, vários perfis de gelatinização e empastamento podem ser gerados (THOMAS; ATWELL, 1999).

A gelatinização e a formação da pasta ocorrem porque, como a temperatura da suspensão amido-água aumenta, as moléculas do grânulo vibram e giram tão violentamente que as ligações de hidrogênio intermoleculares são quebradas e substituídas por ligações de hidrogênio da molécula de água, produzindo uma hidratação extensiva (HOSENEY, 1991; WHISTLER; BEMILLER, 1999).

Segundo Denardin e Silva (2009), devido à maior importância da amilopectina na cristalinidade do grânulo de amido, a presença da amilose reduz o ponto de fusão das regiões cristalinas e também a energia para o início da gelatinização; uma vez que mais energia é necessária para iniciar a fusão na ausência de regiões amorfas ricas em amilose.

Os géis de amido são fluidos não-newtonianos que podem exibir uma tensão de cisalhamento inicial a baixas taxas de deformações (GIBOREAU et al., 1994 apud RAO et al., 1997). Estudos em reologia têm mostrado que a maioria dos alimentos apresenta comportamento pseudoplástico, mas dispersões de amido gelatinizado, além de apresentarem comportamento pseudoplástico, também podem se comportar como um fluido dilatante, sendo que esse tipo de comportamento é de grande interesse nas indústrias de alimentos (RAO et al., 1997 apud COUTINHO ; CABELLO, 2005).

Para o controle das propriedades reológicas finais de produtos alimentícios à base de amido, é necessário ter conhecimento da influência da temperatura e seus efeitos no comportamento reológico do amido nas diferentes etapas do processo (LAGARRIGUE; ALVAREZ, 2001).

As propriedades reológicas dos diferentes amidos podem variar como função da estrutura do grânulo e composição físico-química. Várias mudanças reológicas ocorrem nos amidos quando os mesmos são colocados em água e aquecidos acima da temperatura de gelatinização (ABRAHAM; SIMI, 2008).

1.2.1.5 Retrogradação

Uma propriedade relacionada à gelatinização é a retrogradação, sendo uma importante propriedade funcional em alimentos que contêm amido.

A tendência a retrogradação é um parâmetro que auxilia na estimativa da estabilidade do gel de amido na estocagem. Amidos que tendem a retrogradar aumentam a opacidade durante a estocagem, por isso a determinação da retrogradação pode ser realizada através da medida da transmitância do gel de amido na estocagem sob refrigeração (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

Com o resfriamento do gel, as cadeias de amido perdem energia e as ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxila das moléculas de amilose adjacentes ficam mais fortes, proporcionando firmeza ao gel e aumento da sua opacidade, formando microcristais, como consequência

da progressiva associação das moléculas em partículas maiores. Ocorre então a precipitação do amido da solução (AMANTE, 1986; HOSENEY, 1986). Esse processo de cristalização das cadeias de amido é chamado de retrogradação (SANDERSON, 1981; MARCON; AVANCINI, AMANTE, 2007).

O conteúdo de amilose foi descrito como sendo um dos fatores que influencia a retrogradação do amido. Uma maior proporção de amilose tem sido tradicionalmente ligada com uma maior tendência a retrogradação nos amidos. Mas a amilopectina, materiais intermediários, tamanho e forma dos grânulos e fonte botânica, também têm um papel importante na retrogradação durante o armazenamento refrigerado (SINGH et al., 2003).

As características de retrogradação da amilose e amilopectina são cineticamente diferentes. A amilose retrograda mais rapidamente, tendo forte tendência a reassociar-se por meio da formação de ligações de hidrogênio com outras moléculas de amilose adjacentes, formando estruturas cristalinas de duplas hélices quando a solução resfria e se mantém por longo período de tempo. A amilose apresenta endoterma de fusão de 140°C a 180°C, e a presença de ácidos graxos livres e/ou lipídeos favorecem a formação de complexos de inclusão. Por outro lado, a amilopectina retrograda em uma velocidade muito menor durante um longo período de tempo, e sua endoterma de fusão é menor, aproximadamente 45 a 60 °C (PARKER; RING, 2001; THARANATHAN, 2002).

A retrogradação é dependente da massa molecular dos polímeros envolvidos, sendo maior em cadeias de tamanho médio e grande; as cadeias menores desenvolvem movimento browniano, impedindo a formação de associações duráveis (AMANTE, 1986).

Outros fatores como pH, temperatura, e teor de fosfolipídeos exercem influência sobre a retrogradação. Ácidos fortes em pequenas concentrações concorrem para o rompimento das ligações α -(1,6) das ramificações, facilitando a ocorrência da retrogradação. Com o aumento do pH a retrogradação é diminuída, sendo que em soluções alcalinas ela é inexistente. Já a temperatura exerce efeito sobre o movimento browniano das moléculas. Em temperaturas altas o movimento é intensificado e em temperaturas muito baixas ele é praticamente inexistente. Em ambos os casos, a associação molecular é dificultada (AMANTE, 1986)

As pastas de amidos de milho, trigo ou arroz, que contêm teores relativamente elevados de amilose se tornam opacas e formam géis durante o resfriamento. Pastas obtidas de féculas de batata ou de

mandioca, por outro lado, geralmente permanecem mais claras (menos opacas) e, embora ao resfriarem apresentem um certo aumento de viscosidade, não chegam a formar géis opacos. No caso de pastas de amido de milho ceroso, as mesmas se comportam como as obtidas de féculas (amidos de tubérculos e raízes), tendo inclusive menor tendência à retrogradação (WURZBURG, 1986).

1.3 O AMIDO DE MANDIOCA

As fontes de amido mais utilizadas mundialmente são, em grande parte, as de cereais como milho e trigo, e as de raízes e tubérculos, como mandioca, batata e batata-doce (FRANCO; DEMIATE; ROCHA, 2008).

Uma das razões para escolher o amido de mandioca é o baixo custo, devido à grande produção no Brasil. O amido de mandioca apresenta características físico-químicas de grande interesse industrial, mas como sua aplicação ocorre principalmente em países tropicais, surge a necessidade do desenvolvimento de amidos que apresentem novas propriedades funcionais. Nos países da América do Sul, existe a produção de amido de mandioca fermentado e seco ao sol, produto conhecido por polvilho azedo. Esse amido é capaz de gerar massas que, quando assadas, se expandem sem a necessidade de adição de fermento ou de processo de extrusão (DEMIATE et al., 1997; DEMIATE; CEREDA, 2000).

O amido de mandioca é facilmente extraído, já que as raízes contêm pequenas quantidades de proteínas, gorduras e outros componentes. Dessa forma, o processo de extração é simples e o amido obtido é puro e branco. O conteúdo de lipídeos no amido de mandioca é pequeno (< 0,1 %); com isso o amido e seus derivados não apresentam sabor e aroma de cereais, o que é desejável para muitos produtos alimentícios. Na indústria alimentícia, principalmente no setor frigorífico, é um importante substituto para o amido de milho (DEMIATE et al., 2005).

O amido de mandioca apresenta cerca de 18 % de amilose, enquanto que os amidos de cereais possuem em torno de 22 %. Devido a essa diferença, os géis de amidos de cereais são mais rígidos, enquanto que os de tuberosas são mais viscosos e transparentes (FRANCO et al., 2002).

O amido de mandioca apresenta forma arredondada com uma das extremidades truncada apresentando tamanho de grânulos que variam de 5 a 40 µm (JANE et al, 1994). Quando aquecido em água, este amido

apresenta alta viscosidade a quente e baixa tendência a retrogradação (SWINKELS, 1985). Sua pasta é transparente e apresenta boa claridade. Dentre os amidos de raízes e tubérculos, é um dos que apresenta menor temperatura inicial de gelatinização, que em média, gira em torno de 60 °C (HOOVER, 2001). Apesar da pouca estabilidade térmica que o gel de amido de mandioca apresenta, sua baixa temperatura de pasta, baixa tendência a retrogradação, alta claridade da pasta, além do sabor neutro, o qualificam como um bom ingrediente a ser utilizado em diversos produtos alimentícios.

A consistência das pastas de amido de mandioca aumenta muito pouco com o resfriamento, o que indica baixo potencial para a formação de gel, ao contrário do que ocorre com cereais e leguminosas (RICKARD et al., 1991 apud MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

Ele também é de alta expansão, pois os seus grânulos sofrem grande inchamento quando aquecidos em água, porém as forças associativas internas tornam-se frágeis com agitação mecânica, fazendo com que o amilograma apresente pico de viscosidade seguido de acentuada queda durante o cozimento (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007). Já o poder de inchamento e a solubilização observados em amidos de tubérculos e raízes são maiores do que os observados em amidos de cereais.

O amido de mandioca destaca-se em relação aos demais amidos em virtude de sua alta capacidade de retenção de água, baixa temperatura de gelatinização e por não apresentar odor característico de cereal (LABELL, 2009). Este amido também aumenta o sabor liberado durante a mastigação de produtos que os contenham, devido o fato das moléculas constituintes do amido liberarem lentamente as ligações de água durante a mastigação, permitindo maior efeito de sabor e suculência do produto final (LYONS et al., 1999).

1.3.1 Aplicações do amido de mandioca e a importância das propriedades físico-químicas e reológicas do amido

Devido às suas propriedades físico-químicas e funcionais exclusivas, o amido de mandioca tem grande importância nos diversos setores industriais (FRANCO; DEMIATE; ROCHA, 2008).

As indústrias alimentícias são as maiores consumidoras de amido, entretanto, este polímero é usado também em um grande número de processos industriais, destacando-se seu uso pelas indústrias química e têxtil (CEREDA, 1996). Devido às restrições a amidos modificados

impostas principalmente pelas indústrias alimentícias, as empresas produtoras de amido vêm mostrando interesse cada vez maior em amidos naturais com características que atendam ao mercado consumidor. Diante deste fato, as pesquisas em torno de novas matérias-primas amiláceas têm se intensificado nos últimos anos. Neste ponto, os países em regiões tropicais, como o Brasil, apresentam grande vantagem em relação aos principais produtores de amido no mundo, que estão localizados em regiões temperadas, devido à variedade de culturas tropicais amiláceas (CEREDA, 2002).

Dentre as amiláceas tropicais, merecem destaque, além da mandioca cujo Brasil é o terceiro país que mais a produz no mundo, a araruta (*Maranta arundinacea*), a mandioquinha salsa (*Arracacia xanthorrhiza*) e a batata-doce (*Ipomoea batatas*), visto o interesse do mercado consumidor, principalmente para uso desses amidos em panificação e “*baby foods*” (CEREDA, 2002).

O emprego industrial do amido se deve à sua característica única, de poder ser usado diretamente na forma de grânulos, de grânulos intumescidos, na forma dispersa, como filme obtido da secagem de uma dispersão ou após extrusão, depois da conversão a uma mistura de oligossacarídeos ou a glicose, que pode ser isomerizada enzimaticamente para frutose (GUILBOT; MERCIER, 1985; CEREDA, 2002).

Na indústria de alimentos nacional e internacional o amido é utilizado como ingrediente, podendo, entre outras funções, facilitar o processamento, fornecer textura, servir como espessante, ligante de água ou de gordura, além de fornecer sólidos em suspensão ou proteger os alimentos durante o processamento (CEREDA, 2001; DEMIATE; PEDROSO, 2008). Pode ser utilizado na sua forma natural ou, por intermédio de processamentos adicionais, dar origem a produtos como amidos modificados, xaropes de glicose, maltose ou frutose e maltodextrinas, entre outros (FRANCO et al., 2001). A Figura 1.9 apresenta algumas potencialidades do amido, tanto em sua forma *in natura* quanto modificada.

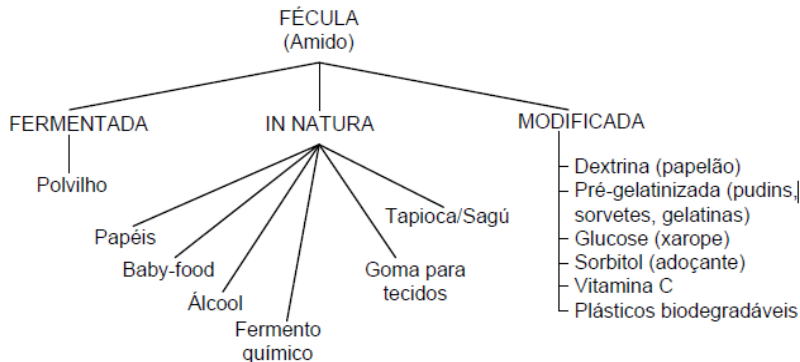


Figura 1.9 - Potencialidade do uso do amido no Brasil.

Fonte: EMBRAPA – Mandioca e Fruticultura (2010).

A caracterização tem fornecido dados para a utilização de amidos de diferentes fontes vegetais em áreas de aplicações diversificadas, desde a alimentação humana até a utilização do polímero para produção de filmes biodegradáveis. A busca por estas características se deve: às necessidades de conhecer o comportamento do amido sob certas circunstâncias como temperatura e pressão; às restrições impostas atualmente pelas indústrias alimentícias às modificações químicas; a possibilidade de redução de custos de processo do incremento de uma matéria-prima mais apropriada (NUNES; SANTOS; CRUZ, 2009).

Um fator desejável para a indústria é que o amido seja resistente a ciclos de congelamento e descongelamento. Diante disto, Silva et al. (2006) concluíram que os amidos de mandioca e de milho ceroso são mais resistentes à estes ciclos do que o amido de milho regular, sendo então, esta característica muito importante para decisões da aplicabilidade tecnológica na indústria alimentícia.

A principal influência da retrogradação é observada na textura, na aceitabilidade e na digestibilidade dos alimentos que contém amido (ELIASSON, 1996; THARANATHAN, 2002; ELIASSON, 2004). Com isso, pode-se destacar a influência do processo de retrogradação no envelhecimento de pães e produtos de panificação, bem como na perda de água (sinerese) de algumas sobremesas que utilizam o amido como espessante (DENARDIN; SILVA, 2009), sendo desejado então, para a elaboração deste produtos, um amido com menor tendência a retrogradação, como é o caso do amido de mandioca.

Dependendo do tipo, o amido pode, entre outras funções, facilitar o processamento, servir como espessante em sopas, caldos e molhos de carne, fornecer sólidos em suspensão e textura, ser ligante em embutidos de carne, estabilizante em molhos de salada, ou ainda proteger os alimentos durante o processamento (GUILBOT; MERCIER, 1985).

As proporções em que as estruturas de amilose e amilopectina aparecem diferem entre as diversas fontes, entre variedades de uma mesma espécie e ainda, numa mesma variedade, de acordo com o grau de maturação da planta (ELIASSON, 1996). Estas variações podem resultar em grânulos de amido com propriedades físico-químicas e funcionais diferenciadas, o que define a sua utilização em alimentos ou aplicações industriais (WANG; WHITE, 1994).

Sendo a amilose conhecida por suas propriedades na formação de filmes e por ser mais resistente do que a amilopectina, um alto teor de amilose é desejado quando o produto necessita ser crocante e resistente, como na fabricação de salgadinhos. A amilopectina permite melhor manutenção da forma da pasta, que resiste mais a tratamentos suplementares tais como o corte e a secagem. A amilopectina, ramificada, forma uma rede na matriz da pasta. Em consequência a amilopectina contribui para a expansão da massa e aumenta a sua friabilidade (CEREDA, 2001).

O tamanho e a forma de grânulos de amido estão entre os fatores de importância na determinação de usos potenciais de amidos. Por exemplo, grânulos pequenos (2,0 μm) podem ser usados como substitutos de gordura devido ao tamanho ser semelhante ao das gotículas de lipídeos. Grânulos de amido deste tamanho podem ser obtidos através da hidrólise, reduzindo o tamanho dos grânulos na região amorfa, através da ação controlada de enzimas amilolíticas (DIAS, 2007).

Outras aplicações, nas quais o tamanho dos grânulos é importante, é a produção de filmes plásticos biodegradáveis e de papéis para fax (LEONEL, 2007), sendo assim importante o conhecimento de algumas propriedades características do amido.

A análise das propriedades reológicas dos amidos é um passo importante para caracterização e compreensão das suas propriedades funcionais. Devido à influência do tipo de amido, concentração e estágio de gelatinização na consistência do produto, faz-se necessário o conhecimento dos parâmetros reológicos para o processamento dos alimentos (operações de mistura, bombeamento, aquecimento, resfriamento). As características de escoamento no bombeamento dos

produtos alimentícios são dependentes da densidade e viscosidade do fluido (COTINHO; CABELLO, 2005)

O conhecimento das características reológicas dos géis de amido fornece informações sobre a estrutura do gel e suas propriedades físicas e funcionais, além de ajudar no entendimento do mecanismo básico no processo de transferência de calor. Então, torna-se necessário investigar e estudar as propriedades reológicas dos diversos tipos de amido (COTINHO; CABELLO, 2005).

Alterações nas propriedades físicas da matriz, por exemplo, aumento da viscosidade ou gelificação, podem diminuir a transferência de massa e assim aumentar a retenção de compostos de aroma. Difusividades de alguns compostos voláteis foram mostrados ser inversamente proporcionais à viscosidade da matriz (VOILLEY; BETTENFELD, 1985 citados em SILVA;. CASTRO; DELGADILLO, 2002).

Viscosidade é uma expressão de resistência do fluido ao fluxo: quanto maior a viscosidade, maior a resistência (ALMEIDA; BAHIA, 2003 citado em LEONARDI et al., 2005).

Uma alta viscosidade em pastas de amido é desejável para usos industriais, nos quais o objetivo é o poder espessante. Para isso, é necessário o controle da retrogradação no resfriamento. Uma das propriedades mais importantes do amido é a gomificação, que possibilita absorção, no aquecimento, de até 2,5 mil vezes seu peso em água. O aquecimento em excesso de água causa o intumescimento irreversível, porém limitado, dos grânulos, os quais se tornam muito sensíveis a estresses mecânico e térmico ou à acidez do meio. Mas, uma vez resfriado, ou ainda, congelado, os polímeros de amido nativo se reagrupam, liberando água e danificando o gel formado (CEREDA, 1983, CEREDA, 2002).

Quando o amido é utilizado como um ligante ou como agente de textura em produtos industrializados, é necessário que este não somente tenha um alto poder ligante, como também a viscosidade do produto formulado deve ser estável durante as diferentes etapas de processamento, tais como: cocção, pasteurização ou esterilização (SOARES, 2003).

Produtos elaborados, como molhos para salada, conservas, sobremesas, pratos prontos, dentre outros, passam por alguma etapa de bombeamento, esterilização, congelamento ou acidificação, durante o processamento. Um aditivo amplamente empregado nestes alimentos é o amido, utilizado na indústria de alimentos como agente espessante e gelificante (KUHN; SCHLAUCH, 1994; MARQUES et al., 2006). Para

resistir a estas condições estressantes, os amidos devem conservar suas propriedades funcionais como a textura inicial, não liberar água nem alterar cor, preservar aromas, resistir a pH baixo e a esterilização e ainda aumentar a vida de prateleira do produto.

Outra utilização do amido é na indústria de panificação, como produção de biscoitos. Biscoitos são produtos obtidos pela mistura de farinha, amido e ou fécula com outros ingredientes submetidos a processos de amassamento e cocção, fermentados ou não, podendo apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos (BRASIL, 2005).

A qualidade de grãos, de farinhas e dos amidos para a produção de biscoitos é determinada por uma variedade de características que assumem diferentes significados dependendo do tipo de produto. Estas características podem ser classificadas em físicas, químicas, reológicas e funcionais. Segundo Rao e Rao (1993), a avaliação reológica da farinha e do amido é de vital importância para a indústria de biscoitos, ajudando a prever as características de processamento da massa e a qualidade final dos produtos. A reologia também desempenha importante papel no controle de qualidade e na definição da especificação de ingredientes dos produtos elaborados.

À medida que o amido é reduzido em partículas menores durante a moagem do grão, alguns grânulos são danificados mecanicamente, influenciando nas características deste. Os danos nos grânulos de amido se correlacionam com as variáveis absorção de água, velocidade de fermentação, cor, volume e vida de prateleira. Na produção de biscoitos, uma das principais exigências de qualidade do amido é o baixo teor de amido danificado (MORRISON; TESTER, 1994; LABUSCHAGNE; CLAASSEN; DEVENTER, 1997).

Durante a moagem do amido, uma pequena proporção (5 a 8 %) de grânulos de amido da farinha é fisicamente danificada. Grânulos fragmentados produzidos durante a moagem não apresentam birrefringência e a percentagem de danos varia com a sensibilidade de moagem e a dureza do grão. A absorção de água durante o amassamento e a degradação enzimática do amido aumentam com a intensidade ou proporção de amidos danificados. No amido usado para a produção de biscoitos, a absorção de água deve ser baixa e a susceptibilidade das enzimas α -amilase não interfere, sendo desejável o mínimo de amido danificado (MORRISON; TESTER, 1994; MORGAN; WILLIAMS, 1995).

CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MORFOLÓGICA DO AMIDO DE DIFERENTES CULTIVARES DE MANDIOCA

2.1 INTRODUÇÃO

O amido é a principal substância de reserva das plantas superiores, fornecendo de 70 a 80 % das calorias consumidas pelo homem. Os depósitos permanentes do amido nas plantas ocorrem nos órgãos de reserva, como no caso de grãos em cereais (milho, arroz) e de tubérculos e raízes (batata e mandioca) (SUMERLY et al., 2003).

Sendo a mandioca (*Manihot sculenta* Crantz) uma planta resistente às mais adversas condições de cultivo, solo e climáticas, e o Brasil um grande produtor (CEREDA, 1996; PINTO, 2008), esta se torna uma matéria prima atrativa para a produção de amido. Entretanto, estes amidos precisam ter características específicas desejáveis para o uso industrial.

O amido é um polímero composto unicamente por glicose, mas que, por apresentar propriedades funcionais variadas, pode ter um extenso número de aplicações industriais, como nos setores de alimentos, papéis, têxteis, farmacêuticos e outros. Este polímero deve muito de sua funcionalidade à composição química, resultante de duas frações poliméricas distintas, a amilose e a amilopectina, bem como à organização espacial dessas macromoléculas na estrutura granular (MOORE et al., 1984, BILIADERIS, 1991).

Cada grânulo de amido possui um centro original de crescimento, denominado hilum (LAJOLO; MENEZES, 2006), onde camadas sucessivas de amido com diferentes graus de hidratação são depositadas na forma de amilose ou amilopectina, determinando se a camada é amorfa ou cristalina (LIU, 2005; HORIMOTO, 2006).

A amilose é basicamente uma molécula linear enquanto que a amilopectina é uma molécula altamente ramificada. A amilose também difere da amilopectina devido à quantidade relativa de componentes minoritários associados à molécula, visto que esta molécula apresenta-se complexada aos lipídeos presentes no grânulo, influenciando nas propriedades físico-químicas e reológicas do amido (WHISTLER; PASCHAL, 1965).

A forma dos grânulos de amido da mandioca pode ser truncada, oval, redonda com partes côncavo-convexas (FRANCO et al., 2001). Estudos de Charles et al. (2005) mostraram valores médios de tamanhos de grânulos entre 13-17,2 μm , observadas em cinco variedades de amido de mandioca, na qual a quantidade de amilose estava entre 16 e 22,5 %.

Para atender às exigências do mercado consumidor é necessário caracterizar o amido, o que envolve um grande número de determinações. A análise dos resultados obtidos, o modo como as características avaliadas se correlacionam e a explicação para tais fatos ainda é objeto frequente de estudos, visando uma maior exploração das potencialidades do amido (FREDRIKSSON et al., 1997 ; SARMENTO et al., 1999).

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar os amidos de dez diferentes cultivares de mandioca, produtos de melhoramento genético, físico-química e morfológicamente, para verificar a existência de características que distingam determinadas cultivares, averiguando como tais propriedades se relacionam entre si, para assim definir seu potencial tecnológico.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Material

As cultivares estudadas foram fornecidas pela Estação Experimental da EPAGRI, de Urussanga, SC. Dez amostras distintas de cultivares de mandioca, produtos de melhoramento genético, em triplicata, foram encaminhadas para o Laboratório de Frutas e Hortaliças (UFSC), seguindo um cronograma que permitiu a extração do amido, sem danificar as raízes, no máximo 24 horas após a colheita.

Os reagentes usados para a execução dos experimentos foram de grau analítico (para análise).

2.2.2 Métodos

2.2.2.1 Coleta e transporte das amostras

Os materiais foram coletados seguindo cronograma de execução das análises, construído em parceria com a EPAGRI e de acordo com o tempo de disponibilidade dos materiais, na safra de 2009. Cada cultivar foi identificada em uma repetição por coleta e transportada para a UFSC. Cada amostra coletada continha de seis a dez raízes. As coletas foram realizadas em três repetições por cultivar, porém em momentos

diferentes. Isso se deve ao fato que, se todos fossem coletados em uma única operação inviabilizaria o processo de extração do amido a partir das raízes frescas. O transporte ocorreu em sacos de rafia, no período mais fresco do dia, não excedendo 24 horas entre a coleta do campo e a extração do amido. As cultivares que foram analisadas, com os respectivos municípios e solos de origem estão apresentadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Cultivares de mandioca oriundas de diferentes localidades e seus respectivos solos.

