

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

CAMILA DO CARMO SANCHEZ

**MODIFICAÇÃO DE AMIDO DE MILHO E BATATA
POR TRATAMENTO HIDROTÉRMICO**

BAURU
2016

CAMILA DO CARMO SANCHEZ

**MODIFICAÇÃO DE AMIDO DE MILHO E BATATA
POR TRATAMENTO HIDROTÉRMICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Química, sob orientação da Profa. Dra. Ana Paula Cerino Coutinho.

BAURU
2016

Sanchez, Camila do Carmo

S2111m

Modificação de amido de milho e batata por tratamento hidrotérmico /Camila do Carmo Sanchez.-- 2016.

42f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Cerino Coutinho.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) -
Universidade do Sagrado Coração - Bauru - SP

1. Amido modificado. 2. Anelamento. 3. Modificação hidrotérmica. I. Coutinho, Ana Paula Cerino. II. Título.

CAMILA DO CARMO SANCHEZ

**MODIFICAÇÃO DE AMIDO DE MILHO E BATATA POR
TRATAMENTO HIDROTÉRMICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Química, sob orientação da Profa. Dra. Ana Paula Cerino Coutinho.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Ana Paula Cerino Coutinho
Universidade do Sagrado Coração

Profa. Ma. Bárbara de Oliveira Tessarolli
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Me. Erik Ceschini Panighel Benedicto
Universidade do Sagrado Coração

Bauru, 06 de dezembro de 2016.

Dedico esse trabalho aos meus pais que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões, aos meus amigos, professores e todos que de alguma forma contribuíram nessa caminhada.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a oportunidade de concluir esse curso.

Aos meus pais por me darem todo o apoio em todos os momentos de que precisei, pela educação e ensinamentos dos quais foram fundamentais na minha formação como pessoa e profissional, por sempre entender a minha ausência e dos dias difíceis que passamos juntos.

Aos meus professores por serem muito prestativos e sempre nos incentivando a sermos os melhores em todas as escolhas da nossa vida.

Aos meus colegas de turma, pois foram essenciais na amizade e companheirismo dentro e fora da sala, sempre um ajudando ao outro; sou feliz por ter feito parte de uma turma tão empenhada e amigável durante esses anos.

Grata à minha amiga Tamara que considero a irmã que não tive, pois em todos os momentos desde que nos conhecemos prova da nossa amizade, me ajudando, incentivando e além de mostrar o lado bom da vida, sempre me levando a acompanhá-la em atividades de grande valor profissional e pessoal.

À minha prima Priscila pela disponibilidade e compreensão quando precisei morar em sua casa para realizar a parte experimental do meu trabalho, pois sem essa ajuda não seria possível.

À professora Ana Paula que prontamente aceitou me orientar no trabalho, me ajudou sempre que precisei, mesmo fora dos horários de aula e acreditou no meu esforço.

À professora Márcia Chaves por me disponibilizar a realização das análises no laboratório.

À todas as técnicas e estagiárias dos laboratórios de nutrição, química e ambiental, sem elas tudo seria mais difícil, principalmente sem a ajuda e compreensão da Ana e da Fabi do laboratório de química.

À coordenadora e professora Bárbara por sempre me auxiliar nas aulas e durante meu trabalho, também por ter aceitado fazer parte da minha banca juntamente com o professor Erik que não hesitou pela participação.

Agradeço à todos que de alguma forma, direta ou indiretamente me auxiliaram durante a faculdade e na conclusão deste trabalho.

“O período de maior ganho de conhecimento e experiência é o período de maior dificuldade na vida de cada um”.

(Dalai Lama)

RESUMO

O amido é utilizado como fonte energética e encontra-se disponível amplamente na natureza. Na indústria o amido é muito usado, entretanto apresenta características indesejáveis que podem ser modificadas para atender as necessidades industriais. A modificação física vem crescendo devido à demanda por produtos mais naturais, sendo que o anelamento é um tratamento hidrotérmico que permite uma discreta reorganização molecular e forma uma estrutura mais organizada. Essas pesquisas são importantes para a indústria, devido aos efeitos marcantes nas propriedades do amido, consistindo em um modelo útil para investigação da cristalização da amilopectina e fornecendo informações sobre a estrutura dos grânulos. O objetivo deste trabalho foi produzir amidos modificados de milho e de batata por tratamento hidrotérmico e realizar a caracterização físico-química, retrogradação, estabilidade ao congelamento e descongelamento, poder de inchamento e índice de solubilização, dos amidos de milho e batata *in natura* e dos modificados. A comparação entre fontes botânicas e seus modificados não apresentaram diferenças nas propriedades de retrogradação a partir do segundo dia de armazenagem refrigerada. A estabilidade de congelamento e descongelamento apresentou diferenças entre as fontes botânicas, sendo que os amidos de batata *in natura* e modificados a 55 °C e 60 °C foram os que apresentaram maiores valores. No poder de inchamento foi verificado que a partir de 50 °C todos os amidos analisados apresentaram um grande aumento; entretanto, para os amidos de milho *in natura* e modificados houve uma diminuição em 90°C. No índice de solubilidade observou-se que nas temperaturas de 25, 50 e 60 °C ocorreu comportamento semelhante entre as fontes botânicas e, o aumento do índice de solubilização acompanhou o crescimento da temperatura a partir dos 50 °C. Já entre os amidos de batata modificados notou-se comportamentos distintos, contudo o modificado à 50 °C mostrou comportamento parecido com o de batata *in natura*, mas com índice de solubilidade superior.

Palavras-chave: Amido modificado, Anelamento, Modificação hidrotérmica.

ABSTRACT

Starch is used as an energy source and is widely available in nature. In the industry starch is widely used, however it has undesirable characteristics that can be modified to meet industrial needs. The physical modification has been growing due to the demand for more natural products, and the ring is a hydrothermal treatment that allows a discrete molecular reorganization and forms a more organized structure. These researches are important to the industry because of the marked effects on starch properties, consisting of a useful model for investigating the crystallization of amylopectin and providing information on the structure of the granules. The objective of this work was to produce modified maize and potato starches by hydrothermal treatment and to perform the physico-chemical characterization, retrogradation, stability to freezing and thawing, swelling power and solubilization index, in natura and corn starches and Modified. The comparison between botanical sources and their modified ones showed no differences in the retrogradation properties from the second day of refrigerated storage. The freezing and thawing stability showed differences between the botanical sources, and the potato starches in natura and modified at 55 °C and 60 °C presented the highest values. In the swelling power it was verified that from 50 °C all the analyzed starches showed a great increase; However, for in natura and modified maize starches there was a decrease in 90 °C. In the solubility index it was observed that in the temperatures of 25, 50 and 60 °C similar behavior occurred between the botanical sources and, the increase of the solubilization index accompanied the temperature increase from 50 °C. Among the modified potato starches, different behaviors were observed, however, the modified one at 50 °C showed a behavior similar to that of potato in natura, but with a higher solubility index.