Cultivar	Município	Tipo de Solo*
STS 2/03-10 (raiz branca)	Jaguaruna	Neossolo Quartzarênico
SCS 252 – Jaguaruna	Jaguaruna	Neossolo Quartzarênico
Mandim Branca	Sangão	Argissolo
Mandim Branca	Jaguaruna	Neossolo Quartzarênico
STS 1302/96 3 – Vermelhinha	Morro da Fumaça	Argissolo
STS 1302/96 3 – Vermelhinha	Jaguaruna	Neossolo Quartzarênico
SCS 253 Sangão	Morro da Fumaça	Argissolo
SCS 253 Sangão	Jaguaruna	Neossolo Quartzarênico
STS 1311/96 - 1	Jaguaruna	Neossolo Quartzarênico
STS 1302/96 – 4 Preta	Jaguaruna	Neossolo Quartzarênico
	Sangão	Argissolo
STS 1309/96 – 7	Jaguaruna	Neossolo Quartzarênico
STS 2/03 - 7	Jaguaruna	Neossolo Quartzarênico

* Classificação conforme estabelecido pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

A Figura 2.1 mostra o mapa das regiões de cultivo das raízes de mandioca, utilizadas para a extração de amido, do presente trabalho.

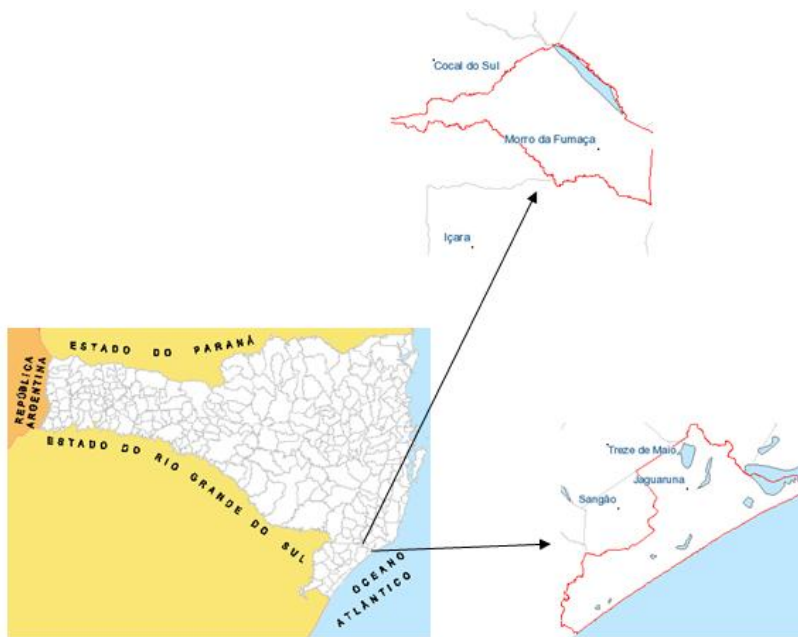


Figura 2.1 - Mapa das regiões de cultivo das raízes de mandioca, utilizadas para a extração do amido.

Fonte: CIASC (2011)

2.2.2.2 Extração do amido da mandioca

As raízes foram lavadas para a remoção do excesso de terra e pesadas antes e após o descasque.

Em seguida, foram descascadas (retirada do felema), sendo mantida a entrecasca. As raízes descascadas foram picadas em cubos de 1 a 2 cm e logo moídas em liquidificador doméstico, com adição de duas partes de água por parte de raiz. A massa foi filtrada em pano dessorador e o “leite de amido” recolhido em tanques para decantação com sucessivas trocas do sobrenadante até a remoção completa do material solúvel proveniente das raízes. A massa retida no pano dessorador foi lavada o número de vezes suficiente para a eliminação do amido. Todo o leite de amido resultante dessas ressuspensões foi recolhido no mesmo tanque, segundo identificação de cada amostra e suas respectivas repetições. O amido extraído, recolhido na base do tanque foi seco em estufa com circulação de ar a 45 °C, marca De leo.

2.2.2.3 Análises físico-químicas

2.2.2.3.1 Composição Centesimal (umidade, cinzas, lipídeos e proteínas)

As análises de umidade (AOAC 925.09), cinzas (AOAC 923.03), lipídeos (AOAC 920.85) e proteínas (N x 6,25) (AOAC 920.87) foram realizadas segundo metodologias da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2005).

2.2.2.3.2 Teor de amido

Para a determinação do amido total foi utilizado o kit da Megazyme (*Megazyme International Ireland Limited*, Wicklow, Irlanda).

Neste, as amostras de amido foram completamente dispersas em Dimetil sulfóxido (DMSO) a quente. Os lipídeos foram removidos por precipitação do amido em etanol, com recuperação do amido precipitado. Após a dissolução da amostra precipitada em uma solução acetato/sal, uma alíquota foi retirada e hidrolisada a D-glicose e então, medido em espectrofotômetro de UV/Vis, marca Hitachi, modelo U-1800, pela glicose oxidase/peroxidase, a 510 nm. O resultado de amido total foi obtido pela Equação 2.1.

$$\% \text{ amido total} = \frac{\text{Abs da amostra}}{\text{Abs da glicose}} \cdot \frac{100}{M} \cdot 32,62 \cdot 0,9 \quad (2.1)$$

Sendo:

Abs da amostra= absorbância da amostra a 510 nm

Abs da glicose= absorbância da solução padrão de glicose a 510 nm

32,62 = fator de diluição

0,9= fator de conversão de glicose para amido

100/M= fator para expressar o teor de amido total como percentagem da massa de amido

M= massa de amido utilizada, em mg.

2.2.2.3.3 Amido danificado

A proporção de amido danificado durante o processo de extração foi determinado através de kit específico da Megazyme (*Megazyme*

International Ireland Limited, Wicklow, Irlanda). Neste procedimento, grânulos de amido danificado foram hidratados e hidrolisados para maltossacarídeos mais α -dextrinas- limites por tratamento cuidadosamente controlado com α -amilase fúngica purificada. O tratamento com α -amilase foi feito para garantir solubilização completa dos grânulos danificados com o mínimo de desagregação. Esta reação foi terminada com a adição de solução de ácido sulfúrico, e alíquotas foram tratadas com quantidades excessivas de amiloglicosidase purificada, para promover completa conversão da dextrina, derivada do amido, em glicose. A glicose foi especificamente analisada com uma mistura de reagente de glicose oxidase/peroxidase altamente purificada em espectrofotômetro de UV/Vis, marca Hitachi, modelo U-1800, a 510 nm. O percentual de amido danificado pode ser obtido através da Equação 2.2.

$$(\%) \text{ amido danificado} = \frac{\text{Abs da amostra}}{\text{Abs da glicose}} \cdot F \cdot 90 \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{100}{M} \cdot \frac{162}{180}$$

$$(\%) \text{ amido danificado} = \frac{\text{Abs da amostra}}{\text{Abs da glicose}} \cdot \frac{F \cdot 8,1}{M} \quad (2.2)$$

Sendo:

Abs da amostra= absorbância da amostra a 510 nm

Abs da glicose= absorbância da solução padrão de glicose a 510 nm

F= 150 (fator de conversão de absorbância para μg de glicose)

90= volume de correção (0,1 mL pegado de 9,0 mL)

1/1000= conversão de μg para mg

100/M= fator para expressar amido danificado como percentagem da massa de amido

M= massa de amido utilizada, em mg

162/180= ajuste da glicose livre para glicose anidra (como ocorre em amido).

2.2.2.3.4 Amilose

A quantidade de amilose nas amostras de amido foi determinada seguindo o procedimento colorimétrico de Williams, Kuzina e Hlinka (1970). Amostras de 30 mg de amido, foram dispersas em 10 mL de solução de hidróxido de potássio $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$ e diluídas 10 vezes em

água. Alíquotas de 10 mL desta solução foram neutralizadas com 5 mL de ácido clorídrico $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$, com posterior adição de 0,5 mL de solução de I-KI (iodo, iodeto de potássio), e seus volumes completados para 50 mL. A leitura foi realizada em espectrofotômetro UV/Vis, marca Hitachi, modelo U-1800, a 625 nm, empregando curva padrão de amilose e amilopectina, extraídas a partir de amido de mandioca, segundo Mc Cready e Hassid (1943), para obtenção do teor de amilose.

2.2.2.3.5 Densidade absoluta

A densidade absoluta dos grânulos foi determinada pelo método do picnômetro, por deslocamento do xileno a $30 \text{ }^\circ\text{C}$, segundo Schoch e Leach (1964).

2.2.2.3.6 Índice de cristalinidade dos grânulos

Os padrões de raios- x foram determinados utilizando um monocromador de fluoreto de lítio com radiação de cobre, velocidade de varredura de 1° por minuto, em condições de trabalho de 30 kV e 20 mA.

O índice de cristalinidade relativa (IC) foi quantitativamente determinado segundo Hayakawa et al. (1997), traçando no difractograma uma linha base dos picos principais (Figura 2.2). O IC foi definido com a razão entre a área cristalina e a área total coberta pela curva, composto pela área da região cristalina e a área da região amorfa, como mostra Equação 2.3 (ROCHA; DEMIATE; FRANCO, 2008).

$$IC(\%) = \frac{A_C}{A_C + A_A} \cdot 100 \quad (2.3)$$

onde, A_c = área cristalina;

A_a = área amorfa no difratograma.

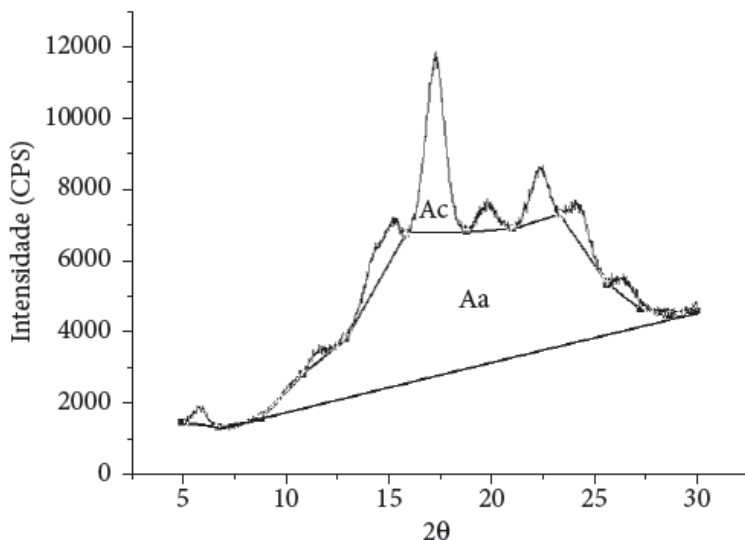


Figura 2.2 - Diffractograma de raio-x descriptivo do método de índice de cristalinidade relativa adaptado à razão das intensidades difratadas.

Fonte: Rocha, Demiate e Franco (2008)

2.2.2.3.7 Forma e tamanho dos grânulos

As amostras (previamente desidratadas em estufa a 45 °C) foram comparadas quanto ao tamanho e forma dos grânulos, por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Cada uma das dez amostras, em pó (pool de três lotes), foi fixada com fita dupla face, em suportes de alumínio e metalizada com uma camada de ouro de 350 Å de espessura em um aparelho a vácuo Polaron E5000. Foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da Universidade Federal de Santa Catarina.

O tamanho dos grânulos foi medido no software Measure IT, e as formas foram observadas através das micrografias.

2.2.2.3.8 pH

A medida do pH foi realizada por diluição de 25g da amostra em 50 mL de água destilada, seguido de agitação magnética. Após, o valor de pH foi medido em pHmetro, marca Quimis, devidamente calibrado.

2.2.2.3.9 Susceptibilidade enzimática

A susceptibilidade enzimática dos grânulos de amido foi determinada pela adaptação do procedimento descrito por Sandstedt e Mattern (1960). Ao tubo de reação (tubos Falcon) contendo 1g de amido, foi acrescentado 40 mL de solução tampão fosfato pH 6,0, com adição de 0,16 mL de enzima α -amilase (1000 U/mL- Megazyme) e 0,5 mL de azida de sódio 10%, para conservação das amostras. Foram, então, mantidos em banho maria a 37 °C, com agitação. Alíquotas de 10 mL da suspensão em digestão foram retiradas a cada 24 horas, durante 4 dias, em um tempo total de 96 horas para quantificação da maltose pelo método iodométrico, utilizando ferricianeto de potássio.

A partir da construção da curva da percentagem de maltose produzida versus o tempo, para os diferentes amidos, foi possível traçar o perfil da susceptibilidade enzimática dos amidos em estudo.

2.2.2.3.10 Viscosidade Intrínseca

O procedimento descrito por Leach (1963) foi usado para determinação da viscosidade intrínseca em soluções de amido em hidróxido de potássio 1,0 mol.L⁻¹, nas concentrações de 0,4; 0,5; 0,6 e 0,7 g/100 mL. As medidas de tempo de escoamento foram efetuadas em viscosímetro tipo OSTWALD, em banho maria a 30 °C. O tempo de escoamento do KOH foi utilizado como referencial de fluxo (T₀ – tempo zero). A viscosidade relativa foi obtida da relação T/T₀, onde T é o tempo de fluxo em segundos na concentração testada. A viscosidade específica (η_{esp}) foi dada por $\eta_{\text{esp}} - 1$, e a viscosidade reduzida (η_{red}), por η_{red}/C (onde C é a concentração do amido). A determinação se deu através da extrapolação à concentração zero, da reta obtida por ajuste matemático dos pontos experimentais da curva de viscosidade reduzida em função da concentração da solução. A relação da viscosidade intrínseca $[\eta]$ com a massa molar (M) foi dada pela equação de Staudinger- Mark- Houwink (Equação 2.4), sendo K e α , parâmetros empíricos obtidos de tabelas (FOSTER, 1965) da literatura.

$$[\eta] = K \cdot M^{\alpha} \quad (2.4)$$

onde, $K = 1,18 \times 10^{-3}$; $\alpha = 0,89$ (para o solvente KOH 1 N).

2.2.3 Procedimentos Estatísticos

Todas as análises foram conduzidas em triplicata e os dados expressos como média \pm desvio padrão (DP). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), ao nível de 5 % de significância, seguido pelo teste de Tukey, para comparação das médias.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características do amido podem variar com o estágio de desenvolvimento da planta de origem, tipo de solo e condições climáticas. Sriroth e colaboradores (1999) estudaram a influência do ambiente e da idade da planta de mandioca (dos 6 aos 16 meses) sobre as propriedades funcionais do amido e observaram diferenças no teor de amilose, distribuição de tamanho dos grânulos, estrutura cristalina e propriedades de gelatinização.

No presente trabalho, as raízes de mandioca foram colhidas nos meses de junho e julho, permitindo um ciclo de oito meses para todas as dez cultivares em estudo. No entanto, dentre estas dez cultivares três foram cultivadas em solos distintos, sendo as diferenças entre os solos também levadas em consideração.

Em estudos realizados por Maieves (2010) nos mesmos cultivares de mandioca, os rendimentos em amido variaram de 22,89 %, para a cultivar STS 1302/96-3, a 15,93%, para cultivar Preta. Este é um parâmetro importante a ser considerado, visto que para a indústria, um maior rendimento em amido torna o processo economicamente mais atrativo. Mas, além disto, o amido deve apresentar características específicas adequadas que atenda às exigências do mercado consumidor, e isto pode ser determinado através do conhecimento das características físico-químicas e reológicas.

2.3.1 pH

O pH é um parâmetro que tem relação com a natureza do amido, nativo, fermentado ou modificado. Enquanto a maioria dos amidos nativos apresenta pH próximo da neutralidade, no polvilho azedo o pH está em torno de 3,5, o que é característico do produto (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

Os valores de pH para os amidos das dez diferentes cultivares de mandioca são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - pH dos amidos das diferentes cultivares de mandioca.

Cultivar	pH ± DP
STS 2/03-10 (raiz branca)	7,01 ^{a,b} ± 0,50
SCS 252 – Jaguaruna	6,85 ^a ± 0,25
Mandim Branca *	6,84 ^{a,b} ± 0,38
Mandim Branca **	7,20 ^{a,b} ± 0,04
STS 1302/96-3 – Vermelhinha*	6,75 ^a ± 0,13
STS 1302/96-3 – Vermelhinha **	7,30 ^{a,b} ± 0,02
SCS 253 – Sangão *	6,97 ^{a,b} ± 0,32
SCS 253 – Sangão **	7,89 ^b ± 0,08
STS 1311/96-1	7,07 ^{a,b} ± 0,15
STS 1302/96-4	7,11 ^{a,b} ± 0,22
Preta	7,12 ^{a,b} ± 0,59
STS 1309/96-7	6,95 ^{a,b} ± 0,29
STS 2/03-7	7,11 ^{a,b} ± 0,38

* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

** Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Neossolo Quartzarênico.

Através dos resultados obtidos pode-se observar que os valores de pH, assim como esperado para amidos nativos, que não passaram por processo de fermentação ou modificação, estão próximos da neutralidade, variando de 6,75 a 7,89. Isto comprova que o processo de extração do amido foi cuidadoso, pois amidos que são deixados por longos períodos de tempo em decantação, ou seja, em contato com a água, podem iniciar o processo de fermentação, reduzindo o pH.

Segundo a Instrução Normativa n° 23 de 14 de dezembro de 2005, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2005), que considera aceitáveis valores de pH entre 4,0 e 7,0, para amidos de mandioca, somente as cultivares SCS 252 – Jaguaruna, Mandim Branca, proveniente de Argissolo, STS 1302/96-3 – Vermelhinha, proveniente de Argissolo, SCS 253 – Sangão, proveniente de Argissolo e STS 1309/96-7 estariam dentro do limite de tolerância aceitável. No entanto, estes valores médios não representam risco, pois estatisticamente os amidos estudados são semelhantes quanto ao valor do pH.

2.3.2 Composição Centesimal

Os resultados de umidade podem ser úteis para controlar o processo de secagem do amido, sendo que a determinação da umidade nas amostras estudadas foi um parâmetro importante a ser determinado, para que todos os resultados das análises subseqüentes pudessem ser expressos em base seca.

Nunes, Santos e Cruz (2009), estudando amidos de três diferentes variedades de mandioca encontraram teores de umidade de 11,47 a 12,11 %. No presente trabalho os resultados de umidade das 30 unidades amostrais (Tabela de resultados de umidade em Apêndice A) (10 cultivares coletadas em triplicata) ficaram na faixa de 4,05 a 16,45 %. A falta de um controle rigoroso na secagem durante o processo de extração dos amidos pode explicar os diferentes resultados obtidos.

Os amidos com umidade de 16,45%, cultivar STS 1309/96-7 e 15,07% cultivar STS 2/03-7, estariam fora dos limites de tolerância, para este parâmetro, segundo a Instrução Normativa nº23 de 14 de dezembro de 2005, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2005), que considera como aceitáveis valores de umidades menores do que 14%. No entanto, dentre as 30 unidades amostrais, todos os valores encontrados estão em conformidade com os exigidos pela RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005, da ANVISA, que estabelece como valor máximo permitido, em amido ou fécula de mandioca, 18 % de umidade (BRASIL, 2005).

O amido geralmente é extraído por processos que permitem o carreamento de substâncias contaminantes como proteínas, lipídeos e cinzas. Muito embora em pequenas quantidades no amido, estas substâncias podem interferir nas propriedades físico-químicas e funcionais (LEONEL; CEREDA 2002). Assim, a pureza do amido pode ser expressa pelo teor de cinzas, lipídeo e proteína procedentes da matéria-prima do processo de extração (AMANTE, 1986).

Os resultados apresentados na Tabela 2.3 ilustram o teor de lipídeo, proteína e amido total, em base peso seco para os amidos estudados.

Tabela 2.3 - Percentual de lipídeo, proteína e amido total (BPS) dos amidos extraídos de diferentes cultivares de mandioca.

Cultivar	Lipídeo (%) ± DP	Proteína (%)± DP	Amido Total (%) ± DP
STS 2/03-10 (raiz branca)	0,056 ^a ± 0,003	0,036 ^b ± 0,002	92,17 ^{ab,c} ± 1,10
SCS 252 – Jaguaruna	0,118 ^{ab,c} ± 0,011	0,018 ^a ± 0,001	91,60 ^{ab} ± 0,43
Mandim Branca *	0,199 ^{bc} ± 0,082	0,054 ^c ± 0,001	91,94 ^{ab} ± 0,92
Mandim Branca **	0,217 ^c ± 0,039	0,056 ^c ± 0,001	92,03 ^{ab} ± 0,50
STS 1302/96-3 – Vermelhinha*	0,193 ^{bc} ± 0,073	0,054 ^c ± 0,001	91,96 ^{ab} ± 0,94
STS 1302/96-3 – Vermelhinha **	0,098 ^{ab} ± 0,003	0,057 ^c ± 0,001	94,72 ^d ± 0,24
SCS 253 – Sangão *	0,176 ^{bc} ± 0,077	0,036 ^b ± 0,001	91,38 ^a ± 0,47
SCS 253 – Sangão **	0,106 ^{ab,c} ± 0,025	0,037 ^b ± 0,001	90,48 ^{b,c,d} ± 0,14
STS 1311/96-1	0,110 ^{ab,c} ± 0,003	0,038 ^b ± 0,001	91,38 ^a ± 0,47
STS 1302/96-4	0,111 ^{ab,c} ± 0,009	0,037 ^b ± 0,001	91,33 ^a ± 0,98
Preta	0,109 ^{ab,c} ± 0,006	0,039 ^b ± 0,001	91,20 ^a ± 0,72
STS 1309/96-7	0,111 ^{ab,c} ± 0,009	0,077 ^d ± 0,005	94,37 ^d ± 0,14
STS 2/03-7	0,115 ^{ab,c} ± 0,007	0,056 ^c ± 0,003	94,21 ^{c,d} ± 0,78

* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

** Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Neossolo Quartzarênico.

Dos constituintes presentes em menores concentrações, os que mais influenciam as propriedades funcionais dos amidos são os lipídeos. Presentes principalmente nos cereais, os lipídeos afetam a gelificação, modificam o comportamento reológico das pastas e inibem a cristalização das moléculas, reduzindo assim a retrogradação (WANG; WHITE, 1994). Os teores de lipídeos nos amidos em estudo foram de certa forma homogêneos, em torno de 0,11 %. Comparando com os resultados encontrados por Jensen, Grossmann e Mali (2009) de 0,24% e Mali et al. (2006) de 0,28%, os valores de lipídeos do presente trabalho, podem ser considerados baixos. Ficaram abaixo também dos encontrados por Rocha, Demiate e Franco (2008), para a mandiocinha salsa (0,13%), por Galdeano e colaboradores (2009), para amido de aveia (1,36%) e Ferrari, Leonel e Sarmiento (2005), para amido de araruta (0,10 %, para planta com 12 meses e 0,29% para planta com 14 meses).

A maioria destes lipídeos está presente no grânulo como complexo de inclusão com a amilose, uma vez que os lipídeos não complexados são removidos no processo de extração do amido (WANG; WHITE, 1994b), podendo assim influenciar nas propriedades reológicas.

Mesmo que em pequenas quantidades, o amido pode ainda apresentar como constituintes substâncias proteicas. Alguns destes materiais contribuem como componentes superficiais do grânulo e desempenham papel importante em muitas aplicações do amido (GALLIARD; BOWLER, 1987).

Como esperado para amido de raízes e tubérculos, os amidos de mandioca em estudo, mostraram baixos teores de proteína. A cultivar que apresentou maior teor de proteína foi a STS 1309/96-7, e a de menor a SCS 252 – Jaguaruna, com 0,077 e 0,018 %, respectivamente. Mesmo sendo baixos os teores de proteína, diferenças significativas ocorreram em amidos de uma mesma espécie vegetal, como o de mandioca.

Os valores de proteína podem ser considerados relativamente baixos comparados com o encontrado por Jensen, Grossmann e Mali (2009) de 0,5 % para amido de mandioca. Se comparados com os resultados de Amante (1986) (0,08 a 0,18 %), somente o cultivar STS 1309/96-7 teria apresentado valores mais próximo, com 0,077 %.

Conforme estudo realizado por Maieves (2010), nas raízes de mandioca das mesmas cultivares utilizadas para extração dos amidos analisados neste trabalho, quantidades significativas de proteína (2,22 a 3,66 %), estão presentes nestas cultivares, no entanto as proteínas

presentes nos amidos são provenientes de carreamento no processo de extração, ou seja, uma boa extração, seguida de resuspensões pode tornar os valores de proteína, lipídeos e cinzas quase que insignificantes no amido de mandioca.

Comparando os resultados de lipídeos e proteínas nos amidos das cultivares Mandim Branca, STS 1302/96-3-Vermelhinha e SCS 253-Sangão, cultivadas em solos diferentes entre si, não foi observado diferenças significativas nos teores destes componentes, concluindo-se que o tipo de solo não interferiu nestes resultados.