Keywords: Modified Starch, Ringing, Hydrothermal Modification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bloco de construção do amido α -D-glicose.....	8
Figura 2 – Grânulos de amido identificados morfológicamente.....	10
Figura 3 – Estrutura química da amilose.....	11
Figura 4 – Estrutura química da amilopectina.....	12
Figura 5 – Tipos A, B e C da estrutura cristalina do grânulo de amido.....	14
Figura 6 – Formação da gelatinização do amido.....	16
Figura 7 – Amilograma do sistema amido-água mostrando os fenômenos de empastamento, reofluidificância e set-back.....	17
Figura 8 – Condições hidrotêmicas do tratamento térmico em baixa umidade (TTBU) e do anelamento (ANN).....	20
Figura 9 – Retrogradação dos amidos de milho <i>in natura</i> e amido de milho modificado (transmitância à 625nm).....	25
Figura 10 – Retrogradação dos amidos de batata <i>in natura</i> e amido de batata modificado (transmitância 625nm).....	25
Figura 11 – Estabilidade de congelamento e descongelamento (Sinerese) dos amidos de milho e batata <i>in natura</i> e modificados.....	27
Figura 12 – Poder de inchamento do amido de milho <i>in natura</i> e modificado.....	28
Figura 13 – Poder de inchamento do amido de batata <i>in natura</i> e modificado.....	28
Figura 14 – Índice de solubilização do amido de milho <i>in natura</i> e modificado.....	30
Figura 15 – Índice de solubilização do amido de batata <i>in natura</i> e modificado.....	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	OBJETIVOS	7
2.1	GERAIS.....	7
2.2	ESPECÍFICOS.....	7
3	REVISÃO DE LITERATURA	8
3.1	AMIDO.....	8
3.2	ESTRUTURA QUÍMICA DO AMIDO.....	9
3.2.1	Grânulos	9
3.2.2	Amilose	10
3.2.3	Amilopectina.....	11
3.3	AMIDO DE MILHO.....	12
3.4	AMIDO DE BATATA.....	13
3.5	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	13
3.5.1	Estrutura Cristalina.....	13
3.5.2	Poder de inchamento.....	14
3.5.3	Solubilidade	15
3.5.4	Gelatinização	15
3.5.5	Retrogradação	16
3.6	O AMIDO E A INDÚSTRIA	18
3.7	AMIDOS MODIFICADOS.....	18
3.7.1	Anelamento.....	19
4	METODOLOGIA	22
4.1	LOCAL DE EXECUÇÃO.....	22
4.2	MATERIAL.....	22
4.3	MODIFICAÇÕES FÍSICA.....	22
4.3.1	Anelamento.....	22
4.4	CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS.....	22
4.4.1	Retrogradação	22
4.4.2	Estabilidade ao congelamento e descongelamento	23
4.4.3	Poder de inchamento (PI)	23
4.4.4	Índice de solubilização (IS)	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25

5.1 RETROGRADAÇÃO	25
5.2 ESTABILIDADE AO CONGELAMENTO E DESCONGELAMENTO.....	26
5.3 PODER DE INCHAMENTO (PI)	27
5.4 ÍNDICE DE SOLUBILIZAÇÃO (IS).....	29
6 CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

O amido é a principal substância de reserva das plantas sendo sua principal fonte de energia, e pode ser encontrado amplamente na natureza, disponível nas raízes, caules, sementes ou tubérculos, como o milho, a mandioca, a batata, os feijões (CEREDA *et al.*, 2002).

As indústrias de alimentos, fármacos, têxtil, metalúrgica buscam cada vez mais componentes de baixo custo e potencialmente eficazes. Sendo assim, o amido vem surgindo como um ingrediente de ampla aplicação, pois é responsável pelas alterações e controle de diversas características, como textura, aparência, umidade, consistência e estabilidade. (ASCHERI *et al.*, 2010).

Os amidos nativos vêm sendo usados durante muito tempo, porém em escala industrial sua aplicação se restringe devido ao seu desempenho limitado em função de certas condições de processamento. (BEMILLER, 1997).

As propriedades físico-químicas e funcionais dos amidos são influenciadas pela fonte botânica que o originou e a estrutura granular e molecular, destas as mais importantes são a forma e tamanho dos grânulos, transparência e opacidade, gelatinização e retrogradação, solubilidade, inchamento, absorção em água de suas pastas e géis moleculares (SINGH *et al.*, 2003; SRICHUWONG *et al.*, 2005; HERNÁNDEZ *et al.*, 2008; XIAO *et al.*, 2011).

O amido é constituído por dois polissacarídeos, amilopectina e amilose. A amilopectina contribui para o inchamento do grânulo, enquanto a amilose e os lipídios o inibem (TESTER; MORRISON, 1990). A estrutura cristalina depende do tipo e grau de associação intermolecular existente entre a amilose e a amilopectina e essa estrutura é destruída gradualmente e irreversivelmente durante o processo de gelatinização, portanto a temperatura de gelatinização é uma característica singular e depende fundamentalmente da transição vítrea da fração amorfa do amido (HERNÁNDEZ *et al.*, 2008; SINGH *et al.*, 2003).

Algumas características indesejáveis podem ser modificadas nos amidos nativos por processos físicos e químicos, como a esterificação, ligação cruzada, hidrólise ácida ou enzimática e oxidação e também o aquecimento e umidificação do amido. Essas modificações alteram profundamente a gelatinização dos grânulos, assim como seu comportamento na formação de pasta e retrogradação originando um produto com novas propriedades (CEREDA, 1983; SINGH; INOUCI; NISHINAKI, 2006).

A maioria das modificações utilizadas é química. Entretanto, em países desenvolvidos o interesse pela modificação física vem crescendo gradualmente, pois há um aumento na demanda por produtos naturais (BEMILLER, 1997).

O anelamento é um processo físico no qual uma suspensão de amido é exposta à temperatura superior àquela de transição vítrea e ligeiramente inferior à temperatura de gelatinização, esse tratamento hidrotérmico permite uma discreta reorganização molecular com formação de uma estrutura mais organizada de menor energia livre (BLANSHARD, 1987;). As propriedades funcionais do amido, tais como propriedades de pasta e térmicas são afetadas por esse processo e as temperaturas de gelatinização inicial e de pico são aumentadas, enquanto a faixa de temperatura de gelatinização e a mudança de entalpia diminuem com o tratamento (JACOBS *et al*, 1998; TESTER; DEBON; SOMMERVILLE, 2000).

Alguns autores observaram redução da viscosidade a quente, enquanto outros observaram um aumento deste parâmetro, estando possivelmente essas diferenças relacionadas com as características estruturais dos amidos e, em última análise à fonte botânica dos mesmos.

Pesquisas dessa natureza são importantes do ponto de vista industrial, pois processos como a moagem úmida do milho, onde o grão é aquecido em água à cerca de 50° C, provoca o anelamento e modificações nas propriedades funcionais do amido. O conhecimento dessas mudanças é importante, pois fornece informações sobre a estrutura dos grânulos de amido (BRANDERMARTE; FRANCO; LOPES, 2004; TESTER; DEBON; SOMMERVILLE, 2000).

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Produzir amidos modificados de milho e de batata por tratamento hidrotérmico.

2.2 ESPECÍFICO

- a) Estudar a estrutura química do amido.
- b) Realizar as modificações hidrotérmicas em amido de milho e batata.
- c) Avaliar as características físico-químicas do amido de milho e batata *in natura* e dos amidos modificadas.

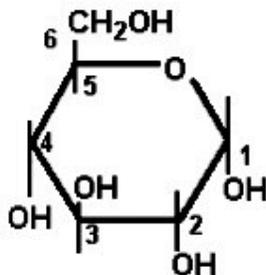
3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 AMIDO

O amido é um dos principais alimentos que servem como fonte de energia, de 70 a 80% das calorias consumidas pelo homem, e podem ser encontrados vastamente na natureza. Esse polissacarídeo está disponível nas raízes, caules, sementes e tubérculos, como o milho, a batata e a mandioca (SUMERLY *et al.*, 2003).

A Figura 1 mostra a construção do amido a partir de moléculas glicosídicas.

Figura 1 – Bloco de construção do amido α -D-glicose.



Fonte: Beninca (2008).

O amido, por ser um polímero, apresenta diversas propriedades funcionais capaz de fornecer ampla aplicação industrial, nos setores alimentício, papelero, têxtil, farmacêutico.

Estruturalmente, o amido é um polissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. Sendo que, a composição química e a organização espacial na estrutura granular desses polissacarídeos são responsáveis por sua funcionalidade (MOORE *et al.*, 1984, BILIADERIS, 1991).

A amilose é uma molécula linear enquanto que a amilopectina é uma molécula altamente ramificada. A diferença entre essas duas moléculas se dá à quantidade relativa de componentes minoritários associados à amilose, visto que esta se apresenta complexada aos lipídios presentes no grânulo, influenciando nas propriedades físico-químicas e reológicas do amido (WHISTLER; PASCHAL, 1965).

3.2 ESTRUTURA QUÍMICA DO AMIDO

3.2.1 Grânulos

Os grânulos de amido apresentam diâmetros entre 1 a 100 μm , que se descreve como a faixa entre o diâmetro maior e o diâmetro menor da população de grânulos de uma determinada espécie botânica (FRANCO *et al*, 2002). Os formatos são regulares ou irregulares podendo variar em tamanho, estrutura e composição química, dependendo da origem botânica, do local e das condições de crescimento (JANE *et al*, 1994; SMITH, 2001; LIU, 2005).

A Tabela 1 relaciona a origem do amido com o seu tamanho e sua forma.

Tabela 1 – Características granulares de diferentes fontes botânicas.

Origem do amido	Tamanho médio (μm)	Forma
Trigo normal	13 a 19	Lenticular
Milho normal	12 a 15	Poliédrico e arredondado
Batata normal	40	oval
Arroz	6	Poliédrico
Mandioca	5 a 35	Redondo ou oval

Fonte: Buléon *et al*. (1998) e Bermudez (1997).

O amido se desenvolve ao redor de um centro de nucleação agregado a um hilo que pode estar deslocado lateralmente ou mesmo no centro, onde ocorrem ligações de hidrogênio entre a amilose e amilopectina, que são responsáveis pela heterogeneidade estrutural. As moléculas são associadas paralelamente ao aparecimento de regiões que possuem um arranjo na direção radial que quando são associadas a cadeias com ligações fortes, numerosas e regulares são denominadas cristalinas, porém quando são fracas se distinguem pela região amorfa (GALLANT *et al*, 1997; LIU, 2005).

A Figura 2 mostra a localização do grânulo do amido na estrutura da fonte botânica.

Figura 2 – Grânulos de amido identificados morfologicamente.



Fonte: Tabchoury (2014).

Segundo Biliaderis (1991), a funcionalidade dos amidos está inteiramente relacionada à amilose e a amilopectina, as quais são responsáveis pela organização física e formação dos grânulos de amido dentro da estrutura granular.

A zona amorfa dos grânulos de amido é a região mais propensa aos ataques enzimáticos, sendo menos densa por absorver mais água em temperaturas abaixo da temperatura de gelatinização, enquanto a região cristalina preserva a estrutura do grânulo, controlando ataques químicos e enzimáticos através de seu comportamento na presença de água afetando dessa maneira sua resistência (BILIADERIS, 1991).

A perda da integridade granular é induzida gradualmente através da solubilização da amilose e amilopectina e do inchamento dos grânulos, por uma pequena quantidade de retenção de água que proporciona um leve inchamento, pelo fato deste ser insolúvel em água fria, contudo isso pode ser revertido através da secagem. Entretanto, o comportamento do amido é influenciado por alguns fatores, como temperatura, tamanho e concentração dos grânulos e até mesmo a presença de lipídios (CEREDA *et al*, 2001; JANE *et al*, 1999).

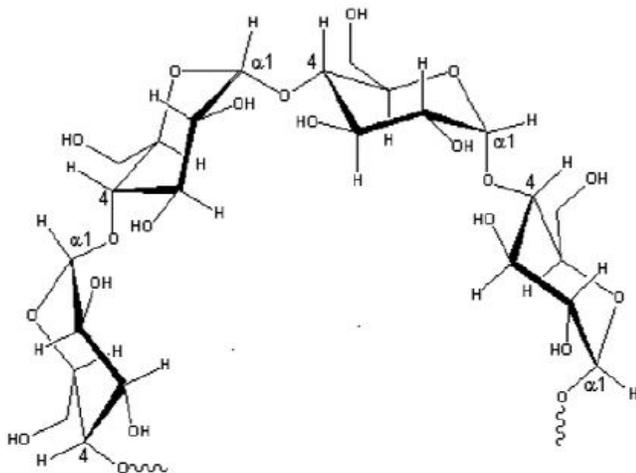
3.2.2 Amilose

A amilose é uma molécula linear formada por 200 ou mais unidades de D-glicose ligadas em α (1-4), com um pequeno número de ramificações de cadeia longa (0,3 a 0,5% do total das ligações). A distribuição da massa molar varia dependendo da fonte botânica e da sua forma de extração. Apresentam-se na forma helicoidal contendo átomos de hidrogênio em seu interior tornando-o hidrofóbico, o que permite a formação de complexos de inclusão

helicoidal com ácidos graxos livres, componentes glicéridos dos ácidos graxos, alguns alcoóis e com iodo (BULÉON et al, 1998; SMITH, 2001; LIU, 2005).

A Figura 3 mostra a estrutura química da amilose.

Figura 3 – Estrutura química da amilose.



Fonte: Lajolo e Menezes (2006).

Para a caracterização do amido é utilizada uma técnica de complexação com iodo, que permite a formação de um complexo de cor azul intensa que identifica a presença da amilose e de algumas cadeias ramificadas externas de amilopectina. (MATSUGMA, 2006; MORRISON, 1995; JANE *et al*, 1999).

As amiloses quando complexadas com gorduras e emulsificantes, como mono e diglicéridos, podem alterar a temperatura de gelatinização, a textura e o perfil de viscosidade da pasta, limitando a retrogradação.

Conhecida por suas propriedades na formação de filmes e por ser mais resistente que a amilopectina, a amilose possui uma estrutura macromolecular que confere ao amido propriedades particulares, tais como baixa solubilidade, viscosidade, poder de gelatinização ou de adesão, fazendo com que seu alto teor de amilose, tornam-se desejáveis para produtos que necessitam ser crocantes e resistentes. (CEREDA *et al*, 2001; SMITH, 2001).

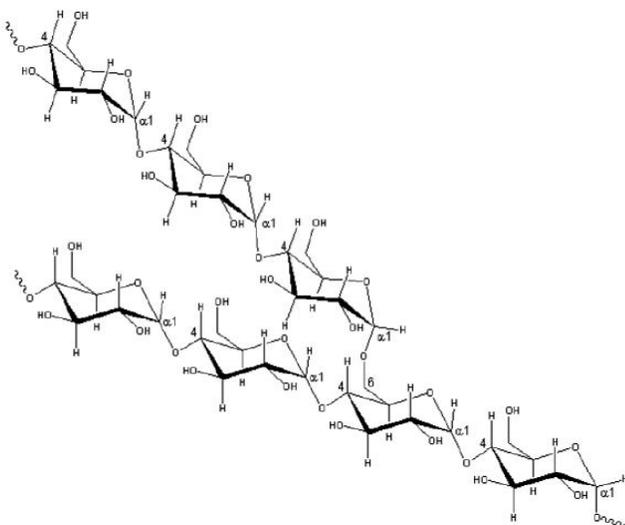
3.2.3 Amilopectina

A amilopectina é uma molécula altamente ramificada, de cadeias curtas que variam com a origem e espécie do amido, possuem cerca de 1000 unidades de α -D-glicose unidas por ligações α (1-4) e com 5 a 6% de ligações α (1-6), em suas ramificações. Na sua estrutura

ainda há uma dupla hélice existente com 20 a 30 unidades de glicose, e quando em presença do iodo dá-se a coloração avermelhada (AMANTE, 1986; WHISTLER; PASCHAL 1965; BEMILLER, 1997; BULÉON *et al.*, 1998; FENNEMA, 2000; FRANCO *et al.*, 2001; SOARES, 2003; MOORE, 2001).

A Figura 4 mostra a estrutura química da amilopectina.

Figura 4 – Estrutura química da amilopectina.



Fonte: Lajolo e Menezes (2006).