Os diferentes lotes de cada cultivar (totalizando três amostras), foram analisados, também em triplicata, uma vez que a origem poderia interferir mais significativamente em alguns dos parâmetros estudados. Portanto, para cada média apresentada, foram obtidos nove valores, três cultivares e três repetições no ensaio.

Algumas características são oriundas do processo de extração, como o teor de cinzas, estas em alguns casos, apresentaram diferenças significativas dentro de uma mesma cultivar para o teor de cinzas, como é o caso da cultivar Preta e a STS 2/03-7, não sendo possível fazer uma média dos resultados. Por isto os percentuais são apresentados em tabela contendo mais de um resultado de cinza para uma mesma cultivar, como mostra a Tabela 2.4, representando diferenças de origem.

Tabela 2.4 - Teor de cinzas nos amidos dos diferentes cultivares de mandioca.

Cultivar	⁽¹⁾ Cinzas (%) ± DP
STS 2/03-10 (raiz branca) (A)	0,062 ^{a,b,c} ± 0,002
STS 2/03-10 (raiz branca) (B)	0,020 ^a ± 0,001
SCS 252 – Jaguaruna	0,032 ^{a,b,c} ± 0,005
Mandim Branca * (A)	0,035 ^{a,b} ± 0,004
Mandim Branca * (B)	0,069 ^{a,b,c,d} ± 0,007
Mandim Branca ** (C)	0,037 ^{a,b,c} ± 0,006
STS 1302/96-3 – Vermelhinha* (A)	0,027 ^a ± 0,007
STS 1302/96-3 – Vermelhinha* (B)	0,047 ^{a,b,c} ± 0,003
STS 1302/96-3 – Vermelhinha ** (C)	0,020 ^a ± 0,006
SCS 253 – Sangão * (A)	0,043 ^{a,b,c} ± 0,005
SCS 253 – Sangão ** (B)	0,037 ^{a,b} ± 0,009
STS 1311/96-1 (A)	0,038 ^{a,b,c} ± 0,007
STS 1311/96-1 (B)	0,069 ^{a,b,c,d} ± 0,005
STS 1311/96-1 (C)	0,088 ^{c,d} ± 0,066
STS 1302/96-4	0,054 ^{a,b,c} ± 0,004
Preta (A)	0,122 ^d ± 0,002
Preta (B)	0,063 ^{a,b,c} ± 0,009
STS 1309/96-7 (A)	0,050 ^{a,b,c} ± 0,002
STS 1309/96-7 (B)	0,038 ^{a,b,c} ± 0,003
STS 2/03-7 (A)	0,045 ^{a,b,c} ± 0,010
STS 2/03-7 (B)	0,085 ^{b,c,d} ± 0,004
STS 2/03-7 (C)	0,022 ^a ± 0,003

(1) Valores médios de três repetições

* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

** Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Neossolo Quartzarênico.

(A), (B), (C)- Médias obtidas da triplicata por cultivar, segundo os lotes analisados.

A determinação das cinzas é útil para controlar a presença de resíduos de solo no processamento do amido (MARCON, 2009), ou seja, impurezas. O conhecimento destas impurezas associadas ao amido isolado reside na influência que essas exercem em seu comportamento. O alto teor de cinzas pode indicar a presença de sais associados às moléculas de amilose e amilopectina, do que surgem comportamentos característicos na pasta, o mesmo ocorrendo com o teor de lipídeo e proteína (AMANTE, 1986).

Amante (1986) encontrou valores de cinza no amido de oito diferentes variedades de mandioca variando de 0,07 a 0,16 %. Marcon (2009) obteve 0,12 % de cinzas em amidos de mandioca comerciais. Os resultados encontrados para cinza nos amidos das dez cultivares de mandioca estudadas variaram de 0,02 a 0,12 %, entre os de menor e maior percentual. De um modo geral, os valores de cinza obtidos são consideravelmente baixos, o que indica eficiência do processo de separação na extração do amido.

Segundo a Instrução Normativa n° 23 de 14 de dezembro de 2005, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2005) que estabelece como valor máximo de cinzas 0,20 %, para amidos comerciais, assim como a RDC n°263 de 22 de setembro de 2005, da ANVISA, que os valores de cinzas permitidos são até 0,50 % (BRASIL, 2005), todos os amidos estão dentro do limite aceitável.

Pode ser observado que o somatório dos resultados obtidos de cinzas, lipídeos e proteínas, para todas as cultivares em estudo, ficaram inferiores a 1%, indicando um alto grau de pureza dos amidos, comprovando a eficiência do processo de extração.

Os elevados teores de amido total, que variam de 90,48 a 94,72% entre as cultivares de menor e maior percentual, respectivamente, representam uma boa pureza do amido extraído. A quantidade de outros constituintes no amido como, lipídeos, cinzas e proteínas dependem da composição da planta e do método de extração. Quanto menor o teor destas substâncias, maior o percentual e melhor a qualidade do amido (PERONI, 2003), comprovando através dos resultados de amido total, novamente, alto grau de pureza nos amidos extraídos.

Diferenças significativas no teor de amido em amostras de solos distintos foram observadas somente para as cultivares SCS 253 – Sangão e STS 1302/96-3 – Vermelhinha, não podendo então, o teor deste ser relacionado com o tipo de solo, já que a cultivar Mandim Branca nos dois tipos de solo não apresentou a mesma característica.

2.3.3 Amido danificado

O processo de produção do amido de mandioca consiste das etapas de lavagem e descascamento das raízes, trituração para desintegração dos tecidos e liberação dos grânulos de amido, separação das fibras e do material solúvel, secagem e moagem (VILELA; FERREIRA, 1968; PINTO, 2008). Durante o processo de extração do amido, na trituração das raízes e moagem, alguns grânulos podem ser

danificados fisicamente, sendo a determinação do percentual de amido danificado importante para verificar a fragilidade do grânulo.

O amido de mandioca é utilizado como matéria-prima na produção de amidos modificados. A previsão dos efeitos dos agentes e dos processos de modificação sobre os amidos, como matérias-primas, são dependentes das características dos grânulos, as quais diferem mesmo em uma mesma espécie vegetal (WHISTLER; PASCHAL, 1965). O teor de grânulos danificados, por exemplo, é uma característica que permite prever a susceptibilidade à ação de enzimas na hidrólise enzimática.

Amido danificado possui inchamento precoce, a menores temperaturas, uma vez que a penetração de água torna-se facilitada através das regiões rompidas. Grânulos danificados apresentam-se mais susceptíveis ao ataque enzimático do que grânulos intactos, sendo tal fato de extrema importância do ponto de vista tecnológico (AMANTE, 1986).

Assim como o teor de cinzas, o teor de amido danificado também apresentou diferenças significativas entre lotes de uma mesma cultivar. Por este motivo os teores de amido danificado são apresentados na Tabela 2.5 com mais de um resultado para uma mesma cultivar. Este fato ocorre, pois os grânulos, mesmo em uma mesma cultivar, apresentam-se de formas e tamanhos variados e o efeito do processamento sobre os mesmos segue esta mesma heterogeneidade.

Tabela 2.5 - Amido danificado (BPS) dos amidos extraídos de diferentes cultivares de mandioca.

Cultivar	⁽¹⁾ Amido Danificado (%) ± DP
STS 2/03-10 (A)	0,54 ^g ± 0,01
STS 2/03-10 (B)	0,32 ^{d,e} ± 0,01
SCS 252 – Jaguaruna (A)	0,21 ^{a,b,c} ± 0,01
SCS 252 – Jaguaruna (B)	0,61 ^{g,h} ± 0,02
Mandim Branca* (A)	0,32 ^{d,e} ± 0,02
Mandim Branca* (B)	0,15 ^{a,b} ± 0,004
Mandim Branca** (C)	0,14 ^a ± 0,02
STS 1302/96-3 – Vermelhinha* (A)	0,82 ^j ± 0,02
STS 1302/96-3 – Vermelhinha* (B)	0,37 ^{e,f} ± 0,008
STS 1302/96-3 – Vermelhinha** (C)	0,23 ^{b,c} ± 0,005
SCS 253 – Sangão* (A)	0,22 ^{b,c} ± 0,02
SCS 253 – Sangão* (B)	0,62 ^{h,i} ± 0,03
SCS 253 – Sangão** (C)	0,33 ^{d,e} ± 0,02
STS 1311/96-1	0,32 ^{d,e} ± 0,03
STS 1302/96-4	0,26 ^{c,d} ± 0,03
Preta (A)	0,44 ^f ± 0,04
Preta (B)	0,69 ⁱ ± 0,03
STS 1309/96-7	0,38 ^{e,f} ± 0,04
STS 2/03-7	0,38 ^{e,f} ± 0,03

(1) Valores médios de três repetições.

* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

** Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Neossolo Quartzarênico

A), (B), (C)- Médias obtidas da triplicata por cultivar, segundo os lotes analisados.

Com base na Tabela 2.5, observa-se que há diferenças significativas no teor de amido danificado, mesmo em amostras da mesma cultivar. Isto porque o amido pode ser facilmente danificado por pressão, cisalhamento ou moagem, durante o processo de extração.

No entanto, alguns cultivares não apresentaram diferenças significativas entre eles quanto ao teor de amido danificado, sendo a cultivar que possui a maior quantidade a STS 1302/96-3 – Vermelhinha, proveniente de Argissolo, com 0,82 %, demonstrando uma maior

fragilidade do grânulo, e o de menor, Mandim Branca, proveniente de Neossolo Quartzarênico, com 0,14 %, demonstrando uma menor fragilidade à quebra por processos de moagem. Espera-se da cultivar com maior teor de amido danificado características diferenciadas das outras, como uma maior susceptibilidade enzimática e um poder de inchamento maior a baixas temperaturas.

Diante disto, algumas indústrias que fazem uso do amido, na produção de amido modificado, ou para produção de álcool, e não levam em consideração o percentual de grânulos danificados na matéria-prima, podem sofrer influência no balanço de massa ou cinética das reações de modificação dos amidos.

2.3.4 Densidade absoluta

A densidade é um fator importante no processo de extração dado que este parâmetro influencia economicamente na decisão de qual variedade processar. A decantação e a centrifugação são operações unitárias realizadas no processo de extração do amido. Quanto maior a densidade do amido menor será o tempo de retenção nos decantadores e/ou nas centrifugas (NUNES; SANTOS; CRUZ, 2009). É um parâmetro importante também, por ser através dele que se calcula o volume específico, sendo este útil para o dimensionamento de embalagens e equipamentos (AMANTE, 1986). Os resultados da densidade absoluta dos grânulos são apresentados na Tabela 2.6.

Amidos de mandioca da região do semi-árido baiano foram analisados por Nunes, Santos e Cruz (2009), que encontraram valores de densidade absoluta para os amidos de mandioca desta região variando de 1,50 a 1,58 g.cm⁻³. Marcon (2009), encontrou densidades de 1,56 e 1,66 g.cm⁻³ para fécula de mandioca, já Parada e Sira (2003) encontraram o valor de 1,45 g.cm⁻³.

No presente trabalho, foram encontrados amidos com densidades próximas a 1,50 g.cm⁻³, para a maioria das amostras. Portanto, os resultados revelam que não existem diferenças significativas de densidades entre as cultivares, mas sim uma ampla faixa de valores, sendo a cultivar STS 1302/96-3- Vermelhinha, cultivada em Neossolo Quartzarênico, a que apresentou a menor densidade dentre os amidos estudados, ocorrendo outros com densidades intermediárias. O amido da cultivar STS 1309/96-7 apresenta, possivelmente, um teor de grânulos inteiros maiores em relação as outras cultivares, indicado pela sua maior densidade absoluta.

Tabela 2.6 - Densidades (BPS) dos amidos extraídos de diferentes cultivares de mandioca.

Cultivar	Densidade (g.cm⁻³) ± DP
STS 2/03-10 (raiz branca)	1,51 ^a ± 0,10
SCS 252- Jaguaruna	1,50 ^a ± 0,10
Mandim Branca *	1,47 ^a ± 0,05
Mandim Branca **	1,44 ^a ± 0,17
STS 1302/96-3 – Vermelhinha *	1,43 ^a ± 0,08
STS 1302/96-3 – Vermelhinha **	1,28 ^a ± 0,01
SCS 253 – Sangão *	1,46 ^a ± 0,03
SCS 253 – Sangão **	1,47 ^a ± 0,33
STS 1302/96-4	1,48 ^a ± 0,04
STS 1311/96-1	1,49 ^a ± 0,05
Preta	1,50 ^a ± 0,03
STS 1309/96-7	1,53 ^a ± 0,05
STS 2/03-7	1,50 ^a ± 0,04

* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

** Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Neossolo Quartzarênico

Embora a análise estatística não tenha revelado que há diferenças significativas na densidade dos amidos em estudo, o amido da cultivar STS 1302/96-3 – Vermelhinha, proveniente de Neossolo Quartzarênico, apresentou valor de 1,28 g.cm⁻³, consideravelmente inferior ao da maioria das cultivares. Este valor pode levar a características distintas do amido proveniente desta cultivar em relação às outras.

Comparando a densidade do amido da cultivar STS 1302/96-3-Vermelhinha, proveniente de Argissolo e de Neossolo Quartzarênico, a de Argissolo apresentou densidade próximas as outras cultivares, mas o amido de Neossolo Quartzarênico apresentou densidade inferior aos outros, comprovando o fato de que além das condições climáticas e idade da planta, o tipo de solo também pode influenciar diretamente nas características dos grânulos de amido.

A determinação da suscetibilidade enzimática dos amidos de alta, média e baixa densidade, poderá indicar a importância deste parâmetro para a definição de cultivares em diferentes aplicações do amido de mandioca. Esta homogeneidade de valores para as amostras pode suportar a confiança de algumas empresas interessadas na produção de amidos modificados, não levando em conta que as matérias-primas

podem apresentar diferenças. Ocasionalmente, ocorre um amido com diferente densidade, conforme observado neste trabalho e a estequiometria planejada nos processos pode ser falha, quanto à natureza das matérias-primas. O número de repetições, tanto da origem das cultivares, quanto em bancada, asseguram que o amido da cultivar em destaque, apresenta baixa densidade, com relação aos demais.

2.3.5 Teor de amilose

A amilose é basicamente uma molécula linear. Embora alguns autores discordem, está estabelecido que ela possui poucas ramificações (0,3 % a 0,5 % do total das ligações). É uma molécula de cadeia longa, contendo 200 ou mais unidades de α -D-glicose unidas por ligações α -(1, 4). Possui a tendência a formar hélice, mesmo através de várias camadas de amilopectina (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

O teor de amilose pode variar de amido para amido, em quantidades relativas, tamanho, forma e modo de associação no grânulo, o que determina a extensão e o tipo de estrutura cristalina (AMANTE, 1986). Os resultados de amilose encontrados nas dez cultivares estudadas são mostrados na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 - Teor de amilose em diferentes cultivares de mandioca.

Cultivar	⁽¹⁾ Amilose (%) \pm DP
STS 2/03-10 (raiz branca)	20,55 ^{a,b} \pm 0,48
SCS 252 – Jaguaruna	21,15 ^{a,b} \pm 0,97
Mandim Branca *	19,51 ^a \pm 0,27
Mandim Branca **	21,52 ^{a,b} \pm 0,26
STS 1302/96-3 – Vermelhinha *	20,91 ^{a,b} \pm 0,47
STS 1302/96-3 – Vermelhinha **	19,69 ^{a,b} \pm 0,47
SCS 253 – Sangão *	20,88 ^{a,b} \pm 0,83
SCS 253 – Sangão **	21,86 ^{a,b,c} \pm 0,18
STS 1311/96-1	21,96 ^{b,c} \pm 1,42
STS 1302/96-4	20,13 ^{a,b} \pm 0,68
Preta	21,31 ^{a,b} \pm 0,78
STS 1309/96-7	24,07 ^c \pm 1,61
STS 2/03-7	21,50 ^{a,b} \pm 0,19

(1) Valores médios de três repetições.

* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

** Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Neossolo Quartzarênico

Bicudo (2008), encontrou teor de amilose para amido de mandioca de 17,3 %, Peroni, Rocha e Franco (2006) encontraram valores de 19,8 %. Silva e Cabello (2006), estudando seis diferentes amostras de amido de mandioca, obtiveram resultados de amilose de 17,17 % a 19,67 %. Valores variando de 25,95 a 32,09 % de amilose foram encontrados por Nunes, Santos e Cruz (2009), utilizando a mesma metodologia empregada neste trabalho. Já Daiuto, Cereda e Carvalho (2002), utilizando como padrão a amilose extraída da mandioca, encontraram 23,45 % de amilose.

Há relatos na literatura de que a amilose e amilopectina podem variar em função da existência de cadeias laterais. Neste caso, a determinação do teor de amilose e amilopectina de amido de mandioca que use padrão comercial de fécula de batata induziria a erros. Para contornar esse risco, os autores fracionaram fécula de mandioca e usaram seus próprios polímeros como padrão. Como suposto, os comprimentos de onda de absorção para os polímeros do amido de mandioca não foram os mesmos obtidos para batata (DAIUTO; CEREDA; CARVALHO, 2002), sendo esta uma das suposições que poderia explicar os diferentes resultados de amilose obtidos pelos vários autores. Estas diferenças podem ser também atribuídas aos diferentes métodos analíticos utilizados e a idade das plantas (PERONI; ROCHA; FRANCO, 2006).

Contudo, os resultados obtidos neste trabalho comprovam também o fato de haver diferentes percentuais de amilose entre cultivares de uma mesma planta, como a cultivar STS 1309/96-7, que apresentou maior quantidade de amilose (24,07 %), em relação aos outros, que ficaram em maioria próximos de 20 %. Por isto, espera-se deste cultivar características reológicas diferenciadas dos outros amidos.

Foram observadas também pequenas variações no teor de amilose entre as cultivares provenientes de solos diferentes Mandim Branca e STS 1302/96-3 – Vermelhinha, no entanto não houve diferenças significativas entre elas.

2.3.6 Índice de cristalinidade

Segundo Cheethan e Tao (1998), o índice de cristalinidade relativa de amidos nativos varia de 15 a 45 %, dependendo da espécie vegetal e vários são os métodos utilizados para a sua avaliação, dentre eles, hidrólise ácida, difração de raio-x e RMN-¹³C. No presente trabalho, o índice de cristalinidade dos grânulos foi avaliado por difração de raios-x. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 - Índice de cristalinidade (BPS) dos amidos extraídos de diferentes cultivares de mandioca.

Cultivar	Índice de Cristalinidade (%) ± DP
STS 2/03-10 (raiz branca)	44,30 ^{a,b} ± 0,39
SCS 252 – Jaguaruna	34,74 ^{c,d} ± 0,34
Mandim Branca*	46,73 ^b ± 2,08
STS 1302/96-3 – Vermelhinha*	39,61 ^{a,b,c} ± 4,10
SCS 253 – Sangão*	31,76 ^d ± 1,59
STS 1311/96-1	42,90 ^{a,b} ± 0,48
STS 1302/96-4	43,21 ^{a,b} ± 0,04
Preta	41,13 ^{a,b,c} ± 0,17
STS 1309/96-7	40,16 ^{a,b,c} ± 1,74
STS 2/03-7	40,71 ^{a,b,c} ± 1,73

* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

As amostras de solos distintos apresentaram os seguintes índices de cristalinidade: Mandim Branca (proveniente de Neossolo Quartzarênico), 40,57 %, STS 1302/96-3 – Vermelhinha (proveniente de Neossolo Quartzarênico) 40,94 %, SCS 253 – Sangão (proveniente de Neossolo Quartzarênico), 34,63 %. Comparativamente com as cultivares provenientes de Argissolo (Tabela 2.8), os resultados obtidos em Neossolo Quartzarênico não mostraram grandes diferenças, sendo a cultivar Mandim Branca a que apresentou a maior distinção entre os valores encontrados nos dois tipos de solo. Diante disto, não é possível afirmar que o tipo de solo esteja influenciando quanto ao índice de cristalinidade do grânulo.

Buléon et al. (1998), encontraram valor de índice de cristalinidade de 24,0 % e Ferrini (2006) de 25,24 % para amido de mandioca, utilizando difração de raios- x. Os valores encontrados pelos mesmos estão abaixo dos obtidos neste trabalho, que variaram de 31,76 a 46,73 %, havendo diferenças significativas entre o amido de maior e menor índice de cristalinidade. Já as cultivares SCS 252 – Jaguaruna e SCS 253 – Sangão (proveniente de Argissolo), estão próximos dos encontrados por Srichuwong et al. (2005), de 31,0 %.

A região cristalina do grânulo é formada pelas cadeias laterais de amilopectina, enquanto que a região amorfa é composta por amilose e ramificações de amilopectina. Assim, a cristalinidade do grânulo está, principalmente, relacionada com as duplas hélices formadas pelas ramificações de amilopectina (HOOVER, 2001). Este fato está de acordo com os resultados obtidos para a cultivar Mandim Branca

(proveniente de Argissolo), que apresenta o menor percentual de amilose, e conseqüentemente o maior índice de cristalinidade relativa. No entanto, o contrário não ocorreu, pois a cultivar STS 1309/96-7, de maior teor de amilose, não apresentou o menor índice de cristalinidade. Portanto outros fatores podem estar envolvidos com o índice de cristalinidade dos grânulos de amido, tais como, principalmente, a estrutura molecular da amilose e amilopectina.

2.3.7 Viscosidade intrínseca

As propriedades físicas de polímeros de amido podem ser caracterizadas através do peso molecular e distribuição do peso molecular. A viscosidade intrínseca é essencialmente uma medida da fricção interna ou resistência ao deslocamento de moléculas poliméricas em solução, que se utilizada adequadamente, pode fornecer um excelente critério de tamanho molecular relativo (ISLAM et al., 2001). As viscosidades intrínsecas encontradas e as massas molares médias dos amidos estudados são apresentadas na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 - Viscosidade intrínseca e massa molar média de amidos de diferentes cultivares de mandioca.

Cultivar	Viscosidade Intrínseca (mL.g⁻¹) ± DP	Massa Molar Média (kg. mol⁻¹) ± DP
STS 2/03-10 (raiz branca)	2,51 ^{a,b,c,d} ± 0,54	549,55 ^{a,b,c,d} ± 3,39
SCS 252 – Jaguaruna	2,60 ^{b,c,d} ± 0,27	570,82 ^{a,b,c,d} ± 6,60
Mandim Branca *	2,15 ^{a,b,c} ± 0,12	462,09 ^{a,b,c} ± 2,89
Mandim Branca **	1,74 ^{a,b} ± 0,19	363,49 ^{a,b} ± 4,67
STS 1302/96-3 – Vermelhinha *	3,52 ^d ± 0,25	802,49 ^d ± 6,57
STS 1302/96-3 – Vermelhinha **	2,67 ^{a,b,c,d} ± 0,15	587,89 ^{a,b,c,d} ± 3,84
SCS 253 – Sangão *	2,97 ^{b,c,d} ± 0,04	662,53 ^{b,c,d} ± 1,06
SCS 253 – Sangão **	2,51 ^{a,b,c,d} ± 0,63	549,62 ^{a,b,c,d} ± 15,61
STS 1311/96-1	2,16 ^{b,c,d} ± 0,12	590,34 ^{b,c,d} ± 2,75
STS 1302/96-4	3,26 ^{c,d} ± 0,33	736,85 ^{c,d} ± 8,53
Preta	1,48 ^a ± 0,54	304,91 ^a ± 6,31
STS 1309/96-7	2,32 ^{a,b,c,d} ± 0,27	503,73 ^{a,b,c,d} ± 15,03
STS 2/03-7	1,93 ^{a,b} ± 0,12	408,52 ^{a,b} ± 5,97

* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

** Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Neossolo Quartzarênico.

Os resultados obtidos de viscosidade intrínseca variaram de 1,48 a 3,52 mL.g⁻¹, entre o menor e maior valor, dos amidos das cultivares Preta e STS 1302/96-3 – Vermelhinha (Argissolo), respectivamente. Espera-se que o amido da cultivar STS 1302/96-3 – Vermelhinha (Argissolo), com a elevada viscosidade intrínseca apresentada, possua também um maior poder de inchamento.

Os resultados encontrados dos amidos das cultivares STS 1309/96-7, Mandim Branca (Argissolo) , STS 2/03-10, STS 1311/96-1, ficaram próximos do encontrado por Franco, Ciacco e Tavares (1998), de 2,30 (mL.g⁻¹) e de Ferrini (2006), de 2,36 (mL.g⁻¹). Já os amidos das cultivares STS 1302/96-3 – Vermelhinha (Argissolo e Neossolo Quartzarênico), SCS 252 – Jaguaruna, STS 2/03-10 (raiz branca), SCS 253 – Sangão (Argissolo e Neossolo Quartzarênico) e STS 1302/96-4 concordam com os resultados de Amante (1986), que encontrou valores de 2,82 a 3,26 mL.g⁻¹ e também com o de Zambrano, Camargo e Tavares (2001) de 2,57 mL.g⁻¹.

Comparando com amidos de outras fontes botânicas, os amidos das cultivares Mandim Branca (Neossolo Quartzarênico), Preta e STS 2/03-7 ficaram mais próximos do encontrado por Franco, Ciacco e Tavares (1998) para amido de milho (1,83 mL.g⁻¹), e grande parte dos valores se aproximam dos encontrados por Rocha, Demiate e Franco (2008), para o de mandiocinha salsa (2,39 e 2,18 mL.g⁻¹).