Essas cadeias estão arranjadas dentro do grânulo com seus terminais não redutores em direção à superfície que são organizadas alternadamente nas áreas cristalinas (em forma de dupla-hélice) e amorfas (região com pontos de ramificações), cujos terminais redutores possuem um grupo aldeído latente (HOCH_2), conhecidos como unidade de glicose terminal (CEREDA *et al.*, 2001; ZANIN, 1989; VAN DER MAAREL *et al.*, 2002).

3.3 AMIDO DE MILHO

O amido de milho é responsável por mais de 80% do mercado mundial e se encontra em maiores proporções nos Estados Unidos, sendo que sua produção pode ser convertida em xarope de milho, xarope com alto teor de frutose e dextrose em aproximadamente 70%, cuja obtenção implica-se em modificações químicas, bioquímicas e físicas, das quais são obtidas por processos industriais de moagem úmida, onde há a separação do grão de milho em frações relativamente puras de germe, fibra, amido e proteína (JOBLING, 2004; BILIADERIS, 1992; SINGH; KAUR; MCCARTHY, 1997; LOPES; RAMOS; ROMERO, 2006).

Conforme a origem, o teor de amido no milho varia de 68% a 74% e contém entre 25-28% de amilose, já o amido de mandioca possui apenas 17% de amilose, enquanto outras variedades possuem teores acima de 50% e algumas fontes de milho, cevada e arroz, referidas pelo termo ceroso não possuem amilose e em amidos normais de cereais, o teor de amilose nos grânulos se depara em intervalos de 20% a 30% e tem em média 20 μm de diâmetro (REDDY; SEIB, 2000).

3.4 AMIDO DE BATATA

A batata é um tubérculo de origem andina com muita eficiência na produção de energia por unidade de área e tempo e, é o quarto alimento em volume de produção em todo o mundo, atrás apenas do trigo, milho e arroz (ÁVILA *et al*, 2009).

Em 2007, apresentou uma produção mundial superior a 321 milhões de toneladas, colhida em quase 20 milhões de hectares e seus maiores produtores mundiais são a China, Rússia, Índia, Estados Unidos, Polônia e Ucrânia, e o Brasil que ocupa a 20^a posição (FAO, 2009; LEONEL *et al*, 2005).

As produções de fécula, flocos, farinhas estão relacionadas às formas de processamento da batata em sua grande maioria e, de produtos que envolvem tratamentos onde o amido é pré-gelatinizado, resultando assim em farinhas instantâneas, *snacks*, sopas, macarrões e biscoitos, porém desses processos são poucos explorados no Brasil (LEONEL *et al*, 2005).

3.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

3.5.1 Estrutura cristalina

A cristalinidade dos grânulos é caracterizada de acordo com o perfil do difratograma demonstrada por difração de raio-x.

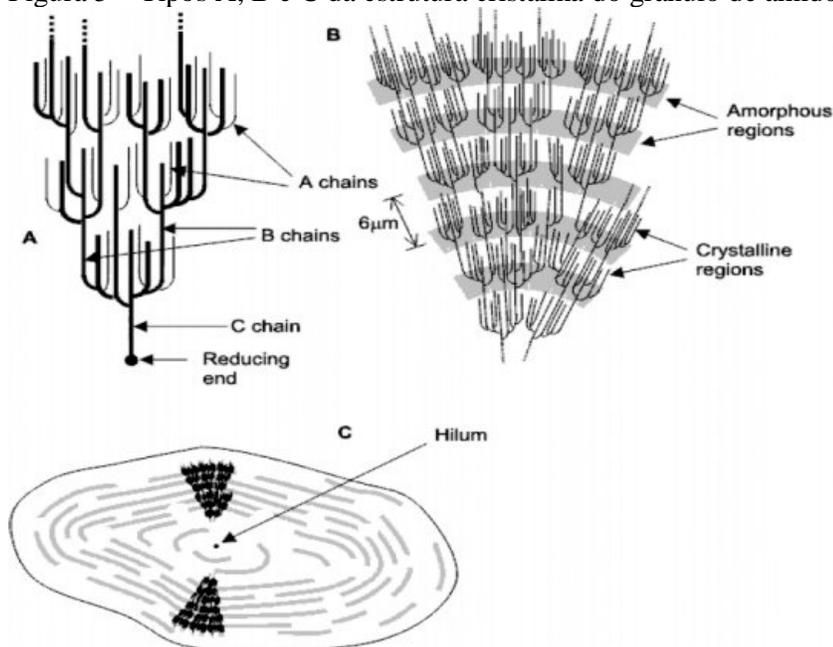
Katz em 1928 identificou e caracterizou três diferentes tipos de estrutura cristalina (tipo A, B e C), verificadas pelos ângulos de difração específicos que se apresentam através do empacotamento em função da dupla-hélice formada pelas cadeias laterais ramificadas da amilopectina, as quais variam entre 15% a 45% (PARKER; RING, 2001; HOOVER, 2001).

Segundo Zobel (1988), a cristalinidade do grânulo que representa a amilopectina demonstra-se aproximadamente de 15 a 45% e pode ser caracterizada por difração de raio X em consequência do empacotamento em dupla hélice das cadeias ramificadas do polímero,

das quais possuem os padrões principais do tipo A que apresenta maiores picos de intensidade de refração para os ângulos de 2-15 Å, 17-18 Å e 23 Å, típicos dos amidos de cereais; do tipo B que apresenta maiores picos de intensidade de refração para os ângulos de 2-6 Å, 15 Å, 17 Å, 22-23 Å, típicos em amidos de tuberosas, sendo que seu representante é o amido de batata com pico a 5,6Å e o tipo C que apresenta uma mistura das características do tipo A e do tipo B, com predominância do tipo A, a mandioca possui precedentes porém esse tipo compreende os amidos de ervilha e feijões (MESTRES, 1996).

A Figura 5 mostra os tipos de estrutura cristalina A, B e C.

Figura 5 – Tipos A, B e C da estrutura cristalina do grânulo de amido.



Fonte: Denardin e Silva (2009).

Segundo Miao, Zhang, e Jiang (2009), a orientação e extensão da interação das duplas hélices dentro da área cristalina, juntamente com o teor de amilopectina e comprimento das cadeias são fatores que influenciam diferenças entre a cristalinidade dos amidos, as quais podem ser atribuídas ao tamanho do cristal e o número de regiões cristalinas.

3.5.2 Poder de inchamento

O poder de inchamento está relacionado ao aquecimento dos grânulos de amido quanto a sua quantidade de hidratação, cuja determinação é feita pelo peso do grânulo intumescido (LEACH; MCCOWEN; SCHOCH, 1959).

Segundo Zheng e Sosulski (1997) e Lindeboom *et al* (2004), a inibição de inchamento e gelatinização são propriedades das quais se mostram menos propensas em relação à estrutura e composição química do grânulo do que com o teor de amilose, pois essa possui uma quantidade maior de lipídios complexados em sua cadeia.

A ocorrência da presença de cristais formados por cadeias longas de amilopectina agregadas na estrutura se dá devido ao comportamento de inchamento do grânulo e da solubilidade que os amidos demonstram após um amplo período de aquecimento, a estabilização do inchamento do grânulo ocorre com o aumento do desenvolvimento desses cristais (CEREDA *et al*, 2001; MIAO; ZHANG; JIANG, 2009).

3.5.3 Solubilidade

A solubilidade do amido é expressa em porcentagem (peso) da amostra que é dissolvida após aquecimento.

A lixiviação é o resultado da amilose se dissociar e se difundir para fora dos grânulos durante o inchamento. Esse é um processo de extração de uma substância de um meio sólido por meio de sua dissolução em um líquido, do qual resulta em uma fase de transição de LEACH; MCCOWEN; SCHOCH, 1959; TESTER; MORRISON, 1990).

A concentração de amido e a temperatura de aquecimento afetam diretamente na concentração de amilose lixiviada, sendo que a extensão de interação entre as cadeias (amilose-amilose e/ou amilopectina-amilose) dentro do grânulo de amido, e quantidade de lipídio-amilose complexada com as cadeias tem demonstrado grande influencia na solubilidade do amido pelo teor de amilose total (LEE; HOWARD; VILLALÓN, 1995; HOOVER; VASANTHAN, 1994).

A insolubilidade do grânulo, segundo Biliaderis (1991) é decorrente das fortes ligações de hidrogênio que mantêm as cadeias de amido unidas, ou seja, o amido é insolúvel em água fria apesar de sofrer pequeno inchamento. Os sítios de ligação da água são os grupos hidroxilas e os átomos de oxigênio no interior das moléculas de D-glicose, sendo que estes conferem natureza altamente hidrofílica ao amido.

Portanto, quando em água e temperatura de aquecimento, o grânulo é incorporado pela água sem que haja ruptura, mesmo possuindo uma capacidade de inchamento de até três vezes o seu tamanho. Nesse caso a viscosidade máxima da suspensão é atingida e os grânulos continuam a se expandir e absorver água, quando a suspensão é aquecida continuamente, logo

sucedem uma ruptura dos mesmos e ocorre o desaparecimento da região cristalina (PENG *et al*, 2007).

3.5.4 Gelatinização

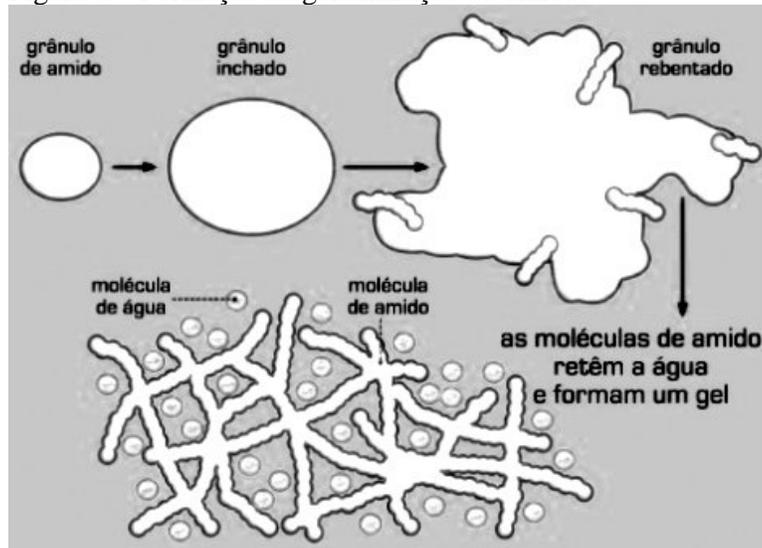
O grânulo possui capacidade limitada em absorver água fria, porém essa capacidade é controlada pela estrutura cristalina da qual depende do arranjo molecular de seus componentes que quando em aquecimento ocorre o rompimento das ligações de hidrogênio que mantêm o arranjo. Os grupos hidroxilas das unidades de glicose são hidratados provocando o inchamento do grânulo, porém esses não mudam de aparência até atingir uma temperatura crítica. Nesse intervalo de temperatura, as ligações mais fracas de hidrogênio entre a amilose e a amilopectina se rompem e os grânulos começam a intumescer formando então soluções viscosas que a partir dessa suspensão algumas características são perdidas provocando alterações na estrutura cristalina (MORRISON, 1995; BILIADERIS, 1991).

Segundo Zhong *et al* (2009), a gelatinização é uma das propriedades mais importantes devido ao rompimento da camada molecular manifestando mudanças irreversíveis nas propriedades granulares, das quais estão relacionadas a uma variedade de fatores, incluindo o tamanho, proporção e organização cristalina além da estrutura dos grânulos de amido, também, ocorre absorção de água, intumescimento dos grânulos e lixiviamento de alguns componentes, principalmente a amilose.

Através do excesso de água em aquecimento acima da temperatura de gelatinização, ocorre o relaxamento de ligações de hidrogênio entre moléculas de água que interagem com grupos hidroxilas da amilose e amilopectina, cujo tamanho dos grânulos e solubilização parcial do amido é expandida (HOOVER, 2001).

A Figura 6 mostra o esquema de formação da gelatinização do amido.

Figura 6 – Formação da gelatinização do amido.



Fonte: Crexi (2014).

A formação da pasta é composta por duas fases, uma fase contínua (uma dispersão molecular) de amilose e/ou amilopectina solubilizadas e uma fase descontínua, de aparentes grânulos e fragmentos (LINDEBOOM et al, 2004; JAYAKODY; HOOVER, 2008).

3.5.5 Retrogradação

A retrogradação é o processo pelo qual o amido retorna ao seu estado mais ordenado após a gelificação, durante esse processo as moléculas de amilose formam agregam-se à duplas hélices de unidades de glicose de forma molecular e estrutural mais fraca que a encontrada na molécula do amido *in natura*, sendo que a amilopectina forma duplas hélices menores, em consequência do impedimento que a estrutura ramificada das moléculas e o comprimento das ramificações causa e assim, menos energia é requerida para fundir os cristais reestruturados (THOMPSON, 1999; KIM; WEISENBORN; GRANT, 1997; SASAKI; YASUI; MATSUKI, 2000).

Moléculas lineares têm maior tendência a tornarem a se associar novamente e formar ligações de hidrogênio que as moléculas grandes da amilopectina, por outro lado amilopectinas podem retrogradar, pois a distribuição de cadeias de amilopectina afeta a taxa de retrogradação, mesmo com uma maior quantidade de amilose possui uma associação à maior tendência a retrogradação em amido, a amilopectina e materiais intermediários também desempenham papel importante na retrogradação durante o armazenamento sob refrigeração (THOMAS; ATWELL; YAMIN *et al.*, 1999).

Na fase inicial da retrogradação, duas ou mais cadeias de glicose podem se unir em um ponto que resulta na transformação de regiões mais ordenadas, ou seja, a intensidade da tendência a retrogradar do amido pode representar a extensão da lixiviação da amilose do grânulo de amido. Isso acontece quando os elementos do amido se associam novamente no amido gelatinizado possuindo uma estrutura mais organizada para a saída de água (HOOVER; VASANTHAN, 1994; JACOBS, *et al*, 1995; LAN *et al*, 2008; HOOVER, 2001; JAYAKODY; HOOVER, 2008).

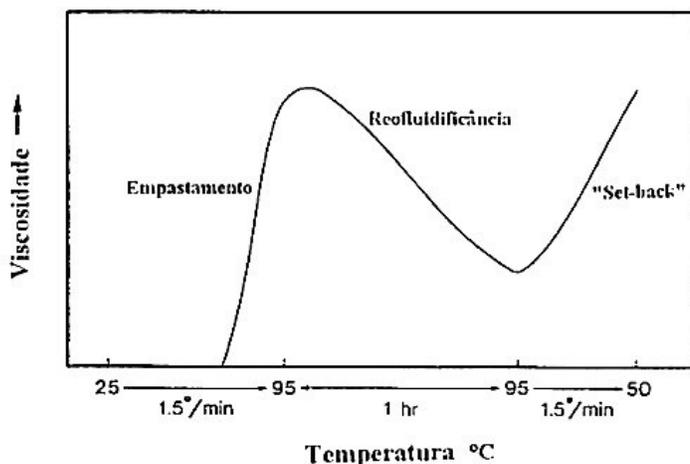
As moléculas de amilose são as principais responsáveis pela retrogradação devido a sua estrutura linear ter uma aproximação mais facilmente, já com a amilopectina a reorganização parece ocorrer somente na periferia da molécula (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004). Contudo, Jaillais *et al* (2006) realizou estudos que mostraram que a amilose não interfere sozinha nesse tratamento, pois em relação a determinadas condições experimentais, a retrogradação da amilopectina pode ser um elemento conjunto do resultado obtido, porque dependendo da fonte botânica, concentração da solução, taxa de cisalhamento, o binômio tempo-temperatura, o pH e a presença de outros elementos como aminoácidos e lipídios também interferem no comportamento da pasta (THOMAS; ATWELL, 1999, LIANG; KING, 2003).