O comportamento reológico de pasta de dispersões de amido são dependentes da concentração de amido ou número de cadeias de amilose e amilopectina presentes na dispersão (HEITMANN; MERSMANN, 1995), por isto a importância da determinação da massa molar de amidos.

O amido da cultivar Preta foi o que apresentou menor massa molecular média (304,91 kg.mol⁻¹), espera-se deste amido, características diferenciadas dos outros cultivares, já que alguns pesquisadores têm correlacionado diretamente as propriedades reológicas com a distribuição da massa molecular de polímeros (CHAMBERLAIN; RAOU, 2000).

2.3.8 Susceptibilidade Enzimática

Sendo os grânulos de amido danificados mais susceptíveis a ação de enzimas (AMANTE, 1986), a avaliação da susceptibilidade a α -amilase foi verificada somente nos amidos das cultivares que apresentaram o maior teor de amido danificado, como mostra a Figura 2.3.

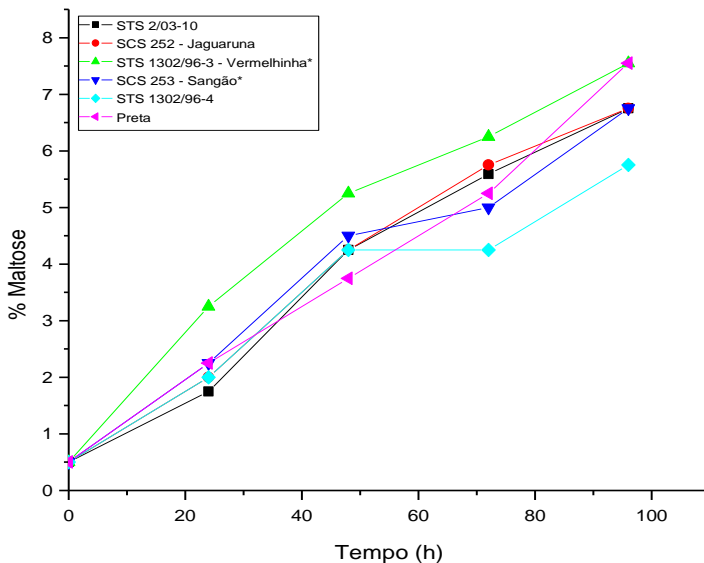


Figura 2.3 - Susceptibilidade enzimática dos amidos das diferentes cultivares a α -amilase, expressa pela porcentagem de maltose liberada pela ação da enzima sobre o amido.

* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

Com o perfil de susceptibilidade enzimática foi possível obter a inclinação da curva para cada amido em estudo, através do ajuste da curva pela linha de tendência linear. A equação obtida e a inclinação para as unidades amostrais são mostrados na Tabela 2.10.

Tabela 2.10 - Equação linear e inclinação da curva de ajuste da susceptibilidade enzimática dos diferentes amidos.

Cultivar	Equação linear	Inclinação	R ²
STS 2/03-10	$y = 0,0681 x + 0,50$	0,0681	0,9817
SCS 252 – Jaguaruna	$y = 0,0677 x + 0,60$	0,0677	0,9844
STS 1302/96-3 – Vermelhinha*	$y = 0,0713 x + 1,14$	0,0713	0,9596
SCS 253 – Sangão*	$y = 0,0635x + 0,75$	0,0635	0,9720
STS 1302/96-4	$y = 0,0531x + 0,80$	0,0531	0,9383
Preta	$y = 0,0713x + 0,44$	0,0713	0,9932

* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

Os resultados são de certa forma homogêneos, sendo que em todos os amidos as cultivares apresentaram baixa susceptibilidade enzimática, com exceção do amido da cultivar STS 1302/96-3 – Vermelhinha, proveniente de Argissolo, que se mostrou mais susceptível ao ataque enzimático. Fato observado através da maior inclinação e também através da Figura 2.3. Tal resultado concorda com a maior proporção de amido danificado e com o maior peso molecular encontrado nesta cultivar. Assim, esta cultivar poderia ser direcionada para a produção de álcool, por ser mais susceptível à ação enzimática do que as outras cultivares em estudo. Este amido também poderia ser utilizado para produção de amidos modificados, como por exemplo, produtos substituintes de gordura, por ter maior velocidade de hidrólise.

A velocidade para a hidrólise do amido da cultivar STS 1302/96-4 foi acentuada nas primeiras 48 horas, seguida por uma diminuição da velocidade de hidrólise em 72 horas. A maior velocidade de hidrólise nas primeiras horas de incubação pode ser decorrente da rápida ação inicial da enzima α -amilase na zona amorfa dos grânulos, produzindo maltose. Este resultado também pode ser justificado pelo menor percentual de amido danificado nesta cultivar em relação aos outras que foram submetidas à hidrólise.

As áreas cristalinas do amido mantêm a estrutura do grânulo e controlam o seu comportamento em água, deixando-os com maior resistência ao ataque químico e enzimático (FRANCO et al., 2001). Esta afirmação não pode ser comprovada no presente trabalho, visto que, a cultivar STS 1302/96-3 – Vermelhinha, com maior susceptibilidade ao ataque enzimático, não é a que apresenta o maior índice de cristalinidade, dentre as cultivares submetidas à hidrólise. Partindo da mesma analogia para as outras cultivares, não foi observado relação do índice de cristalinidade do grânulo com a sua susceptibilidade enzimática. Talvez outros fatores possam estar influenciando mais fortemente a susceptibilidade, como o amido danificado, sobrepondo-se ao efeito do índice de cristalinidade.

2.3.9 Forma e tamanho dos grânulos

O tamanho e forma dos grânulos de amido estão entre os fatores de importância na determinação de seus usos potenciais. Por exemplo, grânulos pequenos (2,0 μ m) podem ser usados como substitutos de gordura devido ao tamanho ser semelhante ao das gotículas de lipídeos, embora o tamanho de grânulo desejável para esta finalidade seja obtido somente com modificação (ZAMBRANO; CARMARGO; TAVARES,

2001). Outras aplicações, nas quais o tamanho dos grânulos é importante, é a produção de filmes plásticos biodegradáveis e de papéis para fax (LEONEL, 2007).

O tamanho e a forma dos grânulos de amido variam com a espécie, e a distribuição de tamanho varia com o estágio de desenvolvimento da planta e forma de tuberização, podendo ainda se diferenciarem entre variedades (AMANTE, 1986). Outro parâmetro interessante é a regularidade na forma, ou seja, diferença entre diâmetros, parâmetro que indica regularidade do tamanho (SATIN, 2000).

Os amidos estudados no presente trabalho foram fotomicrografados em triplicata, sendo as fotomicrografias selecionadas mostradas nas Figuras 2.4 e 2.5.

As análises microscópicas mostraram grânulos de formas bem homogêneas e características de amido de mandioca, arredondados, ovalados, cupuliformes, mitriformes e convexo bicôncavos de tamanhos variados. A Tabela 2.11 apresenta as faixas de diâmetros obtidas para os amidos de cada cultivar.

Tabela 2.11 - Diâmetro dos grânulos de amido de diferentes cultivares de mandioca.

Cultivar	Faixa de diâmetros* (mínimo e máximo) (μm)	Predominância de grânulos
STS 2/03-10 (raiz branca)	6,37 – 13,89	Grânulos médios
SCS 252 – Jaguaruna	6,56 – 16,76	Grânulos grandes
Mandim Branca	5,89 – 15,29	Distribuição entre grandes, médios e pequenos
STS 1302/96-3 - Vermelhinha	7,64 – 16,13	Grânulos grandes
SCS 253 - Sangão	7,22 – 16,00	Grânulos pequenos
STS 1311/96-1	9,11 – 17,86	Distribuição de médios e grandes
STS 1302/96-4 Preta	5,54 – 14,24	Grânulos pequenos
STS 1309/96-7	7,68 – 14,60	Grânulos médios
STS 2/03-7	8,24 – 13,57	Grânulos médios
	5,75 – 15,08	Grânulos grandes

n=3

*Diâmetros médios de grânulos de três fotografias por amostra

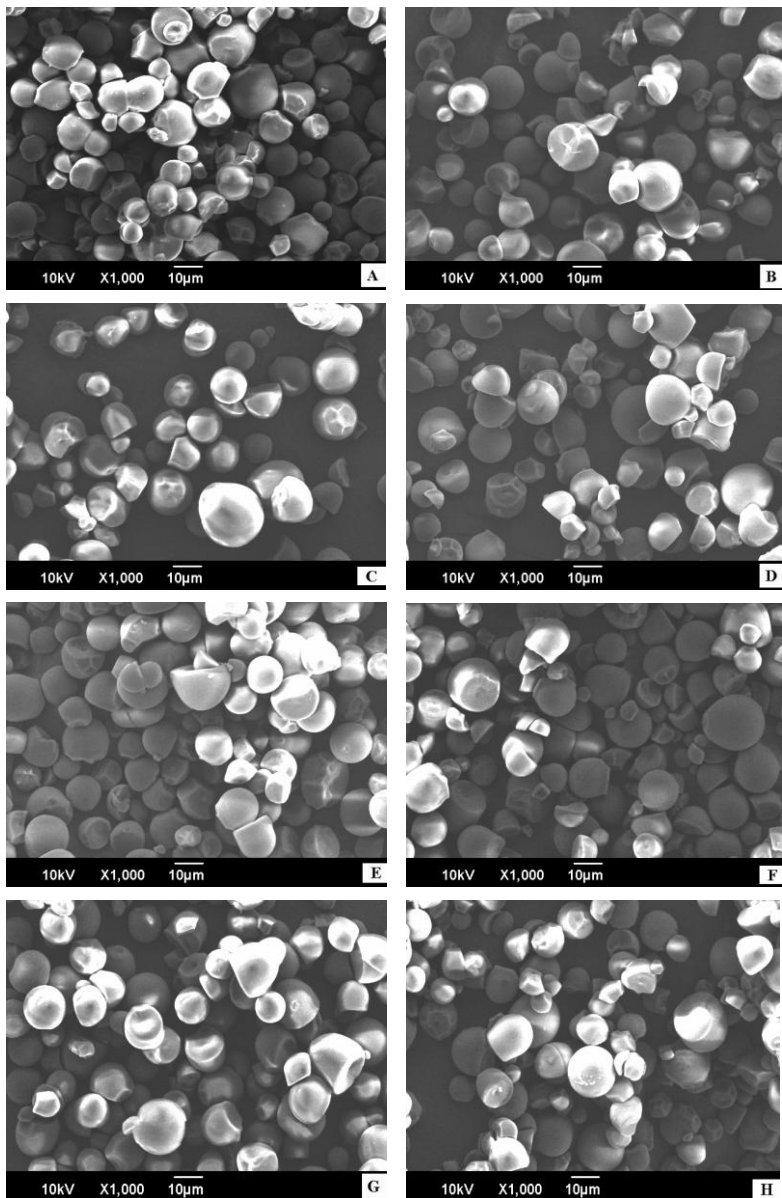


Figura 2.4 - Micrografia eletrônica de varredura dos grânulos de amido de mandioca das cultivares STS 2/03-10 (A), SCS 252- Jaguaruna (B), Mandim Branca (C), STS1302/96- Vermelhinha (D), SCS 253- Sangão (E), STS 1311/96-1 (F), STS 1302/96-4 (G) e Preta (H).

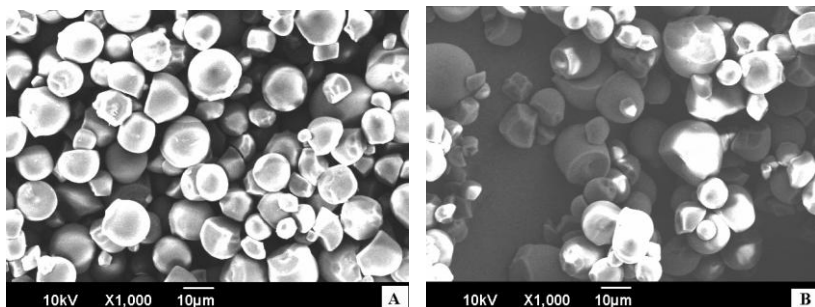


Figura 2.5 - Micrografia eletrônica de varredura dos grânulos de amido de mandioca das cultivares STS 1309/96-7 (A) e STS 2/03-7 (B).

A distribuição de tamanho mostrou grânulos de diferentes diâmetros, o que já era esperado devido ao processo de tuberização da raiz a partir de um câmbio central. A distribuição foi normal com predomínio de grânulos com diâmetros maiores entre 9,11 e 17,86 μm do cultivar STS 1311/96- 1 e com diâmetros menores entre 5,54 a 14,24 μm , da cultivar STS 1302/96-4 . Isto comprova o fato de que além do tamanho e forma dos grânulos variarem com a origem botânica, pequenas variações podem ocorrer entre variedades ou cultivares de uma mesma planta.

Sriroth et al. (1999), estudando a influência do tempo de colheita em quatro cultivares comerciais de mandioca na Tailândia sobre a estrutura dos grânulos de amido, observaram através da análise de tamanho de grânulos que a distribuição de tamanho foi afetada pela idade da raiz, ocorrendo uma mudança gradativa de uma distribuição normal para bimodal, ou seja, com dois picos representando faixas distintas de tamanho de grânulos de amido, sendo a idade das plantas um fator que não poderia influenciar no presente trabalho, visto que, todas as raízes são de um ciclo e de oito meses.

Leonel (2007), encontrou grânulos de amidos de mandioca de formas circulares e alguns côncavo-convexos característicos, com diâmetro entre 15 e 20 μm , e Cereda et al. (2001) com diâmetros médios de 20 μm , valores estes acima do encontrado no presente trabalho, no entanto, concordam com os encontrados por Ferrini (2006) de 11,67 μm de diâmetro médio.

Comparando com amidos de outras fontes botânicas, os diâmetros encontrados para amido de mandioca são relativamente maiores do que os encontrados para amido de arroz, por Abrahan e

Simi (2008) de 5 a 6 μm , menores do que o de batata de 20 a 40 μm , citados por Peshin (2001) e de jacatupé (*Pachyrhizus ahipa*) de 10 a 25 μm , encontrados por Leonel e colaboradores (2003), e próximos ao de gengibre com diâmetros médios de 14,5 μm , em trabalho realizado por Ferrari, Leonel e Sarmento (2005).

Estas variações nos tamanhos e forma dos grânulos se devem às origens, fisiologia das plantas e a bioquímica do amiloplasto. Podem, ainda, ocorrer em função dos diferentes teores de amilose e amilopectina presentes em cada planta (KAUR; SINGH; MCCARTHY; SINGH, 2007).

2.4 CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos pode-se concluir que algumas características dos grânulos de amido podem ser alteradas durante o processo de extração do amido, demonstrado pelos diferentes percentuais de cinzas e amido danificado encontrados em amostras de uma mesma cultivar que foram extraídos pelo mesmo método. Isto demonstra a necessidade da caracterização físico-química de cada lote de amido mesmo que ele seja de uma mesma planta.

Embora os resultados de densidade absoluta não tenham demonstrado diferenças significativas entre eles, diferenças significantes podem ocorrer, como no caso da cultivar STS 1302/96-3 – Vermelhinha, proveniente de Neossolo Quartzarênico, que apresentou a menor densidade dentre as cultivares em estudo. Indústrias que não levam em consideração estas diferenças podem ter falhas em suas estequiometrias de processo.

Indústrias que utilizam o amido e não fazem a caracterização físico-química de suas matérias-primas podem sofrer influência em seus balanços de massa ou cinética de reações de modificação.

As cultivares STS 1302/96-3 – Vermelhinha, proveniente de Neossolo Quartzarênico, STS 1309/96-7 e STS 2/03-7 podem ser utilizadas por indústrias que desejam um maior teor de amido sobre o peso bruto, como as indústrias de produção de amido ou produção de álcool. No entanto, a cultivar mais indicada para a produção de álcool seria a STS 1302/96-3 – Vermelhinha, proveniente de Argissolo, devido a sua maior susceptibilidade à ação de enzimas. Esta cultivar também poderia ser direcionada para a produção de amidos modificados ou fermentados, por ter maior velocidade de hidrólise em relação às outras cultivares em estudo.

Espera-se da cultivar Mandim Branca, proveniente de Neossolo Quartzarênico, devido ao seu maior teor de lipídeos, que pode estar presente na forma de complexo de inclusão, características reológicas diferenciada das outras cultivares. Características reológicas diferenciadas também são esperadas para os amidos das cultivares STS 1302/96-3 – Vermelhinha, de maior peso molecular, e da STS 1309/96-7 maior teor de amilose.

CAPÍTULO 3 - CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE AMIDOS DE DIFERENTES CULTIVARES DE MANDIOCA

3.1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot Sculenta* Crantz) é pertencente à família das *Euporbiaceae* e é originária da América do Sul. Essa tuberosa é de grande importância uma vez que é cultivada praticamente em todo o território nacional, é uma fonte amilácea e faz parte da alimentação do povo brasileiro (FENIMAN, 2004; BENINCA, 2008).

O amido de mandioca natural possui um sabor suave e pasta clara. O amido, nativo ou modificado, pode ser usado para diversos fins. Na indústria de alimentos: como espessante, utiliza as propriedades de gelatinização em cremes, tortas, pudins, sopas, alimentos infantis, molhos, caldos, como recheio, aumento do teor de sólidos em sopas enlatadas, sorvetes, conservas de frutas; como ligante, impede a perda de água durante o cozimento em salsichas, carne enlatada, como estabilizante, retenção de água em sorvetes, fermento em pó; na elaboração de produtos de panificação, biscoitos em extrusados e também em preparados farmacêuticos (PINTO, 2008).

Na indústria alimentícia, o amido é utilizado em função da viscosidade, poder geleificante, adesão, tendência a retrogradação, entre outras propriedades que são influenciadas pela proporção amilose/amilopectina, teor de proteína e gordura além da estrutura, forma e tamanho dos grânulos. Embora o amido seja quimicamente constituído apenas por glicose, em sua extração comercial permanecem resíduos da estrutura celular vegetal, na forma de impurezas. Apesar de se apresentarem em teores abaixo de 2%, essas impurezas podem influenciar as propriedades do amido (DAIUTO; CEREDA; CARVALHO, 2002).

Além da composição do grânulo, estudar as propriedades reológicas dos amidos tem significativa importância para as indústrias de alimentos que buscam manter e realçar as propriedades de seus produtos em períodos de armazenamento (BOBBIO; BOBBIO, 1995; THOMAS; ATWELL, 1999).

A gelatinização do amido é um fenômeno importante para o seguimento da indústria alimentícia. Os amidos obtidos de diversas fontes exibem faixas características de temperatura onde a gelatinização

ocorre. Nos amidos nativos os grânulos são pouco solúveis em água quando a temperatura do sistema não está próxima a de gelatinização. Quando grânulos de amido são intumescidos e as cadeias de amilose e amilopectina solubilizam, há a gradual perda da integridade granular que resulta em modificações das propriedades reológicas e formação de uma pasta viscosa. Este fenômeno é conhecido como gelatinização (COSTA, 2010).

A capacidade de gelatinização do amido é relacionada a quantidade de amilose nele contida. A gelatinização ocorre entre as moléculas de amilose e as cadeias laterais curtas das moléculas de amilopectina, por meio de ligações de hidrogênio em soluções aquosas (GOMES et al., 2009 apud COSTA, 2010). Quando as moléculas de amilose e amilopectina começam a reassociar, a formação de uma estrutura mais ordenada é favorecida, e tal processo é denominado de retrogradação (GOMES et al., 2009). A gelatinização, a tendência à retrogradação e outras propriedades reológicas do gel de amido são respostas à natureza dos grânulos, quanto ao teor de amilose e amilopectina, arranjo espacial destes dois polissacarídeos na estrutura interna e grau de compactação do mesmo.

Neste sentido, o presente trabalho tem como finalidade caracterizar reologicamente amidos de dez diferentes cultivares de mandioca, produtos de melhoramento genético, relacionando com as características físico-químicas, na busca do potencial tecnológico para os amidos em estudo.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Material

Os materiais e matérias-primas são os mesmos apresentados no capítulo 2, item 2.2.1.

3.2.2 Métodos

3.2.2.1 Coleta e transporte das amostras

A coleta e transporte das amostras foram realizados conforme descrito no capítulo 2, item 2.2.2.1.

3.2.2.2 Extração do amido da mandioca

A extração do amido foi realizada de acordo com o procedimento apresentado no capítulo 2, item 2.2.2.2.

3.2.2.3 Propriedades inerentes ao intumescimento dos grânulos, solubilidade e viscosidade

3.2.2.3.1 Poder de inchamento e índice de solubilização

O poder de inchamento e o índice de solubilização foram determinados seguindo o procedimento de Leach et al. (1959), suspensões aquosas de amido foram mantidas em banho Maria a 50, 60, 70, 80 e 90 °C por 30 minutos, com agitação ocasional. Posterior centrifugação separou o amido intumescido e solubilizado, cujos teores foram calculados gravimetricamente.

3.2.2.3.2 Propriedades da pasta de amido

As variações da consistência sofridas pelo amido durante a formação da pasta, sob efeito da temperatura e da agitação, foram seguidas fazendo o uso de um viscosímetro *Rapid Visco Analyser* (RVA) Newport Scientific, Narabee, NSW, Austrália. Foram construídos amilogramas na concentração de amido de 8 % p/v (base peso seco). Dos gráficos obtidos foram avaliadas as seguintes características: temperatura de gelatinização, viscosidade máxima, temperatura no pico de viscosidade máxima, viscosidade mínima, viscosidade final no ciclo de resfriamento e tendência a retrogradação (*set back*). A tendência à retrogradação foi obtida pela diferença entre a viscosidade mínima e a viscosidade no resfriamento.

3.2.2.4 Procedimentos Estatísticos

Todas as análises foram conduzidas em triplicata e os dados expressos como média \pm desvio padrão (DP). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), ao nível de 5 % de significância, seguido pelo teste de Tukey, para comparação das médias.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Poder de inchamento e índice de solubilização

O grânulo de amido é constituído de moléculas de amilose e amilopectina associadas entre si por ligações de hidrogênio, formando áreas cristalinas radialmente ordenadas. Entre essas áreas cristalinas existem regiões amorfas, nas quais as moléculas não têm uma orientação particular. As áreas cristalinas mantêm a estrutura do grânulo e controlam o comportamento do amido em água, fazendo com que o grânulo absorva uma quantidade limitada de água, embora seja constituído por polímeros solúveis ou parcialmente solúveis (CIACCO; CRUZ, 1982). Os resultados do poder de inchamento e índice de solubilização para os amidos em estudo são apresentados no Apêndice B.

Segundo Singh et al. (2003), quando as moléculas de amido são aquecidas em excesso de água, a estrutura cristalina é rompida, e as moléculas de água formam ligações de hidrogênio entre a amilose e amilopectina, expondo seus grupos hidroxila, o que causa um aumento no inchamento e na solubilidade do grânulo. O poder de inchamento e a solubilidade variam de acordo com a fonte do amido, fornecendo evidências da interação entre as cadeias dentro dos domínios amorfos e cristalinos. A extensão destas interações é influenciada pela proporção amilose: amilopectina e pelas características dessas moléculas (distribuição e peso molecular, grau e comprimento de ramificações e conformação). O presente trabalho mostra que o poder de inchamento e a solubilidade do amido podem variar também entre cultivares de uma mesma planta, como mostram as Figuras 3.1 e 3.2.

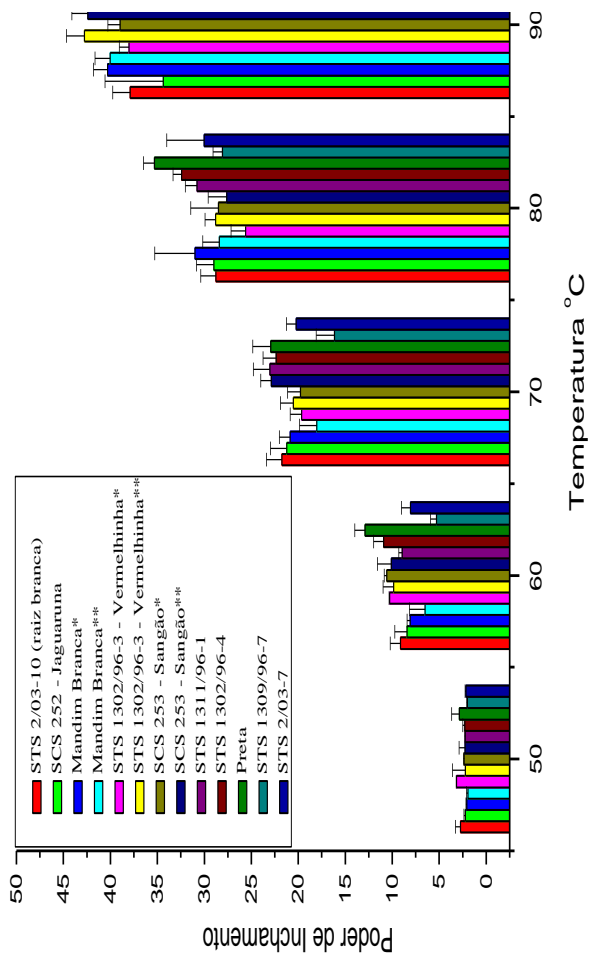


Figura 3.1 - Poder de inchamento dos amidos de diferentes cultivares de mandioca.

* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

** Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Neossolo Quartzarênico.

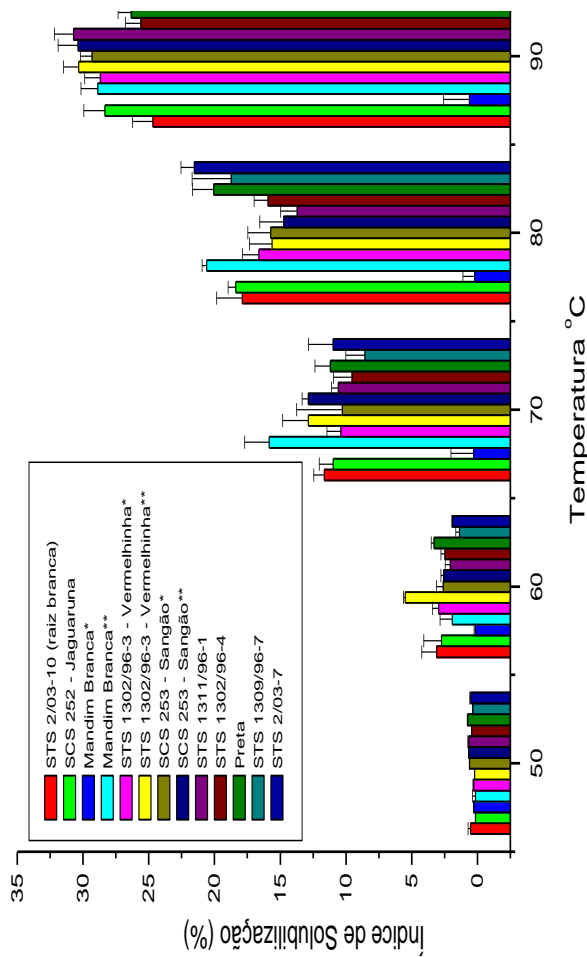


Figura 3.2 - Índice de solubilização dos amidos de diferentes cultivares de mandioca.

* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

** Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Neossolo Quartzarênico.

A amilose e o conteúdo lipídico possuem um significativo efeito na capacidade de inchamento do grânulo, quando este é aquecido em excesso de água (MORRISON; SCOTT; KARKALAS, 1986). O amido com alto teor de amilose não incha tanto quanto os que possuem menor quantidade, isto porque a amilopectina é a fração responsável pelo inchamento, sendo a amilose o fator diluente (SOARES, 2003), concordando com os resultados obtidos neste estudo, sugerindo que o maior teor de amilose encontrado para o amido do cultivar STS 1309/96-7 limitou o inchamento dos grânulos em quase todas as temperaturas avaliadas, influenciando seu poder de inchamento. Outro aspecto a ser considerado nesta cultivar, é o maior teor de grânulos inteiros, indicado pela sua densidade absoluta, fez com que o seu poder de inchamento fosse menor em relação as outras cultivares.

A mesma analogia não serviria como explicação para o baixo poder de inchamento, da cultivar Mandim Branca, proveniente de Argissolo, pois a mesma apresentou baixo teor de amilose. Talvez a quantidade de lipídeo presente nesta cultivar em relação aos outros, esteja interferindo diretamente no poder de inchamento, através do impedimento estérico. Analisando a mesma cultivar em relação ao tipo de solo, a que é proveniente de Argissolo apresentou menor quantidade de amilose e maior poder de inchamento em relação a que é proveniente de Neossolo Quartzarênico.

Apesar do amido da cultivar STS 1302/96-3 – Vermelhinha, proveniente de solo Quartzarênico ter apresentado menor percentual de amilose em relação a proveniente de Argissolo, o seu poder de inchamento só foi superior nas temperaturas acima de 60 °C. Este fato se explica pela maior resistência das ligações de hidrogênio, que mantém o arranjo miscelar, da cultivar STS 1302/96-3–Vermelhinha de solo Quartzarênico, ser abalado somente após a temperatura de gelatinização (acima de 60 °C).

Como o amido da cultivar STS 1302/96-3 – Vermelhinha, proveniente de Argissolo possui a maior viscosidade intrínseca ($3,52 \text{ mL.g}^{-1}$) dentre a cultivares em estudo, esperava-se dela também o maior poder de inchamento, no entanto este fato só foi observado a 50°C. Isto pode ter ocorrido em função desta cultivar possuir o segundo maior teor de lipídeos, que pode estar agregado ao grânulo de amido, através do complexo de inclusão, impedindo que a mesma tenha um maior poder de inchamento no restante das temperaturas analisadas. Outra explicação seria o fato de que esta cultivar apresenta a maior proporção de amido danificado, e amidos danificados apresentam inchamento precoce a

menores temperaturas, uma vez que as regiões rompidas facilitam a penetração da água.

Mesmo a amostra de amido da cultivar Preta, tendo apresentado o maior poder de inchamento nas temperaturas de 60 a 80 °C, isto não ocorreu para o índice de solubilização desta amostra, apesar de a mesma não conter uma quantidade de amilose inferior as outras cultivares. Este fato pode ser justificado por, talvez, grande parte da amilose desta cultivar estar muito fortemente envolvida com a amilopectina no arranjo cristalino do grânulo (AMANTE, 1986).

Analisando a Figura 3.2 é possível verificar que a solubilidade aumenta com o aumento da temperatura, sendo que após 60 °C, a solubilidade se torna mais pronunciada, isto porque, a partir desta temperatura o amido inicia a gelatinização ou intumescimento. Durante a gelatinização, a estrutura cristalina do amido é rompida devido ao relaxamento das ligações de hidrogênio e as moléculas de água interagem com os grupos hidroxilas da amilose e da amilopectina, causando um aumento do tamanho dos grânulos e solubilização parcial do amido (HOOVER, 2001).

3.3.2 Propriedades da pasta de amido

A viscosidade é uma das propriedades mais importantes dos materiais amiláceos. A curva de viscosidade representa o seu comportamento durante o aquecimento e permite avaliar as características da pasta formada, devido às modificações estruturais das moléculas de amido e a tendência a retrogradação durante o resfriamento (COTINHO; CABELLO, 2005).

Na presença de água e calor os grânulos de amido expandem absorvendo água. Com o aquecimento a temperatura de gelatinização é atingida e uma pasta é formada (FERRARI; LEONEL; SARMENTO, 2005). As propriedades das pastas e os perfis viscoamilógrafos dos amidos das dez cultivares de mandioca, são mostrados na Tabela 3.1 e os amilogramas apresentados no Apêndice C.

Quando ocorre o resfriamento, alguns polímeros de amilose e amilopectina solubilizados começam a reassociar, formando um precipitado ou gel ocorrendo um aumento na opacidade da pasta. Este processo é chamado retrogradação ou *setback* (WHISTLER; BEMILLER, 1997) e ocorre aumento da viscosidade.

Comparando com amidos de cereais normais, os amidos de raízes e tubérculos apresentam baixas temperaturas de pasta, baixa resistência ao atrito mecânico e baixa tendência à retrogradação (PERONI;

ROCHA; FRANCO, 2006). Segundo Lin et al. (2005) essas propriedades podem ser atribuídas aos baixos teores de lipídeos, incluindo-se os fosfolipídeos nesses amidos. Mishra e Tai (2005) atribuem esta diferença à cristalinidade mais alta do amido de mandioca em relação ao amido de milho.

Os perfis viscoamilográficos dos amidos das cultivares em estudo, mostrados no Apêndice C, apresentaram curvas típicas para amidos de tuberosas e foram semelhantes quanto ao formato. As curvas mostraram que a temperatura inicial de pasta das cultivares ficou na faixa de 61,77 a 66, 57 °C, a viscosidade máxima entre 4417, 00 a 3527,50 cP, temperatura de viscosidade máxima de 73,15 a 76,88 °C, viscosidade mínima de 1192,33 a 1336,00 cP, viscosidade ao final do resfriamento de 2228,33 a 2602, 67 cP e tendência a retrogradação de 1036,00 a 1360, 00 entre as cultivares de menores e maiores valores.

Bertolini e colaboradores (2005) estudando algumas propriedades reológicas de géis de amido modificados com caseinato de sódio, encontraram para amido de mandioca, pico de viscosidade máxima de 281 RVU (3259,6 cP) com temperatura de 88 °C e viscosidade final de 168 RVU (1948,8 cP), enquanto Leonel e Cereda (2002) encontraram pico de viscosidade de 247,8 RVU (2874,cP). Os picos de viscosidade máxima e viscosidade mínima ficaram um pouco abaixo dos obtidos no presente trabalho, no entanto, considerando que a concentração de amido utilizada reflete em propriedades amilográficas, esta seria uma explicação para a diferença nos resultados de propriedades de pasta encontrados pelos autores (MORRIS; KING; RUBENTHALER, 1997).

Sarmento e colaboradores (2009) encontraram para o amido de batata doce, pico de viscosidade máxima de 270 RVU (3132 cP), temperatura de pasta de 72,8 °C, viscosidade mínima de 131 RVU (1519,6 cP), viscosidade final no resfriamento de 211 RVU (2447,6 cP) e tendência a retrogradação de 72 RVU (835,2 cP), propriedades de pasta que se apresentaram abaixo das encontradas para o amido de mandioca neste trabalho, com exceção da viscosidade final que se aproximou bastante, ficando acima também das encontradas por Leonel, Sarmento e Ferrari (2005) que mostraram valores de pico de viscosidade máxima de 76,9 RVU (892,04 cP), temperatura de pasta de 91,1 °C e tendência a retrogradação de 28 RVU (324,8 cP), para amido de gengibre, lembrando que as concentrações de amido utilizadas pelos autores não foram as mesmas utilizadas neste trabalho.

Tabela 3.1 - Propriedades viscoamilográficas dos amidos das cultivares de mandioca, obtidas a partir de amilogramas construídos no RVA.

Amostras	Temp. inicial de pasta (°C)	Viscosidade e máxima (cP)	Temp. da Visc. máxima (°C)	Viscosidade e mínima (cP)	Visc. final no ciclo de resfriamento (cP)	Set Back (cP)
STS 2/03-10 (raiz branca)	62,42	3701,33	76,12	1257,67	2397,00	1140,33
SCS 252 – Jaguaruna	62,55	3756,67	75,02	1233,33	2309,00	1075,67
Mandim Branca *	64,75	3527,50	76,57	1295,00	2390,50	1095,50
Mandim Branca **	65,15	3710,00	75,20	1230,00	2282,00	1052,00
STS 1302/96-3 – Vermelhinha *	63,52	3728,50	75,80	1336,00	2414,50	1078,50
STS 1302/96-3 – Vermelhinha **	63,05	3953,00	74,00	1211,00	2368,00	1157,00
SCS 253 – Sangão *	63,30	3817,00	74,62	1233,50	2370,00	1136,50
SCS 253 – Sangão **	63,10	3953,00	75,95	1297,00	2418,00	1121,00
STS 1311/96-1	63,52	3855,67	75,03	1258,00	2370,67	1112,67
STS 1302/96-4	62,97	3458,33	73,20	1192,33	2228,33	1036,00
Preta	61,77	4417,00	73,15	1323,67	2512,67	1189,00
STS 1309/96-7	66,57	4298,33	76,88	1242,67	2602,67	1360,00
STS 2/03-7	64,20	3742,00	76,15	1213,00	2418,00	1205,00

* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

** Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Neossolo Quartzarênico.

As propriedades de gelatinização de amidos estão relacionadas a uma série de fatores incluindo proporção e tipo de cristalinidade, tamanho e estrutura do grânulo (LINDEBOOM; CHANG; TYLER, 2004). Grânulos de amido pequenos apresentam em geral, temperaturas de gelatinização maiores do que grânulos grandes (WISTLER; PASCHAL, 1965). Esta afirmação não concorda com os resultados do presente trabalho, já que a cultivar STS 1302/96-4, que apresentou grânulos de tamanhos menores, não apresentou a maior temperatura de gelatinização.

As propriedades funcionais do amido são grandemente afetadas pela massa molecular da amilose e amilopectina. Quanto menor o peso molecular destes polímeros menor a temperatura de pasta dos amidos (YOO; JANE, 2002), comprovado pela cultivar Preta que apresentou o menor peso molecular e também a menor temperatura de pasta e de gelatinização.

Apesar de a cultivar Mandim Branca (Neossolo Quartzarênico) ter apresentado o segundo menor peso molecular, a sua temperatura de gelatinização foi a segunda maior, isto pode ser atribuído à possibilidade de formação de complexo de inclusão entre a amilose e lipídeos no amido, aumentando a temperatura de pasta, visto que esta cultivar é a que possui o maior teor de lipídeos. O fato de a distribuição do tamanho dos grânulos não ter sido homogênea nesta cultivar, apresentando grânulos de tamanhos grandes, médios e pequenos, pode ter influenciado na temperatura de pasta.

Os resultados das propriedades de pasta e pico de viscosidade máxima concordam com os resultados encontrados para o poder de inchamento, mostrados para a cultivar Preta, que possui o maior poder de inchamento de 60 a 80 °C, assim como o maior pico de viscosidade máxima. Efeito similar não ocorreu com o segundo maior pico de viscosidade máxima, da cultivar STS 1309/96-7, pois a mesma não apresentou o segundo maior poder de inchamento, e ainda possui o maior teor de amilose dentre as cultivares, contudo, como observado através da microscopia eletrônica de varredura, esta cultivar possui grânulos com no máximo 13,57 μm , tamanho comparativamente pequeno em relação às outras cultivares, fator este que pode estar influenciando diretamente no pico de viscosidade.

Uma alta viscosidade é desejável para usos industriais, nos quais o objetivo é o poder espessante. Para isso é necessário o controle da retrogradação. A retrogradação é basicamente um processo de cristalização das moléculas de amido que ocorre pela forte tendência de formação de ligações de hidrogênio entre moléculas adjacentes. A

associação das moléculas do amido propicia o desenvolvimento de uma rede tridimensional mantida coesa pelas áreas cristalinas. Esta rede é formada por grânulos de amido parcialmente inchados e componentes do amido em solução. A formação desta rede durante o resfriamento resulta no aparecimento de gel (HOOVER, 2001). Com o tempo, este gel formado tem a tendência de liberar água. Esta liberação de água é conhecida como sinerese e é comumente encontrada em alguns produtos como molhos em geral (CEREDA et al., 2001).

Como esperado para amido de mandioca os amidos em geral apresentaram baixa tendência a retrogradação. O impedimento deste fenômeno, em amidos de mandioca, ocorre, principalmente, pelo baixo teor de amilose. Predominam, em relação a outros amidos, as moléculas de amilopectina de maior tamanho e de estrutura menos susceptível a reassociações por ligações de hidrogênio, o que ocorre mais comumente quando maior teor de amilose está presente (AMANTE, 1986).

O conteúdo de amilose foi descrito como sendo um dos fatores que influencia a retrogradação do amido. Uma maior proporção de amilose tem sido tradicionalmente ligada como uma maior tendência a retrogradação nos amidos, mas a amilopectina, materiais intermediários, tamanho e forma dos grânulos e fonte botânica, também têm um papel importante na retrogradação durante armazenamento refrigerado (SINGH, et al., 2003). A relação entre amilose e a tendência a retrogradação ficou evidenciada no amido da Cultivar STS 1309/96-7 que apresenta o maior percentual de amilose entre as cultivares em estudo, e conseqüentemente, uma maior tendência a retrogradação.

Apesar da cultivar Mandim Branca (Neossolo Quartzarênico) ter apresentado menor teor de amilose, esta não possui a menor tendência a retrogradação, talvez seu maior teor de lipídeos possa ter influenciado diretamente na sua baixa tendência a retrogradação.

Os resultados obtidos não mostram grandes diferenças nas propriedades viscoamilográficas entre as cultivares de solos distintos, enquanto variações maiores de valores são observadas entre as cultivares de mandioca.

3.4 CONCLUSÃO

Estudando-se as propriedades dos amidos das dez cultivares de mandioca, produtos de melhoramento genético, foi possível concluir que diferenças de propriedades de pasta, poder de inchamento, índice de solubilização e tendência a retrogradação podem ocorrer em amostras de amido de uma mesma origem vegetal, como a mandioca.

Amidos das cultivares STS 1302/96-4 e Mandim Branca (proveniente de Argissolo), por darem origem a pastas finas e transparentes e apresentarem baixos picos de viscosidade máxima, poderiam ser usados em produtos alimentícios quando for desejada baixa viscosidade, tais como, sopas, molhos, alimentos infantis e outros.

Uma menor tendência a retrogradação é desejável em produtos que ficam estocados, como pães e produtos panificáveis, bem como na perda de água, como algumas sobremesas, pudins e outros que utilizam o amido como espessante. Assim, para esta finalidade seriam indicadas os amidos das cultivares STS 1302/96-3 – Vermelhinha (proveniente de Argissolo), SCS 252- Jaguaruna, STS 1302/96-4 e Mandim Branca (proveniente de Argissolo e Neossolo Quartzarênico), por apresentarem menor tendência a retrogradação.

Amidos com maior poder de inchamento podem trazer contribuições como espessante, com maior rendimento do produto final. O amido da cultivar Preta portanto, poderia ser utilizado como espessante, com a vantagem do aumento no rendimento do produto, devido ao seu maior poder de inchamento.

Maiores investimentos no controle de qualidade de raízes de mandioca representam importante decisão para que a indústria de amido nacional seja competitiva com as multinacionais que consideram a importância da profissionalização, a química do amido e as evidentes diferenças entre as matérias- primas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O grânulo de amido é uma estrutura muito complexa. A diferença entre as suas características pode influenciar significativamente diversos processos tecnológicos da indústria de alimentos. Esses fatores estão relacionados às características estruturais do amido, como teor de amilose, cristalinidade, propriedades de gelatinização e retrogradação, inchamento e solubilização do grânulo. O estudo destas características demonstra que o amido é muito mais do que uma reserva energética e que as diferenças químicas existentes, mesmo no amido de uma mesma fonte vegetal, podem dirigir e permitem otimizar a sua aplicação tecnológica.

Estas diferenças nas características do amido utilizado como matéria-prima devem ser levadas em consideração, em balanços de massa, cinética de modificações e estequiometria de processos químicos industriais.

A caracterização físico-química e reológica dos amidos em estudo podem servir como base para trabalhos futuros com estas matérias-primas, por exemplo, para prever a velocidade de hidrólise, fermentação ou produção de amidos modificados.

Este trabalho realizado em parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural do Estado de Santa Catarina, contribuiu para a obtenção de informações adicionais às características agrônomicas das raízes, influenciando na decisão para a indicação de cultivares para diferentes aplicações industriais.

REFERÊNCIAS

ABRAHAM, T. E; SIMI, C. K. Physicochemical Rheological and Thermal Properties of Njavara Rice (*Oryza sativa*) Starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 3. n 56, p. 12105–12113, 2008.

AMANTE, E. R. **Caracterização de Amidos de Variedades de Mandioca (*Maninot esculenta*, Crantz) e de Batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. 1986. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTIS (AOAC). **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 18th ed. Gaithersburg, M.D, USA, 2005.

APLEVICZ, K. S.; DEMIATE, I. M. Caracterização de amidos de mandioca nativos e modificados e utilização em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 478-484, jul-set., 2007.

BAKER, A.A.; MILES, M.J.; HELBERT, W. Internal structure of the starch granule revealed by AFM. **Carbohydrate Research**, v.330, p.249- 256, 2001.

BEMILLER, J, N. Starch modification: challenges and prospects. **Starch/Stärke**, v.49, n.4, p.127-131, 1997.

BENINCA, C. **Emprego de técnicas termoanalíticas na análise de amidos nativos e quimicamente modificados de diferentes fontes botânicas**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)- Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2008, 74 f.

BERTOLINI, A. C.; CREAMER, L. K.; EPPINK, M.; BOLAND, M. Some Rheological Properties of Sodium Caseinate-Starch Gels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 53, n. 6, 2005.

BICUDO, S. C. W.. **Caracterização de amidos nativos de diferentes fontes botânicas através de técnicas termoanalíticas e teor de amilose**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)- Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2008, 116f.

BILIADERIS, C.G. The structure and interactions of starch with food. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, v. 69, p.60-78, 1991.

BILIADERIS, C. G. Structures and phase transitions of starch in food systems. **Food Technology**, v. 145, p. 98-109, 1992.

BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A. **Introdução à Química dos Alimentos**. 2ed. São Paulo: Varela, 1995. 223 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 23 de setembro de 2005.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 23 de 14 de dezembro de 2005.

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

CEREDA, M. P. Amidos modificados. **Boletim Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 31-36, jan./jun. 1996.

CEREDA, M.P. Determinação de viscosidade de fécula fermentada de mandioca (polvilho azedo). **Boletim da sbCTA**, v. 17. n. 1, p. 15-24, 1983b.

CEREDA, M. P.; LEONEL, M. Extração da fécula retida no resíduo fibroso do processo de produção de fécula de mandioca. **Ciência e tecnologia de alimentos**. vol. 20. n. 1. Abril. 2000.

CEREDA, M. P. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo, Fundação Cargill, p. 221 (Serie: Culturas de tuberosas amiláceas Latino-americanas, v.1) 2001.

CEREDA, M.P.; FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.B.; LEONEL, M.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2001, v.1., 221p.

CEREDA, M. P.; TAKAHASHI, M. Cassava wastes: their characterization, and uses and treatment in Brazil. In: DUFOUR, D.; O'BRIEN, G. M.; BEST, R. (Ed.). **Cassava flour and starch: progress in research and development**. Colombia: CIAT. Publicação n. 271, chapter 25, p. 221-232, 1996.

CEREDA, M.P. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo, Fundação Cargill, 221 p. (Série: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-americanas, v. 1) 2002.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. (Org.) **Tecnologia, uso e potencialidades de tuberosas amiláceas latinoamericanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. 711 p. (Série: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latinoamericanas, v.3).

CHAMBERLAIN, E. K; RAOU, M. A. Effect of concentration on rheological properties of acid- hydrolyzed amilopepectin solutions. **Food Hydrocolloids**, v. 14, n. 2, p. 163-171, 2000.

CHARLES, A. L.; CHANG, Y.H.; KO, W.C.; SRIROTH, K.; HUANG, T.C. Influence of amylopectin structure and amylose content on the gelling properties of five cultivars of cassava starches. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, n. 7, p. 2717-2725, 2005.

CHEETHAN, N. W. H.; TAO, L. Variation in cristalline type with amilose content in maize starch granules: a X-ray powder diffraction study. **Carbohydrate Polymers**, v. 36, n.4, p. 277-284, 1998.

CIACCO, C.F.; CRUZ, R. **Fabricação de amido e sua utilização**. (Série Tecnologia Agroindustrial). São Paulo: Secretaria de Indústria e Comércio, Ciência e Tecnologia. 1982. n.7,152p.

CIASC (Centro de Informática e Automação do Estado de Santa Catarina), Disponível em: <http://www.mapainterativo.ciasc.gov.br/>, Acesso em 07 de jul. 2011.

COSTA, F. J. O. G. **Emprego de técnicas termoanalíticas na análise de amidos nativos e modificados de mandioca**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 83 f., 2010.

COTINHO, A. P. C.; CABELLO, C. Caracterização reológica da fécula de mandioca. **Revista raízes e amidos tropicais**, Botucatu, v.1, outubro, p. 40-48, 2005.

COULTATE, T.P. **Manual de Química e Bioquímica de los alimentos**. 2 ed. Zaragoza: Acribia, 1998, 366 p.

DAIUTO, E. R.; CEREDA, M. P.; CARVALHO, L. J. C. B. Características e propriedades do amido extraído de camadas do tecido da raiz de mandioca cv. Mico (*Manihot Sculenta Crantz*), **Brazilian Journal of Food and Technology**, n. 5, p. 217-223, 2002.

DAIUTO, E. R.; CEREDA, M. P. Processos de produção de fécula de mandioca: comparação Tailândia e China. In CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino- americanas**, São Paulo: Fundação Cargill, p. 178 (Série: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-americanas, v. 3) 2004.

DEMIATE, I. M.; CEREDA, M. P. Some physico-chemical characteristics of modified cassava starches presenting baking property. **Energia na Agricultura**, v. 15, n. 3, p. 36-46, 2000.

DEMIATE, I. M.; SANGER, S. A.; VOGLER, Z.; CEREDA, M.P.; WOSIACKI, G. Características de qualidade de amostras de polvilho azedo produzido ou comercializado no Estado do Paraná. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 40, n. 2, p. 321-330, jun. 1997.

DEMIATE, I. M.; PEDROSO, R. A. Avaliação da influência de amido e carragena nas características físico químicas e sensoriais de presunto cozido de peru. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, p. 24-31, jan-mar. 2008.