O gel de amido, ao ser resfriado, sofre a retrogradação e uma reorganização molecular, dos quais beneficiam a formação de estruturas mais organizadas, surgindo novas ligações de hidrogênio acarretando juntamente a expulsão da água do gel, pois com o tempo, este gel formado tem a tendência de liberar água e esta liberação de água é conhecida como sinerese, das quais em condições adequadas pode desenvolver uma forma cristalina (JAYAKODY; HOOVER, 2008).

O comportamento de pasta dos amidos são os principais determinantes das mudanças que ocorrem nos grânulos durante a gelatinização e retrogradação, as quais têm sido medidas durante o aquecimento e resfriamento de dispersões de amido usando equipamentos denominados amilógrafos (JACOBS *et al*, 1995).

A Figura 7 mostra um sistema desenvolvido em amilógrafo.

Figura 7 – Amilograma do sistema amido-água mostrando os fenômenos de empastamento, reofluidificância e *set-back*.



Fonte: Hoseney (1986).

A fase inicial de aquecimento da suspensão aquosa de amido mostra um aumento na viscosidade que é notado quando os grânulos começam a inchar, resultando na lixiviação de polímeros com baixo peso molecular, particularmente moléculas de amilose. Durante essa fase enquanto a maioria dos grânulos encontra-se totalmente inchados, um pico de viscosidade máxima é obtido durante o empastamento (TSAI; LI; LII, 1997).

Já em temperatura constante (95°C) ocorre uma quebra na viscosidade, precedidos por uma fase de resfriamento, os grânulos iniciam seu rompimento e prossegue a solubilização das moléculas de amilose e amilopectina que se reassociam proporcionando outro aumento na viscosidade, o qual é conhecido como tendência a retrogradação (MATSUGUMA, 2006).

A temperatura de início de formação de pasta, o pico de viscosidade, a resistência dos grânulos inchados à ação mecânica, assim como a retrogradação, são informações fornecidas pelas curvas de viscosidade (LINDEBOOM *et al*, 2004).

3.6 O AMIDO E A INDÚSTRIA

Os produtores agrícolas e a indústria estão preocupados com o desenvolvimento de espécies e a identificação amidos nativos com características físico-químicas especiais (KIM *et al*, 1995; ALEXANDER, 1996).

O amido tem um amplo emprego industrial devido ao seu baixo custo e à sua característica de utilização direta como ingrediente calórico, tendo suas propriedades físico-químicas melhoradas (CEREDA *et al*, 2001).

O amido é utilizado como facilitador em processo industrial e também como uma proteção aos alimentos, além de fornecer textura, sólidos em suspensão e até mesmo espessante (SMITH, 1982).

No Brasil, embora exista um grande número de raízes amiláceas pouco exploradas, a indústria vem cada vez mais dando importância a possibilidade de incluir novas matérias-primas provenientes do amido (VILPOUX, 1998).

3.7 AMIDOS MODIFICADOS

Os amidos modificados quimicamente, fisicamente ou enzimaticamente são utilizados como ingredientes em diferentes produtos, pois os amidos nativos possuem aplicação limitada devido ao baixo desempenho durante o processamento. (VAN de BIJ, 1976).

As modificações dos amidos têm atribuído propriedades funcionais características que afetam diretamente sua aplicação e preço de mercado (DOLMATOVA *et al.*, 1998).

Os amidos modificados quimicamente são amplamente empregados na fabricação de alimentos. Porém, os consumidores procuram por produtos sem aditivos que visam uma maior segurança. Sendo assim, a indústria utiliza as modificações físicas como uma melhor opção (BEMILLER, 1997).

As propriedades térmicas em amido são importantes na determinação de sua funcionalidade específica e têm sido um dos aspectos fundamentais em pesquisas na área de polímeros. Esse estudo fornece informações para o processamento e utilização, tanto na compreensão da estrutura do amido quanto ao seu emprego industrialmente (ZHONG, SUN, 2005; KRIEGER *et al.*, 1997).

3.7.1 Anelamento

Os tratamentos denominados hidrotérmicos envolvem estocagem do amido em um determinado teor de umidade acompanhado de tratamento térmico por certo período de tempo e, como consequência apresentam modificações em suas propriedades funcionais. Porém sua estrutura granular e suas propriedades físico-químicas não são prejudicadas, isto é, o amido continua natural sem adição de outras espécies químicas às amostras tratadas (JACOBS; DELCOUR, 1998).

O anelamento ou também conhecido como *annealing*, é um tratamento hidrotérmico onde o amido é exposto a uma temperatura superior à transição vítrea, sendo que essa transição é

reversível entre materiais amorfos, semicristalinos e materiais líquidos de alta viscosidade, e inferior à temperatura de gelatinização, ou seja, não ocorre o estado de dilatação dos grânulos apenas uma organização discreta que permite a reorganização das moléculas em sua estrutura (BLANSHARD, 1987).

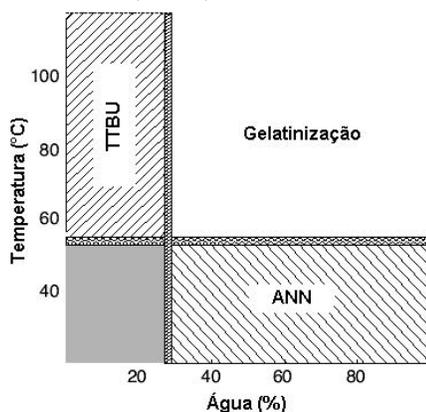
Esse processo está relacionado com o teor de umidade acima de 60% em uma temperatura que não haja gelatinização, o qual afeta funcionalmente algumas propriedades do amido, como a de pasta e térmica (JACOBS *et al*, 1998; TESTER *et al*, 2000).

O termo gelatinização é freqüente para descrever a ocorrência molecular associada ao aquecimento do amido em excesso de água, causando um inchamento irreversível, no qual envolve a dissolução de duplas hélices. O amido converte-se de uma forma semicristalina para uma amorfa e assim, cada amido possui suas temperaturas particulares T_o , T_p e T_c (temperaturas inicial, de pico e de conclusão, respectivamente) e sua entalpia (TESTER, 1997).

Depois de atingida a temperatura de conclusão (T_c), toda dupla hélice da amilopectina é dissociada, embora a expansão da estrutura granular possa ser conservada até que temperaturas mais altas sejam aplicadas. Acima de 95°C um gel amorfo é formado e nesse intervalo de temperatura T_c - T_o que é representado o período de gelatinização (BLENNOW *et al.*, 2000).

A Figura 8 mostra as condições hidrotérmicas do tratamento térmico em baixa umidade (TTBU) e do anelamento (ANN).

Figura 8 – Condições hidrotérmicas do tratamento térmico em baixa umidade (TTBU) e do anelamento (ANN).



Fonte: Eliasson e Gudmundsson (2006).

O não acréscimo de aditivos para a modificação de amido é um dos benefícios referentes a esse tratamento, o que atrai o interesse das indústrias, pois, além disso, suas características

produzidas são diferentes dos amidos nativos, porém comparado a outros processos, o anelamento gasta um maior tempo de geração e energia, o que implica em maiores custos (FRANCO *et al*, 2002).

Os amidos modificados hidrotêrmicamente apresentam vantagens em relação aos amidos nativos devido ao aumento na estabilidade térmica, redução na capacidade de retrogradação e poder de inchamento, deste modo, as indústrias alimentícias demonstram um grande interesse na utilização dessas propriedades no processamento de alimentos enlatados ou congelados (ADEBOWALE *et al.*, 2005; JAYAKODY, HOOVER, 2008; CEREDA, 2001)

Um exemplo industrial é a moagem úmida de milho cujo grão é aquecido aproximadamente em 50°C o qual provoca o anelamento do amido (BRANDERMARTE *et al*, 2004). Estudos desse gênero são importantes visto que pesquisadores vêm apresentando o mesmo ocorrido ou até 15° C abaixo da temperatura inicial de gelatinização fazendo com que as extrações de alguns amidos de raízes e tubérculos provoquem determinadas consequências no processo (TESTER *et al*, 1997).