DEMIATE, I. M. WOSIACK, G.; CEREDA, M. P.; MESTRES, C. Viscographic characteristics of chemically modified cassava starches assessed by RVA. **Publicatio UEPG- Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, v. 11, n. 1, p.7-17, 2005.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L.P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39 ,n.3, p. 945- 954, Maio/Junho, 2009.

DIAS, A. A. **Substitutos de gorduras aplicados em alimentos para fins especiais**. Monografia (Especialização em Tecnologia de Alimentos), Universidade de Brasília- UnB, 2007.

ELIASSON, A.C. **Carbohydrates in food**. New York : Marcel Dekker, 1996. 561p.

ELIASSON, A.C. **Starch in food – Structure, function and applications**. New York: Boca Raton, CRC, 2004. 605p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. **Embrapa Solos**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 412 p.,1999.

EMBRAPA. **Mandioca e Fruticultura** . Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_amapa/imp_ortancia.htm > Acesso em: 20/dez/2010.

FAO. *Faostat database gateway*. 2010. Disponível em <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor> >. Acesso em: 20 de dezembro de 2010.

FELLOWS, P. **Tecnologia Del procesado de los alimentos: principios y praticas**. Zagagoza: Acribia, 1994.

FENIMAN, C. M. **Caracterização de raízes de mandioca (Manihot esculenta Crantz) do cultivar IAC 576-70 quanto à cocção, composição química e propriedades do amido em duas épocas de colheita**. Dissertação de mestrado Ciência e Tecnologia de Alimentos. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2004.

FERRARI, T.B; LEONEL, M; SARMENTO, S.B.S., Características dos Rizomas e do Amido de Araruta (*Maranta arundinacea*) em Diferentes Estádios de Desenvolvimento da Planta. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 08, n. 2, p. 93-98, abr./ jun., 2005.

FERRINI, L. M. K. **Efeito da modificação ácido-metanólica nas características estruturais e físico químicas de amidos de milho e mandioca.** Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 93f, 2006.

FILHO, G. de A. F.; BAHIA, J. J.S. Mandioca. Disponível em : <<http://www.ceplac.gov.br/radar/mandioca.htm>> Acesso em 10 de Nov. 2009.

FOSTER, J.F. Physical Properties of Amylose and Amylopectin in Solution. In **Starch: Chemistry and Technology Fundamental Aspects.** Academic Press, New York, v.1, p. 349-392, 1965.

FRANCO, C. M. L.; CIACCO C. F. Factors that affect the enzymatic degradation of natural starch granules. Effect of size of the granules. **Starch/Stärke**, v. 44, n. 11, p. 422-426, 1992.

FRANCO, C. M. L.; CIACCO C. F.; TAVARES, D. Q. The structure of waxy corn starch: Effect of granule size. **Starch/Stärke**, v. 50, n. 5, p. 193-198, 1998.

FRANCO, C. M. L.; DEMIATE, I. M.; ROCHA, T. S. Características estruturais e físico químicas de amidos de mandioca-salsa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.3, n 28, p. 620-628, jul-set 2008.

FRANCO, C. M. L.; DAIUTO, E. R.; DEMIATE, I. M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F.; SARMENTO, S. B. S. **Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, Propriedades Gerais do Amido.** Campinas: Fundação Cargill, v.1, 2001. p. 224.

FRANCO, C. M. L. DAINTO, E.R; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L. J. C; LEONEL, M; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O.F; SARMENTO, S. B.S. **Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, Propriedades Gerais do Amido.** Campinas: Fundação Cargill, 2002.

FREDRIKSSON, H.; ANDERSSON, R.; KOCH, K; ÅMAN, P. Calibration of a size-exclusion chromatography system using fractions with defined amylopectin unit chains. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 768, p. 325-328, 1997.

FREITAS, M.C.J. Amido resistente: propriedades funcionais. **Nutrição Brasil**, v.1, p.40-49, 2002.

GALDEANO, M.C.; GROSSMANN, MALI. S.; BELLO-PEREZ, L.A. Propriedades físico químicas do amido de aveia da variedade brasileira IAC 7. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n.4, p. 905-910, out.-dez. 2009.

GALLANT, D. J.; BOUCHET, B.; BALDWIN, M. Microscopy of starch:evidence of a new level of granule organization. **Carbohydrate Polymers**, v.32, n 3-4, p. 177-191, 1997.

GALLIARD. J., BOWLER, P. Morphology and composition of starch. In: GALLARD, D. T., ed. **Starch properties and potencial**. Chichester: Willey, p. 55-78, 1987.

GOMES, A. M. M. ; SILVA, P. L. ; SOARES, S. A. ; SILVA, C. M. ; GALLAO, M. I.; GERMANI, R.; RICARDO, N. M P S. Isolation and physico- chemical and rheological characterization of the Brazilian jalap starch (*Operculina tuberosa* Meisn). **Carbohydrate Polymers**,v. 1, n. 77, p. 885-890, 2009.

GUILBOT, A.; MERCIER, C. STARCH. In: **The polysaccharides**, v. 3, p 209-273, 1985.

GUNARATNE, A.; HOOVER, R. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 49, p. 373-403, 2002.

HAYAKAWA, K. et al. Quality characteristics of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.): properties of starch gelatinization and retrogradation. **Cereal Chemistry**, v. 74, n. 5, p. 576-580, 1997.

HEITMANN, T.; MERSMANN, A. Determination of intrinsic viscosity of native potato starch solutions. **Starch/Sstärke**, v. 47, n. 11, p. 426-429, 1995.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, n. 3, p. 253-267, 2001.

HOOVER, R.; ZHOU, Y. In vitro and in vivo hydrolysis of starches by α - amylase and resistant starch formation in legumes- a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 54, n. 4, p. 401- 417, 2003.

HORIMOTO, L. M., **Cationização de amidos de tuberosas tropicais para fabricação de papéis**. Dissertação (Mestrado em Agronomia Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp-Campus de Botucatu. 70 f, 2006.

HOSENEY, R. C. **Principles of Cereal Science and Technology**, AACC Inc, St. Paul, Minesota, USA, 327 p., 1986.

HOSENEY, R. C. **Principles de ciencia y tecnologia de los Cereales**. 1 ed. Zaragoza (España): Acritibia, 1991. 321p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA*. Disponível em < <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?z=t&o=4&i=P>>. Acesso em: 21 de set. 2009.

ISLAM, M. N.; MOHD, A. M. D.; MOHD, A. B.; NOOR, M. Effect of temperature and starch concentration on the intrinsic viscosity and critical concentration of sago starch (*Metroxylon sagu*). **Starch/Stärke**, v. 53, n. 2, p. 90-94, 2001.

JANE, J., KASEMSUWAM, T., LEAS, S., ZOBEL, H., IL, D., ROBYT, F. Anthology of starch granule morphology by scanning electron microsocopy. **Starch/Stärke**, v.46, n. 4, p.121-129, 1994.

JANE, Jay-lin. Starch: structure and properties . In: TOMASIK, Piotr. **Chemical and functional properties of food saccharides**. Boca Raton: CRC Press, 2003. cap. 7. p. 81-102.

JENSEN, S.; GROSSMANN, M. V. E; MALI, S. Microestrutura e estabilidade de filmes de amido de mandioca adicionados de emulsificantes com diferentes equilíbrios hidrofílico/ lipofílico. **Brazilian Journal of food technology**, v 12, n.2, p. 97-105, abr/ jun. de 2009.

JÚNIOR, N. S. F. et al. **Cadeia produtiva da mandioca no Paraná: diagnóstico e demandas atuais**. Londrina: IAPAR, 2002.

KAUR, L.; SINGH, J.; MCCARTHY, O. J.; SINGH, H. Physico-chemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. **Journal of Food Engineering**, v. 82, p. 383–394, 2007.

KUAKPETOON, D.; WANG, Y. Internal structure and physicochemical properties of corn starches as revealed by chemical surface gelatinization. **Carbohydrate Research**, v.342, p.2253-2263, 2007.

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

LABELL, F. Modified **tapioca starches provide smoother textures (Brief article)**. Disponível em: <http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m3289/is_3_169/ai_61759522> Acesso em: 30 agost. 2009.

LABUSCHAGNE, M. T.; CLAASSEN, A.; DEVENTER, C. S. Biscuit-making quality of backcross derivatives of wheat differing in kernel hardness. **Euphytica**, v. 96, n. 2, p. 263-266, 1997.

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

LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. **Carboidratos em alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. 648p.

LAVINA, M. L. **Estimativa da disponibilidade de bagaço de mandioca – resíduo da extração de fécula e polvilho na região Sul Catarinense**. Santa Catarina, 1993. (mimeog.).

LEACH, H. W. Determination of intrinsic viscosity of starches. **Cereal Chemistry**, v. 40, n.6, p. 593-600, 1963.

LEONARDI, G. R ; CORRÊA, N. M.; JÚNIOR, F. B. C; IGNÁCIO, R. F. Avaliação do comportamento reológico de diferentes géis hidrofílicos. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas: **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences** .vol. 41, n. 1, jan./mar., p. 73-78, 2005.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 579-588, jul.-set. 2007.

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

LEONEL, M.; JACKEY, S.; CEREDA, M.P. Processo industrial de fécula de mandioca e batata doce- um estudo de caso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 3, p. 343- 345, 1998.

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

LIU, Q. Understanding starches and their role in foods. In: CUI, S. W. (ed). **Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties and Applications**. Boca Raton : CRC Press, 2005. 309-305 p.

LIN, J. H.; LII, C. Y.; CHANG, Y. H. Change of granular and molecular structures of waxy maize and potato starches after treated in alcohols with or without hydrochloric acid. **Carbohydrate Polymers**, v. 59, p. 507-515, 2005.

LINDEBOOM, N.; CHANG, P. R.; TYLER, R. T. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. **Starch/Stärke**, v. 56, n. 3-4, p. 89-99, 2004.

LYONS, P. H.; KERRY, J. F.; MORRISSEY, P. A.; BUCKLEY, D. B. The influence of added whey protein/carrageenan gels and tapioca starch on the textural proprieties of low fat pork sausages. **Meat Science**, Oxford, v. 51, n. 1, p. 43-52, 1999.

MACGREGOR, A. W.; FINCHER, G. B. Carbohydrates of the barley grain. In: MACGREGOR, A. W.; BHATTY, R. S. **Barley- Chemistry and Technology**. St. Paul, Minnesota- USA: AACC, 1993. p.73-128.

MAIEVES, H. A. **Caracterização físico química de cultivares de mandioca, obtidos por melhoramento genético no Estado de Santa Catarina.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina, 113f., 2010.

MAIEVES, H. A.; OLIVEIRA, D. C.; FRESCURA, J. R.; AMANTE, E. R. Selection of cultivars for minimization of waste and of water consumption in cassava starch production, v. 33, p. 224-228, 2011.

MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E.; GARCIA, M.A.; MARTINO, M.N.; ZARITZKY, N.E.. Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources. **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 4, p. 453-460, 2006.

MARCON, M. J. A; AVANCINI, S. R. P; AMANTE, E. R. **Propriedades Químicas e Tecnológicas do Amido de Mandioca e do Polvilho Azedo.** Florianópolis: Ed. UFSC, 2007.

MARCON, M. J. A. **Proposta para o mecanismo de expansão do polvilho azedo com base nas características físico químicas.** Dissertação (Doutorado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina, 187f, 2009.

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

MATTOS, P. L. P de.; GOMES, J de. C. **O cultivo da mandioca.** Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000.122 p.

Mc CREADY, R. M.; HASSID, W.F. The separation and quantitative estimation of amilose an amilopectina in potato starch. **Journal of the American Chemical Society**, v. 65, p. 1154, 1943.

MISHRA, S.; TAI, T. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. **Food Hydrocolloids**, p. 1-10, 2005.

MOORE, C.O., TUSCHHOFF, J.V., HASTINGS, C.W., SCHANEFELT, R.V. **Applications of starches in foods**. In: WHISTLER, R.L., BeMILLER, J.N., PASCHALL, E.F. (ed.). *Starch: chemistry and technology*. New York, Academic Press, 1984. p. 575-591.

MOORE, G. R. P. **Amido de milho e mandioca na produção de maltodextrinas**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2001.

MORGAN, J. E.; WILLIAMS, P. C. Starch damage in wheat flours: a comparison of enzymatic, iodometric, and near-infrared reflectance techniques. **Cereal Chemistry**, v. 72, n. 2, p. 200-212, 1995.

MORRIS, C.F.; KING, G. E. RUBENTHALER, G. L., Contribution of wheat flour fractions to peak hot paste viscosity. **Cereal Chemistry**, v. 74, n. 2, p. 147- 153, 1997.

MORRISON, R.T.; BOYD, R. N. **Química Orgânica**. 13. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996. p.1335-1339.

MORRISON, W. R.; SCOTT, D. C.; KARKALAS, J.. Variation in the composition and physical properties of barley starches. **Starch/ Starke**, v. 38, n.11, p.374-379, 1986.

MORRISON, W. R; TESTER, R. F. Properties of damage starch granules. II. Crystallinity, molecular order and gelatinisation of ball-milled starches. **Journal of Cereal Science**, v. 19, n. 2, p. 209-217, 1994.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Applications manual for the Rapid Visco Analyser**. Warriewood, Austrália, 1998. 123 p.

NOTÍCIAS DO CAMPO. Produtores de mandioca comemoram avanços. Disponível em: <http://www.noticiasdocampo.com.br/../mandioca.jpg>>. Acesso em: 02 dezembro 2010.

NUNES, L.B.; SANTOS, W. de J.; CRUZ, R. S.. Rendimento de Extração e Caracterização Química e Funcional de Féculas de Mandioca da Região do Semi-Árido Baiano. **Alimentos e Nutrição - Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v.20, n.1, p. 129-134, jan./ mar. 2009.

OATES, C.G. Towards and understanding of starch granule structure and hydrolysis. **Trends in Food Science & Technology**, v.8, p.375-382, 1997.

OLSEN, K.M.; SCHAAL, B.A. Evidence on the origin of cassava: Phylogeography of *Manihot esculenta*. **Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)**, v.96, p.5586-5591, 1999.

PARADA, Z.M.G.; SIRA, E. E.P. Evaluacion fisicoquimica y funcional de almidones de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) pregelatinizados y calentados com microondas. **Acta Cientifica Venezolana**, v.54, p.127-137, 2003.

PARKER, R.; RING, S.G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, v.34, p.1-17, 2001.

PERONI, F. H. G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos). Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 118 f, 2003.

PERONI, F.H.G.; ROCHA, T. S.; FRANCO, C.M.L. Some structural and Physicochemical characteristics of tuber and root starches. **Food Science and Technology International**, v. 12. P.505-513, 2006.

PESHIN, A., Characterisation of starch isolated from potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). **Journal of Food Science and Technology—Mysore**, v. 38, p. 447–449, 2001.

PINTO, P. H. M. **Tratamento de manipueira de feccularia em biodigestor anaeróbio para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp- Campus de Botucatu. 101 f, 2008.

RAO, M. A.; OKECHUKWU, P. M. S; OLIVEIRA, J. C. Rheological behavior of heated granule. **Carbohydrate polymers**, n. 33, p. 273-283, 1997.

RAO G. V.; RAO P. H. Methods for determining rheological characteristics of dough: a critical evaluation. **Journal of Food Science Technology**, v. 30, n. 2, p. 77-87, 1993.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química dos Alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

ROBINSON, D. S. **Bioquímica y valor nutritivo de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1991.

ROCHA, T. S; CARNEIRO, A. P. A.; FRANCO, C. M. L. Effect of enzymatic hydrolysis on some physicochemical properties of root and tuber granular starches. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 2, p. 544- 551, abr.- jun. 2010.

ROCHA, T. S.; DEMIATE, I.M.; FRANCO, C. M. L..Características estruturais e físico químicas de amidos de mandioca salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 23, n.3, p. 620-628. jul.- set. 2008.

SALOMÃO JUNIOR, A.; GASÍ, T. M. T.; PEREIRA, P. C. Caracterização de indústria de farinha de mandioca. São Paulo: **CETESB**, 1994.

SANDERSON, G. P. Polysaccharides in Foods. **Food Technology**, v. 7, n. 83, p. 50-57, 1981.

SANDSTEDT, R. M.; MATTERN, P. J. Damaged starch. Quantitative determination in flour. **Cereal Chemistry**, v. 37. n. 379-390, 1960.

SANTIN, M. Functional properties of starches. In: **International Symposium on Tropical Root and Tuber Crops**, Thiruvananthapuram (Trivandrum), 2000.

SARMENTO, S. B. S; GONÇALVES, M. F. V.; DIAS, S. T. S.; MARQUEZINI, N. Tratamento térmico do amido de batata-doce (*Ipomoea batatas L.*) sob baixa umidade em micro-ondas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 29, n. 2, p. 270-276, abr./ jun. 2009.

SARMENTO, S. B. S.; REIS, M. M.; FERREIRA, M. M. C.; CEREDA, M. P.; PENTEADO, M. V.; ANJOS, C. B. Análise Quimiométrica de Propriedades Físicas, Físico-químicas e Funcionais de Féculas de Mandioca. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 2, n. 1, p. 131-137, 1999.

SCHOCH, T. J.; LEACH, H. W. Whole starch and modified starches. Determination of absolute density. Liquid displacement. In: WHITLER, R. L.; WOLFRON, M. L. (Ed.). **Methods in carbohydrate chemistry**. New York: Academic Press, 1964. p. 101-103. v.4.

SILVA, F. I.; CABELLO, C. Caracterização das estruturas moleculares de amido de mandioca utilizando metodologia de permeação em gel. **Energia Agrícola**, Botucatu, v. 21, n.1, p. 50-68, 2006.

SILVA, G.O.; TAKIZAWA, F. F.; PEDROSO, R. A.; FRANCO, C. M. L.; LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; DEMIATE, I. M. Características físico químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 188-197, 2006.

SILVA, J. A. L.; CASTRO, S. M.; DELGADILLO, I. Effect of Gelatinization and Starch-Emulsifier Interactions on Aroma Release from Starch-Rich Model Systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 1, n. 5. p. 1976-1984. 2002

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

SOARES, R.M.D. **Caracterização parcial de amido em cultivares brasileiros de cevada (*Hordeum vulgare L.*)**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina., 111 f, 2003.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 1, p. 24-30, 2000.

SRICHUWONG et al. Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. **Carbohydrate Polymers**, v. 60, p. 529-538, 2005.

SRIROTH, K. SANTISOPASRI, V.; PETCHALANUVAT, C.; KUROTJANAWONG, K.; PIYACHOMKWAN, K.; OATES, C.G., Cassava starch granule structure-function properties: influence of time and conditions at harvest on four cultivars of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 38, n. 2, p. 161-170, 1999.

SUMERLY, R.; ALVAREZ, H.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O. **Hidrólise do amido**. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino Americana. São Paulo: Fundação Cargill, v.3, p.377- 448. 2003.

SWINKELS, J. J. M. Composition and properties of commercial native starches. **Starch/Stärke**, v.37, n. 1, p.1-5, 1985.

TESTER, R.F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch – composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v.39, n. 2, p.151-165, 2004.

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

THOMAS, D. J. ; ATWELL, W. **Practical for guides the food industry**- Starch Saint Paul: Eagan Press, 1999. 94 p.

VANDEPUTTE, G.E.; DELCOUR, J.A. From sucrose to starch granule to starch physical behavior: a focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v.58, p.245-266, 2004.

VILELA, E. R., FERREIRA, M. E. **Tecnologia de produção e utilização do amido de mandioca**. Informe Agropecuário, v.13, n. 145, n.6, p.564-573, 1968.

VILELA, E. R.; FERREIRA, M.G. Tecnologia de produção e industrialização do amido de mandioca. **Informe Agropecuário**, v. 13, n. 145, p. 69-73, 1987.

WALTER, M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI T. Amido resistente: características físico químicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.4, p.974-980, julho, 2005.

WANG, L. Z.; WHITE, P. J. Structure and properties of amylose, amylopectin, and intermediate materials of oat starches. **Cereal Chemistry**, v.71, n.3, p.263-268, 1994.

WESTBY, A. Cassava utilization, storage and small-scale processing. In: HILLOCKS, R. G.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. (Ed.). **Cassava: biology, production and utilization**. Chapter 14. CAB International, 2002, p. 281-200.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. **Carbohydrate chemistry for food scientists**. San Diego: Academia Press, 1997. 214 p.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. **Carbohydrate chemistry for food scientists**. 2 ed. Minnesota: Eagan press, 1999. 241 p.

WHISTLER, R. L.; DANIEL, J. R. Carboidratos, In: FENNEMA O. R. **Química de los alimentos**. Zaragoza, Acribia, p-81-156, 1993.

WHISTLER, R.L. E PASCHAL, E. F. **Starch: Chemistry and Technology**. v. 1 Fundamental Aspects. Academic Press, N. Y. and London, 1965. 579 p.

WHITAKER, J.R.; VORAGEN, A. G. J; WONG, D.W.S., **Handbook of Food Enzymology**, New York: Marcel Dekker, Inc., 2003. 1108p.

WILLIAMS, P. C.; KUZINA, F. D.; HLYNKA, I. A. Rapid colorimetric procedure for estimating the amylase content of starch on fluors. **Cereal Chemistry**, v. 47. n. 4. p. 412-420, 1970.

WURZBURG, O.B. **Modified starches: properties and uses**. Boca Raton, CRC Press, 277 p., 1986.

YOO, S. H.; JANE, J. L. Molecular weights and gyration radii of amylopectins determined by high-performance size-exclusion chromatography equipped with multi-angle laser-light scattering and refractive index detectors. **Carbohydrate Polymers**, v. 49, p. 307-314, 2002.

ZAMBRANO, F.; CAMARGO, C. R. O; TAVARES, D. Amido de mandioca modificado comparado com substitutos de gordura comerciais. **Brazilian Journal of Food Technology**. n. 4, p. 155- 161, 2001.

ZANIN, G. M. **Sacarificação de amido em reator de leito fluidificado com enzima amiloglicosidase imobilizada**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1989.

APÊNDICES

APÊNDICE A

UMIDADE DOS AMIDOS DE CADA CULTIVAR EXTRAÍDOS EM TRIPLICATA.

Umidade obtida nos amidos extraídos dos diferentes cultivares de mandioca.

Amostra	Cultivar	Umidade (%) ±DP
1	STS 2/03-10 (raiz branca) **	10,38 ± 0,08
2	SCS 252 – Jaguaruna **	9,04 ± 0,23
3	Mandim Branca **	12,59 ± 0,04
4	STS 1302/96-3 – Vermelhinha **	11,68 ± 0,11
5	SCS 253 – Sangão **	10,85 ± 0,33
6	Mandim Branca *	4,88 ± 0,28
7	SCS 253 – Sangão *	4,46 ± 0,18
8	STS 1302/96-3 – Vermelhinha *	4,86 ± 0,31
9	STS 2/03-10 (raiz branca) **	4,49 ± 0,16
10	SCS 252 – Jaguaruna **	4,05 ± 0,11
11	STS 2/03-10 (raiz branca) **	4,17 ± 0,26
12	SCS 252 – Jaguaruna **	4,54 ± 0,14
13	Mandim Branca *	5,05 ± 0,05
14	STS 1302/96-3 - Vermelhinha *	4,62 ± 0,16
15	SCS 253 – Sangão *	4,88 ± 0,24
16	STS 1311/96-1 **	8,74 ± 0,17
17	STS 1302/96-4 **	10,54 ± 0,08
18	Preta *	14,43 ± 0,05
19	STS 1309/96-7 **	16,45 ± 0,11
20	STS 2/03-7 **	15,07 ± 2,28
21	Preta *	8,55 ± 0,06
22	STS 1309/96-7 **	7,93 ± 0,20
23	STS 2/03-7 **	9,58 ± 0,09
24	STS 1311/96-1 **	9,39 ± 0,14
25	STS 1302/96-4 **	8,41 ± 0,01
26	STS 1311/96-1 **	9,29 ± 0,34
27	STS 1302/96-4 **	9,65 ± 0,25
28	Preta *	11,16 ± 0,08
29	STS 2/03-7 **	8,22 ± 0,11
30	STS 1309/96-7 **	7,06 ± 0,09

* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

** Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Neossolo Quartzarênico

APÊNDICE B

PODER DE INCHAMENTO E ÍNDICE DE SOLUBILIZAÇÃO

Poder de inchamento das cultivares de mandioca em diferentes temperaturas.

Cultivar	Poder de Inchamento ***				
	Temperaturas (°C)				
	50	60	70	80	90
STS 2/03-10 (raiz branca)	2,74	9,12	21,74	28,77	37,89
SCS 252 – Jaguaruna	2,20	8,42	21,22	28,97	34,37
Mandim Branca *	2,06	8,09	20,85	30,99	40,31
Mandim Branca **	1,95	6,49	18,04	28,39	40,03
STS 1302/96-3 Vermelhinha *	–	3,15	10,29	19,64	25,61
STS 1302/96-3 Vermelhinha **	–	2,20	9,85	20,53	28,79
SCS 253 – Sangão *	2,36	10,59	19,77	28,51	38,96
SCS 253 – Sangão **	2,26	10,10	22,87	27,61	42,41
STS 1311/96-1	2,23	8,94	23,01	30,79	42,38
STS 1302/96-4	2,29	10,91	22,35	32,41	41,06
Preta	2,84	12,88	22,92	35,32	41,09
STS 1309/96-7	2,01	5,29	16,15	28,06	35,93
STS 2/03-7	2,16	8,05	20,83	30,01	38,95

* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

** Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Neossolo Quartzarênico.

***Valores médios de três repetições

Índice de solubilização das cultivares de mandioca em diferentes temperaturas.

Cultivar	Índice de Solubilização***				
	Temperaturas (°C)				
	50	60	70	80	90
STS 2/03-10 (raiz branca)	0,52	3,10	11,65	17,89	24,67
SCS 252 – Jaguaruna	0,14	2,73	10,98	18,37	28,34
Mandim Branca *	0,28	3,06	6,84	18,51	29,16
Mandim Branca **	0,15	1,92	15,84	20,60	28,87
STS 1302/96-3 Vermelhinha *	– 0,29	2,95	10,38	16,61	28,67
STS 1302/96-3 Vermelhinha **	– 0,21	5,50	12,85	15,61	30,32
SCS 253 – Sangão *	0,60	2,61	10,28	15,72	29,30
SCS 253 – Sangão **	0,65	2,56	12,87	14,72	30,37
STS 1311/96-1	0,66	2,07	10,59	13,71	30,73
STS 1302/96-4	0,43	2,47	9,54	15,93	25,60
Preta	0,73	3,31	11,19	20,05	26,33
STS 1309/96-7	0,35	1,36	8,55	18,72	21,81
STS 2/03-7	0,49	1,89	10,98	21,54	31,13

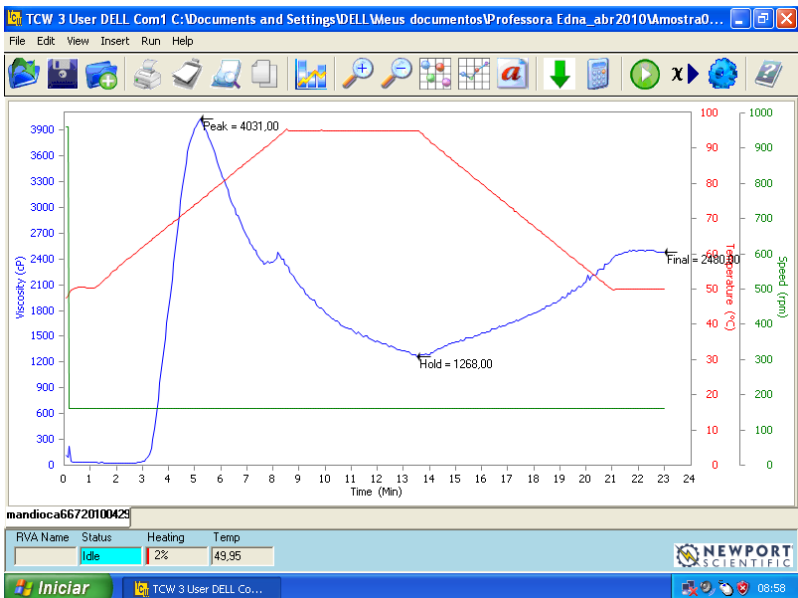
* Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Argissolo.

** Amostra de cultivar de raiz de mandioca, proveniente de Neossolo Quartzarênico

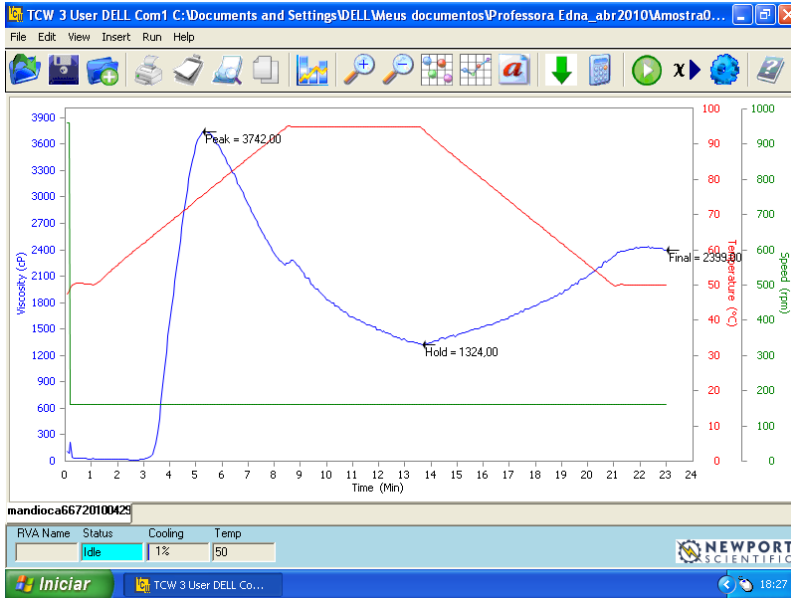
*** Valores médios de três repetições

APÊNDICE C

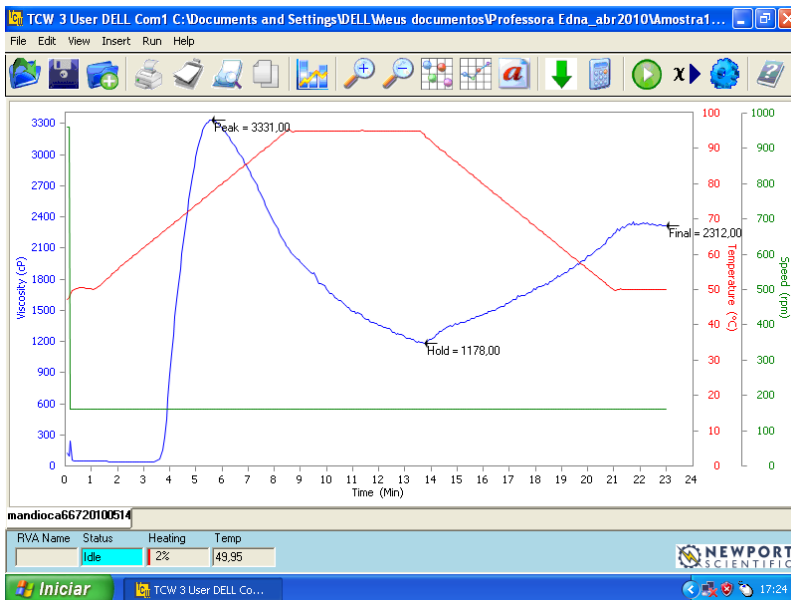
VISCOAMIOLOGRAMAS DOS AMIDOS DAS DIFERENTES CULTIVARES DE MANDIOCA, REALIZADOS EM TRIPLICATA.



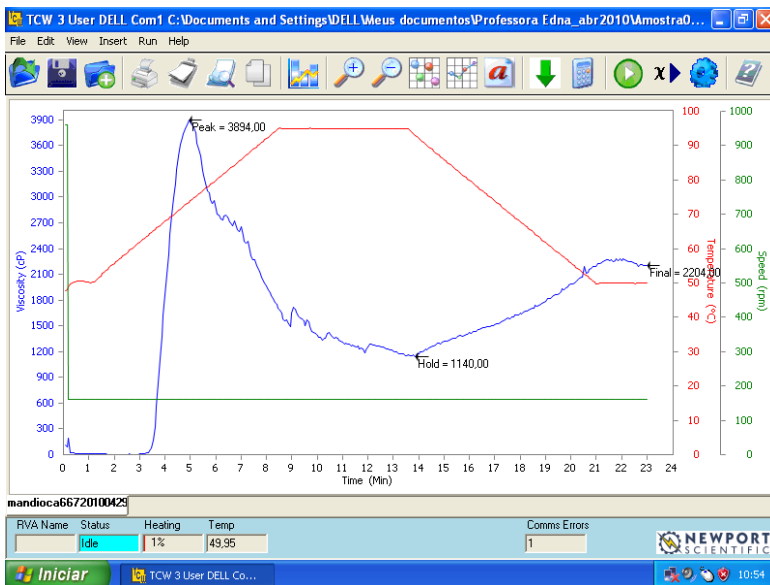
Amiograma do amido de mandioca cultivar STS 2/03-10 (8 % p/v)



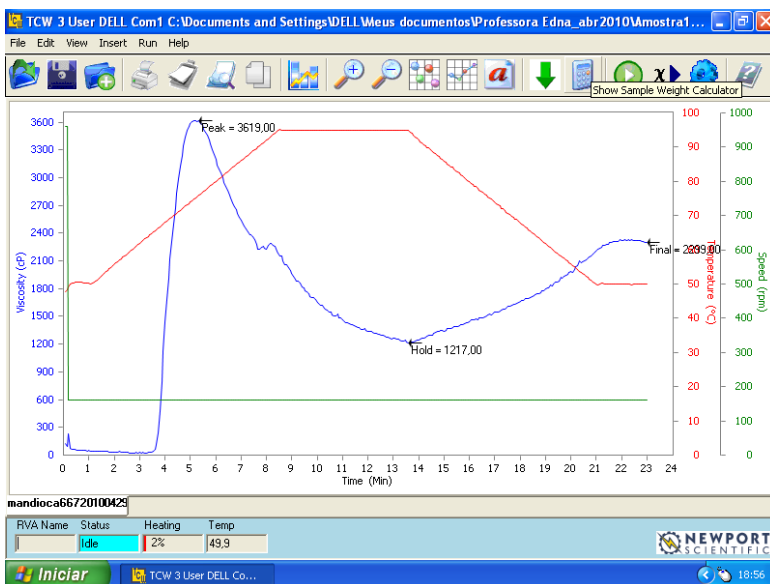
Amilograma do amido de mandioca cultivar STS 2/03- 10 (8 % p/v)



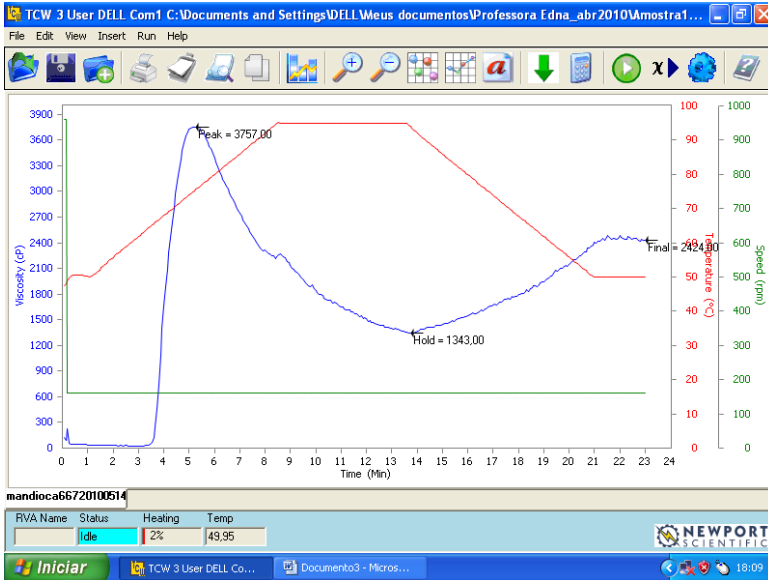
Amilograma do amido de mandioca cultivar STS 2/03- 10 (8 % p/v).



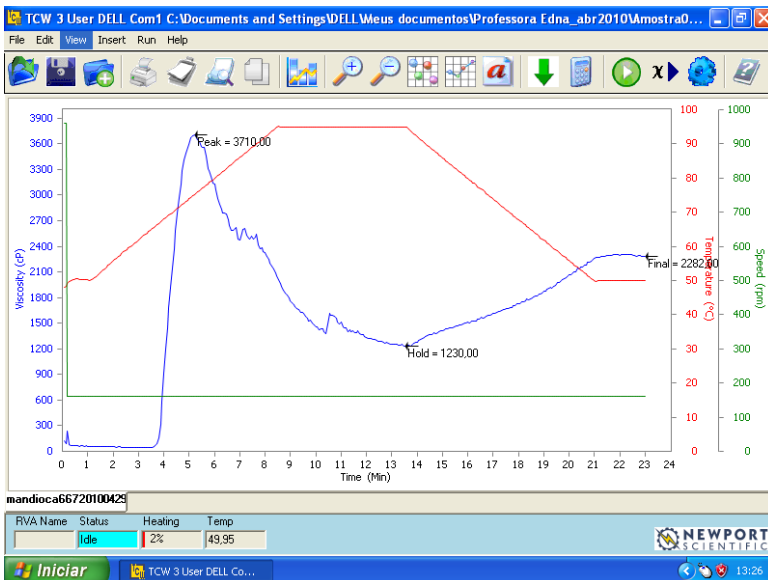
Amilograma do amido de mandioca cultivar SCS 252- Jaguaruna (8 % p/v).



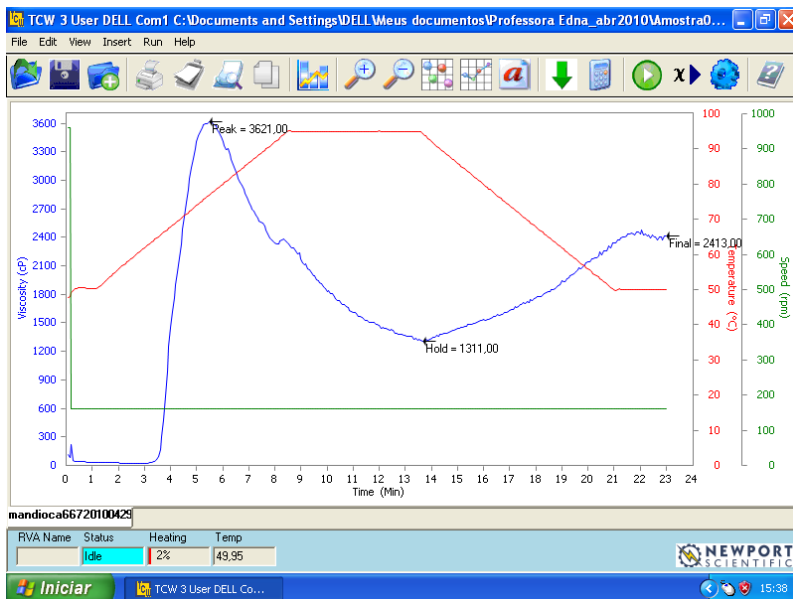
Amilograma do amido de mandioca cultivar SCS 252- Jaguaruna (8 % p/v).



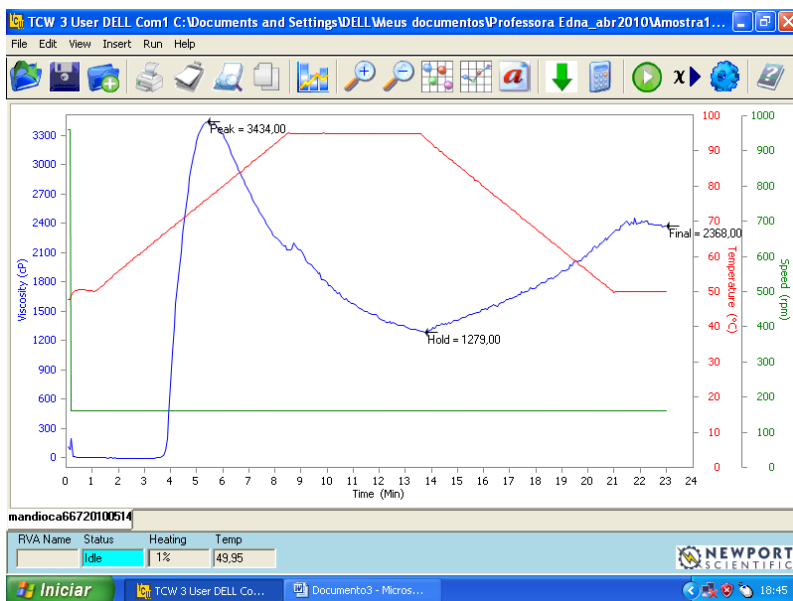
Amilograma do amido de mandioca cultivar SCS 252- Jaguaruna (8 % p/v).



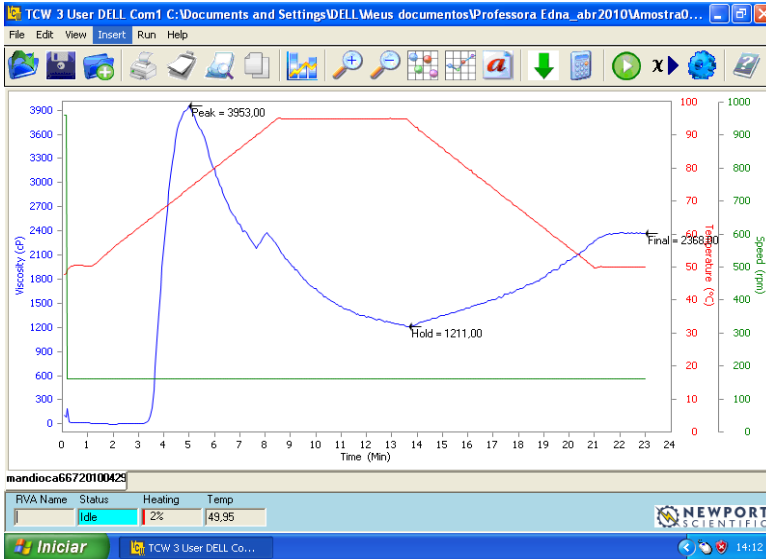
Amido de mandioca cultivar Mandim Branco (8 % p/v) solo Neossolo Quartzarênico.



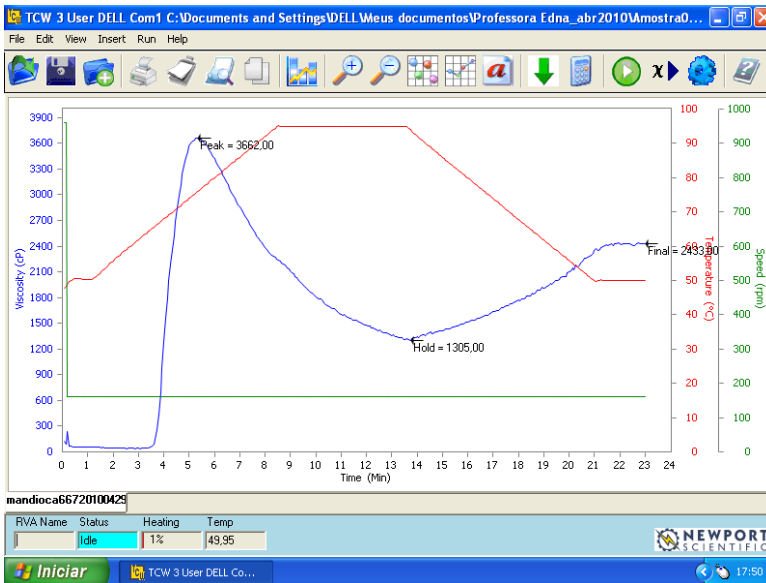
Amido de mandioca cultivar Mandim Branco (8 % p/v) solo Argissolo.



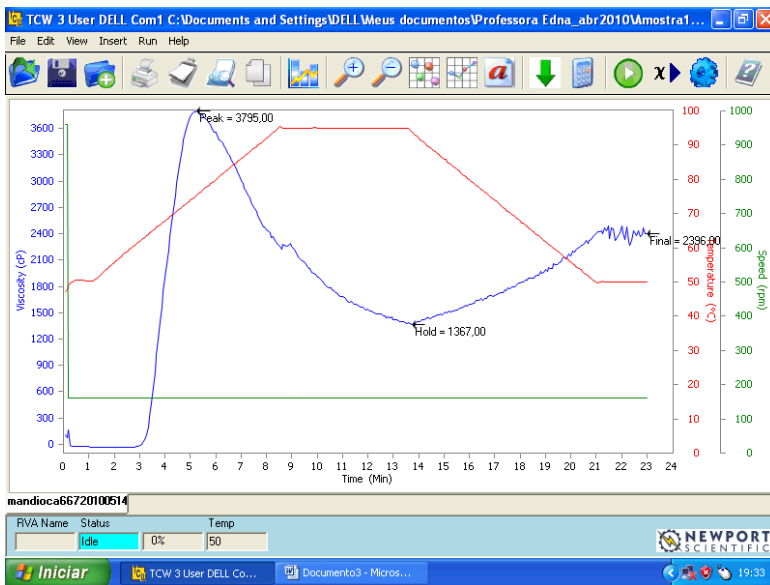
Amido de mandioca cultivar Mandim Branco (8 % p/v) solo Argissolo.



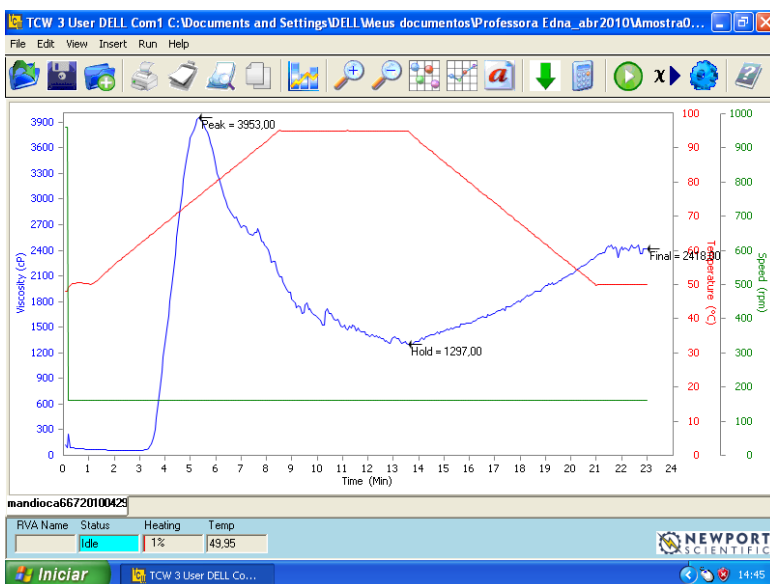
Amido de mandioca cultivar STS 1302/96-3 Vermelhinha (8 % p/v) solo Neossolo Quartzarênico.



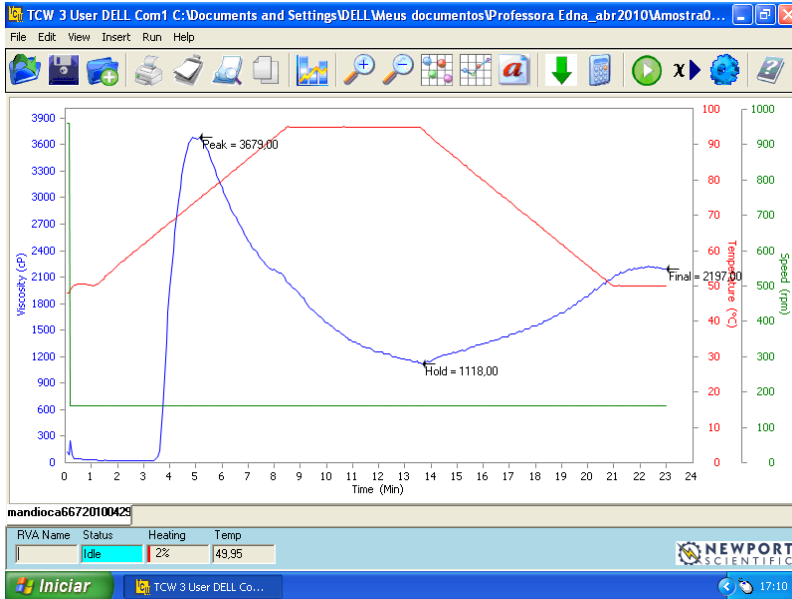
Amido de mandioca cultivar STS 1302/96-3 Vermelhinha (8 % p/v) solo Argissolo.



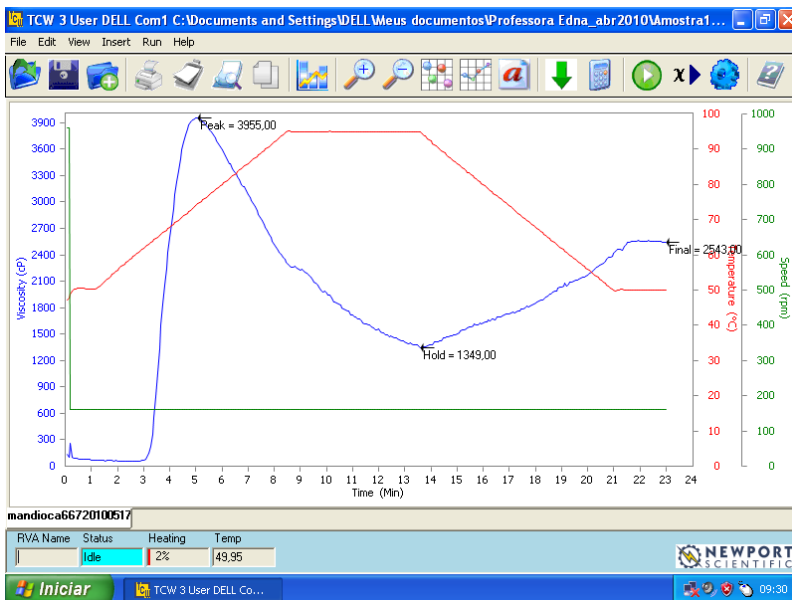
Amido de mandioca cultivar STS 1302/96-3 Vermelhinha (8 % p/v) solo Argissolo.