O tratamento demonstra uma diminuição na mudança de entalpia diante da faixa de temperatura de gelatinização, ao passo que esta e de pico são aumentadas diante do parâmetro e a redução da viscosidade a quente que são possíveis diferenças referentes às fontes botânicas e as características estruturais dos amidos, porém as propriedades de pasta sobre o efeito do anelamento não constam de muito esclarecimento (JACOBS *et al*, 1998; TESTER *et al*, 2000).

Gunaratne e Hoover (2002) realizaram o tratamento hidrotérmico (30% de umidade/ 100°C/ 10 horas dos amidos de taro, mandioca e batata) e verificaram que a suscetibilidade enzimática aumentou quando utilizado α -amilase. O rompimento dos cristais próximos da superfície do grânulo pode facilitar o ataque da α -amilase no interior do grânulo, fato que pode explicar o aumento significativo na porcentagem de hidrólise dos amidos tratados termicamente em baixa umidade. Os autores também afirmam que mesmo quando os cristais não são quebrados pelo tratamento, o aumento da suscetibilidade ocorre devido ao número de duplas hélices rompidas pelo tratamento nas regiões amorfas dos grânulos, que facilita o acesso das enzimas aos sítios da cadeia e à interação que ocorre entre as cadeias de amilose durante o rearranjo das cadeias poliméricas.

Durante um período de escassez e em busca de aplicações de amidos tratados hidrotêrmicamente, Tester e Debon (2000), substituíram o amido de milho pelo amido de batata e constataram uma melhora no desempenho e da qualidade do amido de batata para a

panificação ao mesmo tempo em que a estabilidade para o congelamento e descongelamento na indústria de alimentos infantis.

O aumento da estabilidade granular e reorganização da estrutura do grânulo juntamente com a diminuição da energia livre vêm sendo alvo de estudos por pesquisadores que investigam as alterações na estrutura molecular, quando submetidas às condições desse tipo de processo (HOOVER & VASANTHAN, 1994; BLANSHARD, 1987).

4 METODOLOGIA

4.1 LOCAL DE EXECUÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido nos laboratórios de química, nutrição e ambiental da Universidade do Sagrado Coração (USC) na cidade de Bauru estado de São Paulo.

4.2 MATERIAL

O amido de milho da marca Maizena e o amido de batata da marca Yoki, foram adquiridos no comércio da cidade de Lençóis Paulista - SP e armazenados à temperatura ambiente.

4.3 MODIFICAÇÃO FÍSICA

4.3.1 Anelamento

Porções de 200g (b.s.) de amido foram suspensas em água (50% p/v) por 48 horas, a 50, 55 e 60 ° C, segundo Jacobs *et al* (1998), com modificações.

As amostras úmidas foram depositadas em uma bandeja com alumínio para que ficassem dispersas, e depois foram colocadas em estufa nas diferentes temperaturas. Após o período de anelamento, as amostras foram recuperadas e secas em estufa a 40 °C, por 24 horas.

As temperaturas do anelamento foram escolhidas devido à temperatura inicial de gelatinização do amido de mandioca (MUCCILLO, 2009).

4.4 CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS

4.4.1 Retrogradação

A tendência à retrogradação do amido foi analisada pelo método de Albrecht *et al.* (1960). Suspensões com 0,2% de amido em água foram gelatinizadas por aquecimento à 95 °C por 30 minutos e posteriormente armazenadas à 5 °C. O monitoramento da tendência à retrogradação foi realizado por medida diária da transmitância a 615 nm.

As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (JENWAY 7305 spectrophotometer) e, utilizou-se água destilada para ajustar 100% de transmitância. As medidas foram realizadas por um período de 9 dias.

4.4.2 Estabilidade ao congelamento e descongelamento

A avaliação da estabilidade do gel de amido ao congelamento e descongelamento foi realizada através do método de White *et al* (1989), com modificações. Para isso, uma suspensão de amido em água a 5% foi aquecida a 95 °C com agitação, por 30 minutos. A seguir 10 g do gel obtido foram colocados em um tubo de centrífuga e submetido a 3 ciclos sucessivos de congelamento e descongelamento. Cada ciclo consistiu do congelamento a -18 °C por 24 horas e o descongelamento foi feito em banho termostático a 30 °C por 90 minutos. Após o último ciclo, o gel foi centrifugado a 4.000 rpm por 15 minutos.

O sobrenadante foi pesado e a extensão da sinerese, calculada conforme a Equação 1. Os valores foram expressos em porcentagem de água exsudada, em relação à massa inicial.

$$\% \text{ Sinerese} = \frac{\text{Massa de água do sobrenadante (g)} \times 100}{\text{Massa total da pasta (g)}} \quad (1)$$

4.4.3 Poder de inchamento (PI)

O poder de inchamento foi determinado segundo metodologia descrita na AACC - American Association Cereal Chemists (1995). As suspensões aquosas de 8g de amido (base seca) em 100 mL de água destilada foram submetidas a diferentes temperaturas (25, 50, 60, 70, 80 e 90 °C) em banho termostático por 30 minutos e com agitação a cada 5 minutos. O material resultante foi centrifugado a 2500 rpm por 5 minutos. A massa do resíduo da centrifugação (gel) foi coletada. O sobrenadante foi reservado para ser utilizado na análise de índice de solubilização, sendo o poder de inchamento calculado através da Equação (2):

$$\text{Poder de inchamento (PI)} = \frac{\text{Massa do gel (g)}}{\text{Massa da Amostra em base seca (g)}} \quad (2)$$

4.4.4 Índice de solubilização (IS)

O índice de solubilização também foi determinado segundo metodologia descrita na AACC (1995). Uma alíquota do sobrenadante proveniente da centrifugação descrita no item 4.3.4 foi colocada em placas de petri e seca em estufa à 105 °C, até atingir massa constante,

ou seja, por um período de 18 horas. Essa massa foi pesada e a porcentagem do índice de solubilização foi calculada segundo a Equação (3).

$$\% \text{ Índice de Solubilização (IS)} = \frac{\text{Massa Final (g)}}{\text{Massa da Amostra em Base Seca (g)}} \times 100 \quad (3)$$

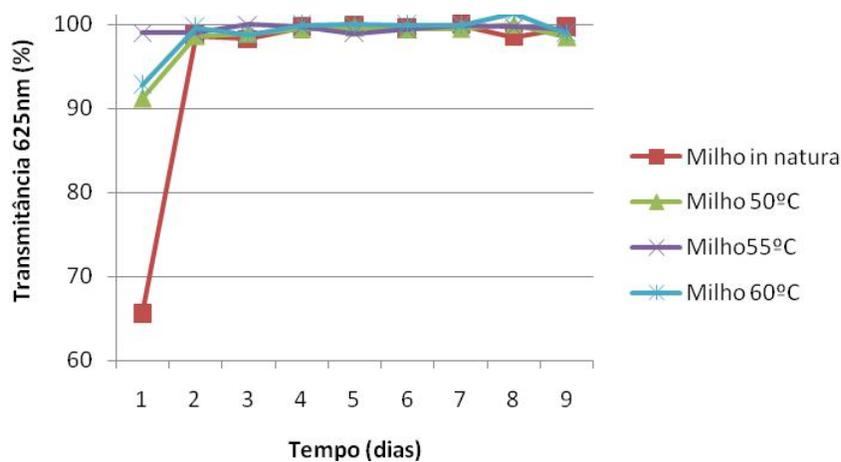
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 RETROGRADAÇÃO

A verificação da tendência à retrogradação dos amidos *in natura* e modificados de milho e batata foi realizada através da observação da influência do tempo de armazenamento na opacidade das pastas dos quais estão representados nas Figuras 9 e 10, respectivamente.