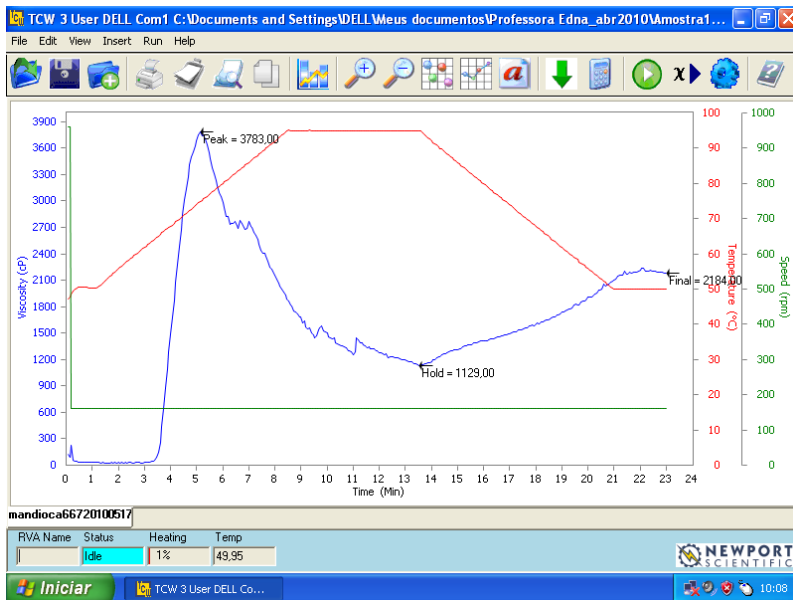
Amido de mandioca cultivar SCS 253- Sangão (8 % p/v) solo Neossolo Quartzarênico.



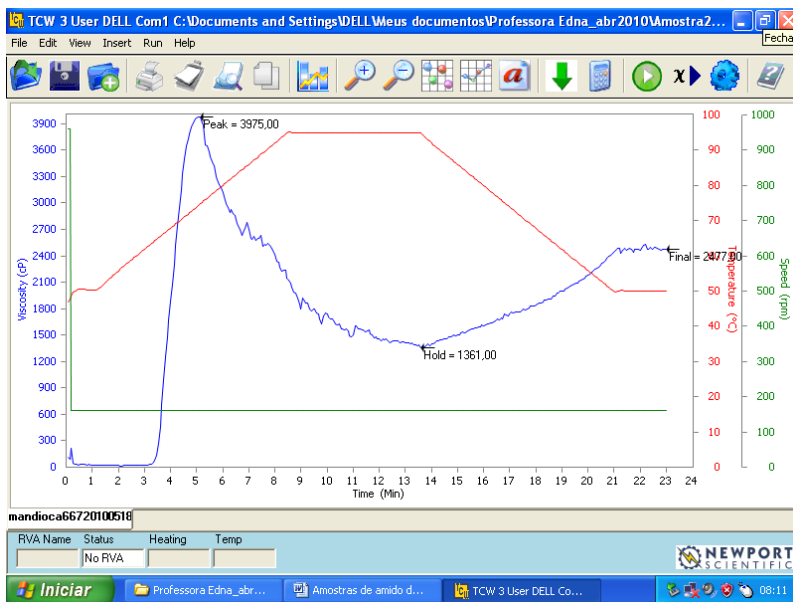
Amido de mandioca cultivar SCS 253- Sangão (8 % p/v) solo Argissolo.



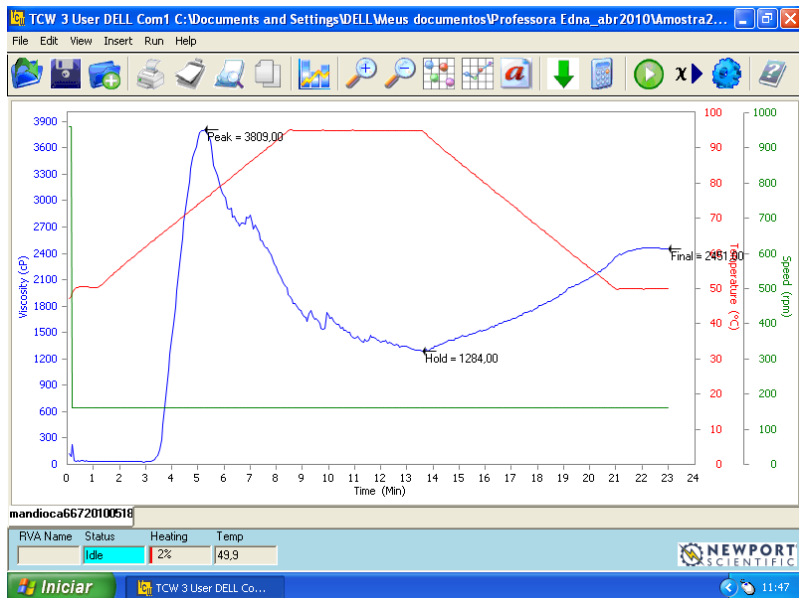
Amido de mandioca cultivar SCS 253- Sangão (8 % p/v) solo Argissolo.



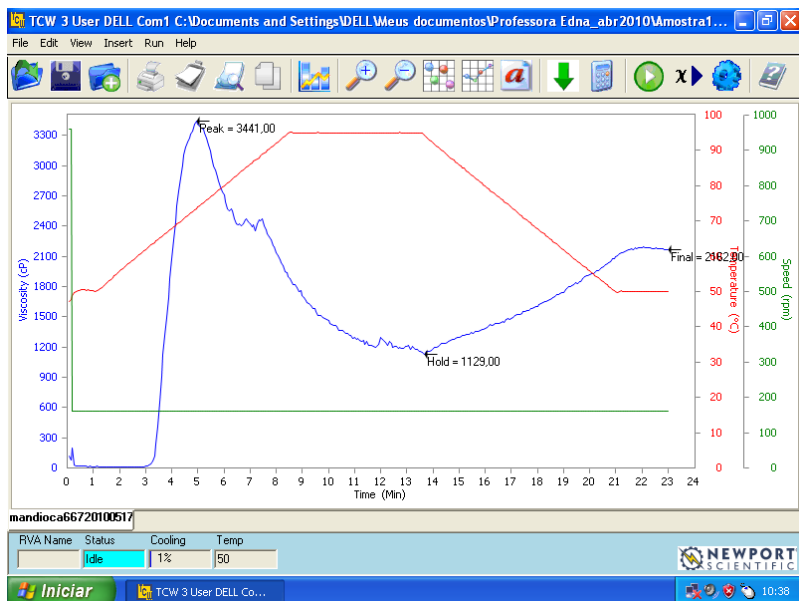
Amido de mandioca cultivar STS 1311/96-1 (8 % p/v).



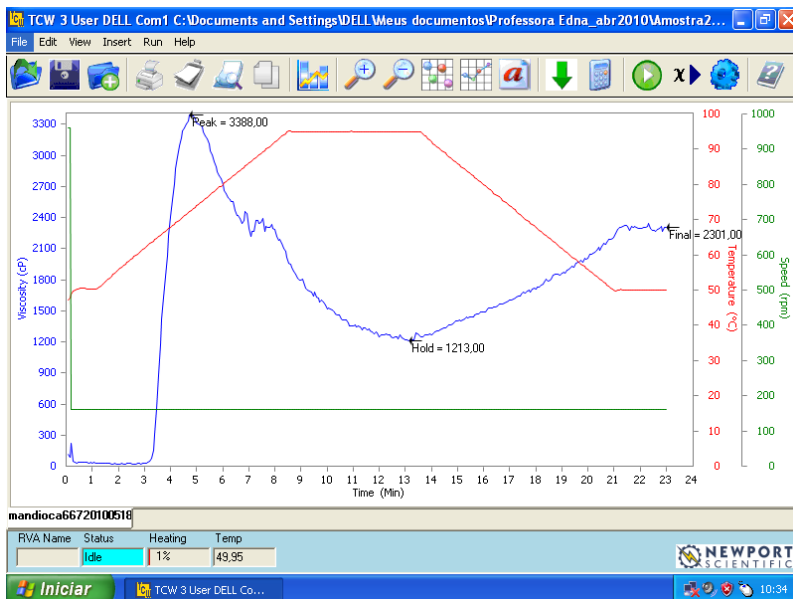
Amido de mandioca cultivar SCS 253- Sangão (8 % p/v).



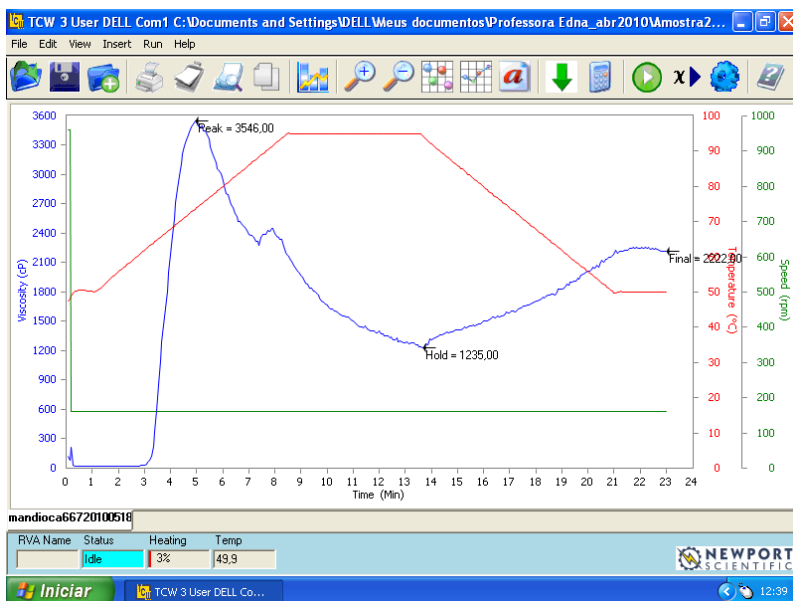
Amido de mandioca cultivar SCS 253- Sangão (8 % p/v).



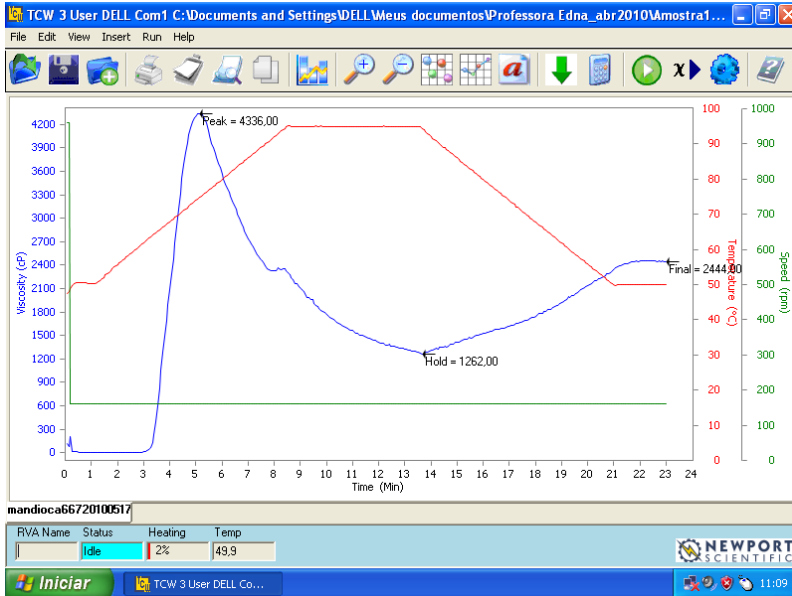
Amido de mandioca cultivar STS 1302/96-4 (8 % p/v).



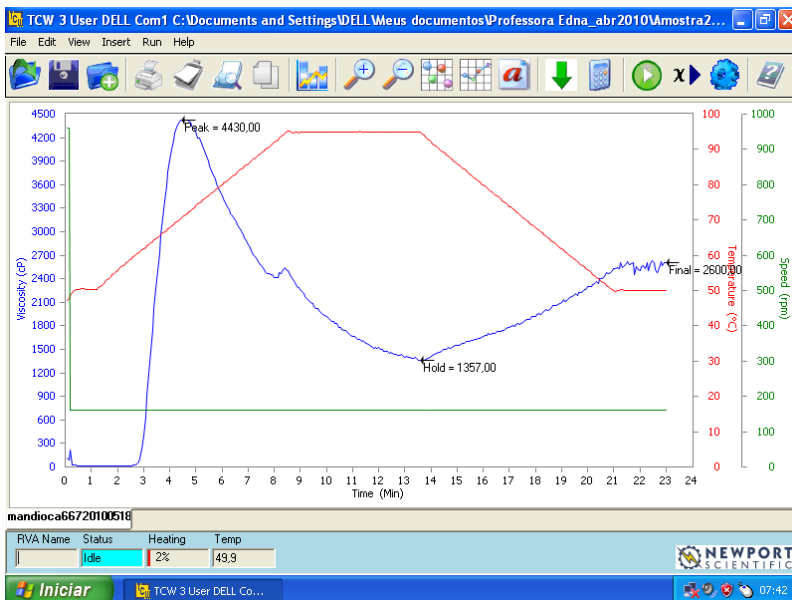
Amido de mandioca cultivar STS 1302/96-4 (8 % p/v).



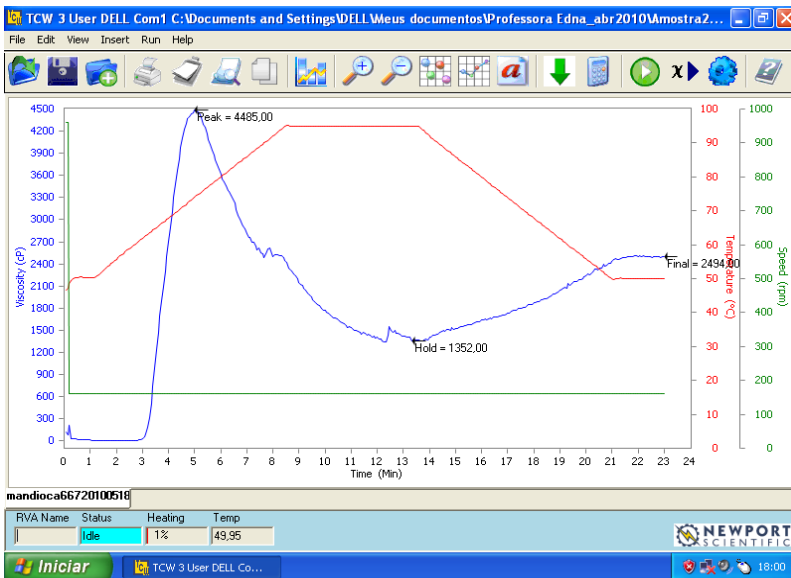
Amido de mandioca cultivar STS 1302/96-4 (8 % p/v).



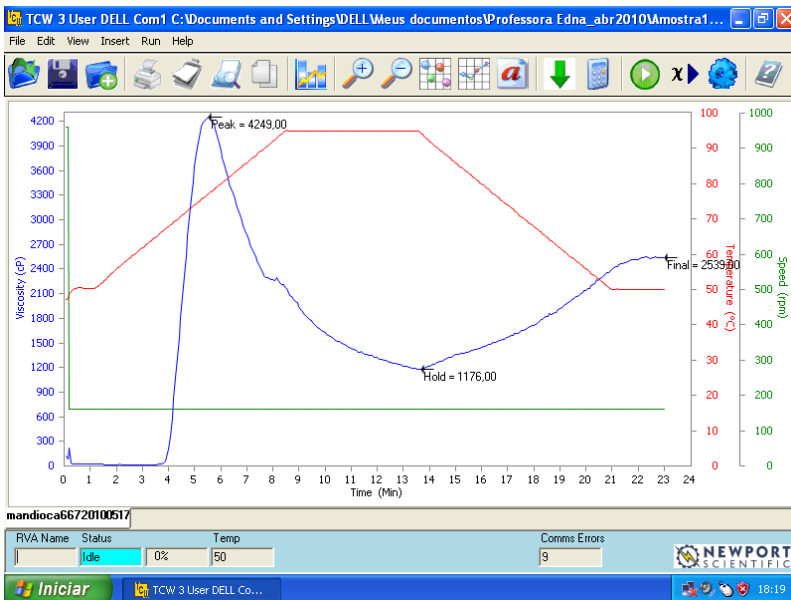
Amido de mandioca cultivar Preta (8 % p/v).



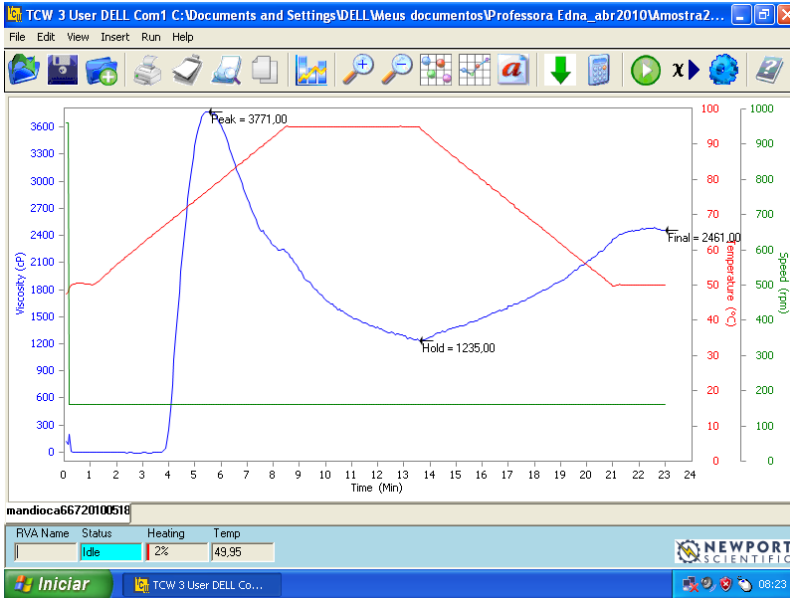
Amido de mandioca cultivar Preta (8 % p/v).



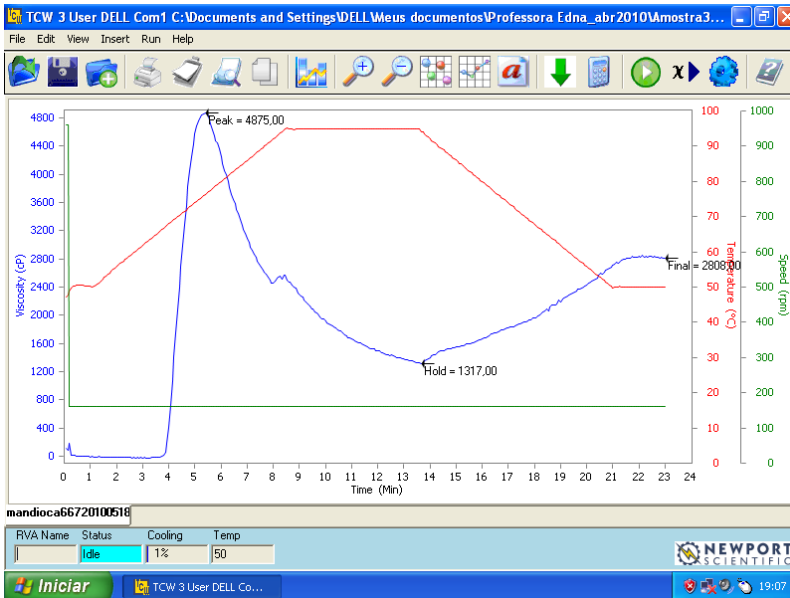
Amido de mandioca cultivar Preta (8 % p/v).



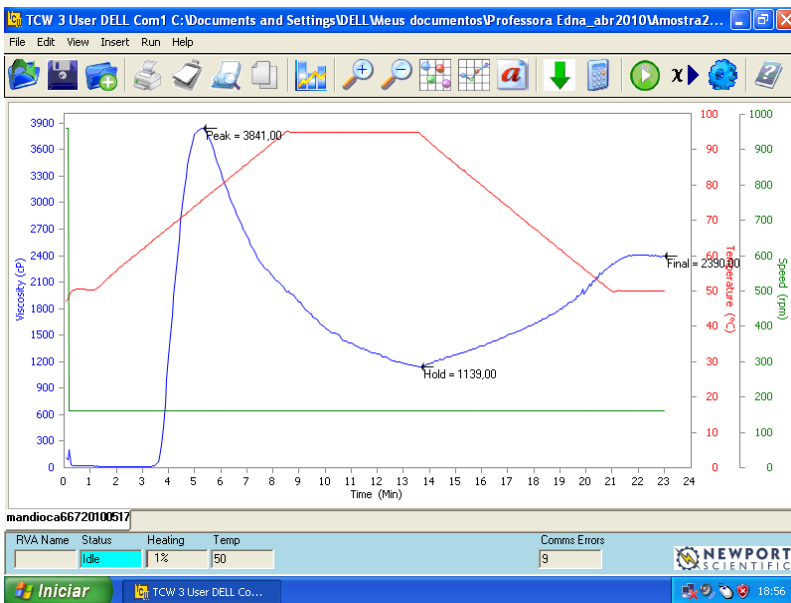
Amido de mandioca cultivar STS 1309/96-7 (8 % p/v).



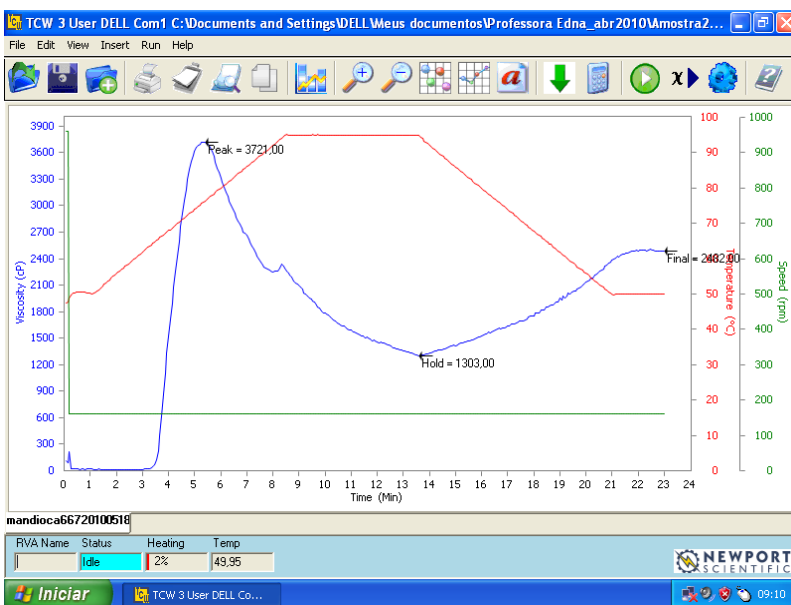
Amido de mandioca cultivar STS 1309/96-7 (8 % p/v).



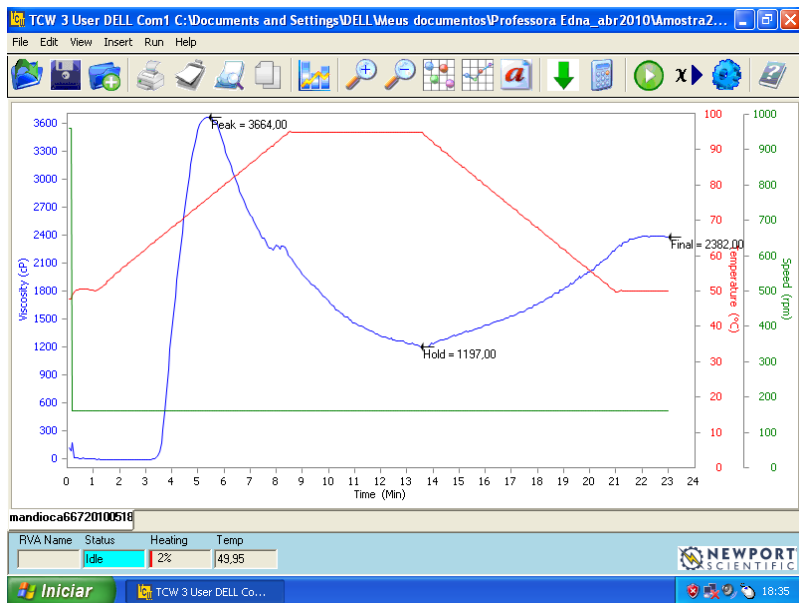
Amido de mandioca cultivar STS 1309/96-7 (8 % p/v).



Amido de mandioca cultivar STS 2/03-7 (8 % p/v).



Amido de mandioca cultivar STS 2/03-7 (8 % p/v).



Amido de mandioca cultivar STS 2/03-7 (8 % p/v).