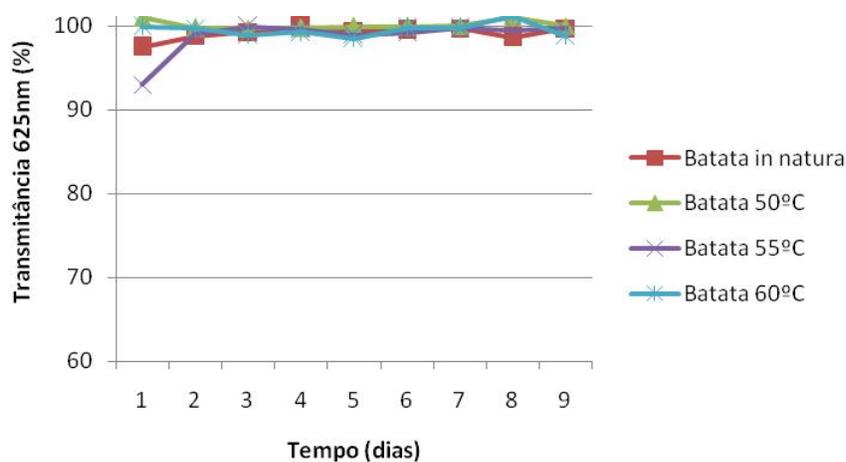
Segundo Stahl *et al* (2007) a retrogradação é a responsável pela tendência de pasta de amido em tornar-se opaca, o que proporciona a redução de transmitância para a formação de géis com rígidas estruturas durante o resfriamento, resultando na retrogradação que o amido incorpora ao decorrer do tempo de armazenamento.

Figura 9 – Retrogradação dos amidos de milho *in natura* e amido de milho modificado (transmitância à 625nm).



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 10 – Retrogradação dos amidos de batata *in natura* e amido de batata modificado (transmitância 625nm).



Fonte: Elaborado pela autora.

Os amidos de milho *in natura* e modificados apresentaram aumento do primeiro para o segundo dia, logo após esse período observou-se em todas as amostras que as porcentagens de transmitância tiveram pequenas variações. Já no oitavo dia notou-se uma diminuição no amido de milho *in natura*.

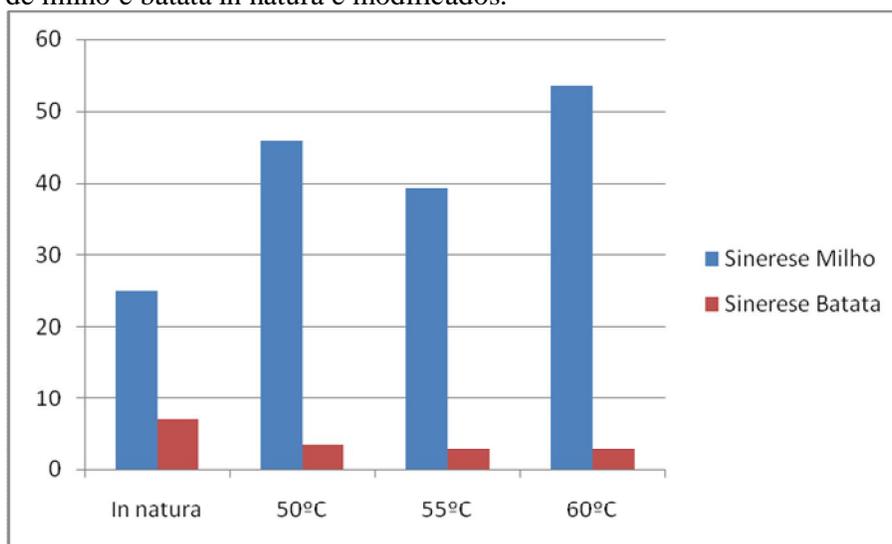
Os amidos de batata *in natura* e modificado a 55 °C apresentaram aumento nas porcentagens de transmitância. Sendo que, os amidos de batata modificados a 50 e 60 °C não apresentaram diferenças durante os nove dias.

Diante do tratamento de anelamento, os dados obtidos mostraram que as diferentes fontes botânicas apresentam o mesmo comportamento em relação à retrogradação. Entretanto, os valores da porcentagem de transmitância do amido de batata foram inferiores quando comparados com os de amido de milho.

5.2 ESTABILIDADE AO CONGELAMENTO DE DESCONGELAMENTO

A estabilidade dos amidos de milho e batata *in natura* e modificados é mostrada pela Figura 11, dos quais sucedidos em três ciclos de congelamento e descongelamento. Os amidos nativos (milho e batata) foram observados após o congelamento e descongelamento, suas baixas resistências ao processo aplicado foram comprovadas através da liberação significativa de água.

Figura 11 – Estabilidade de congelamento e descongelamento (Sinerese) dos amidos de milho e batata *in natura* e modificados.



Fonte: Elaborado pela autora.

Comparando os amidos de milho e batata verificou-se que os amidos de batata *in natura* e modificados apresentam maior estabilidade aos ciclos de congelamento e descongelamento, decorrência interessante para a sua possível utilização em alimentos propensos à conservação sob congelamento, já que o gel gerado liberou menos água.

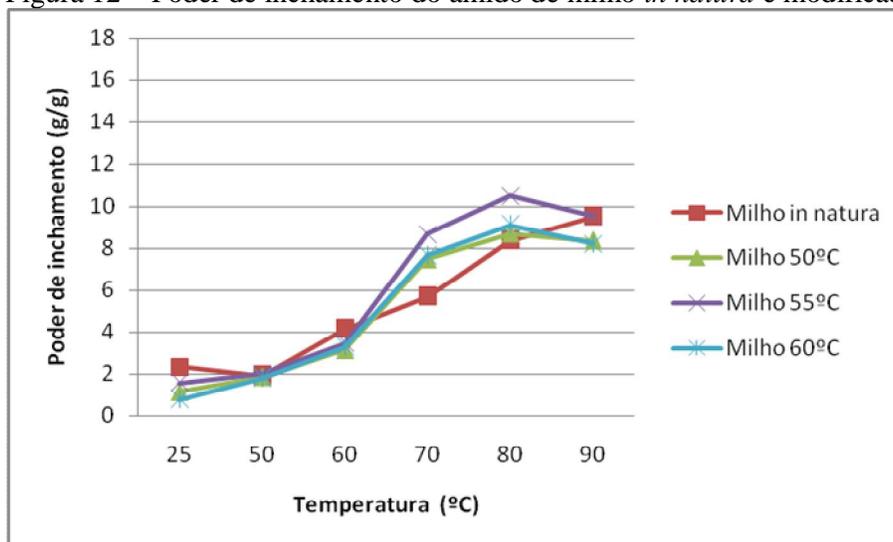
Os resultados encontrados por Stahl *et al* (2007) para os amidos nativos de pinhão e milho (submetidos a três ciclos de congelamento (-18 °C) e descongelamento (30 °C)), foi de aproximadamente 77% e 82%, respectivamente, sendo que a diferença entre as fontes botânicas foi de 5%.

Em comparação a esse trabalho, houve uma maior diferença entre as espécies cujo amido de milho *in natura* apresentou uma exsudação de aproximadamente 25% e, para o amido de batata de aproximadamente 7%, diferença esta de aproximadamente 18%. Contudo, os melhores resultados foram verificados para os do amido de batata modificados a 55 °C e 60 °C, devido à menor liberação de água, de aproximadamente 3%. Também notou-se que os amidos de milho modificados a 55 °C e 60 °C apresentaram diferença de aproximadamente 36% e 51%, respectivamente.

5.3 PODER DE INCHAMENTO (PI)

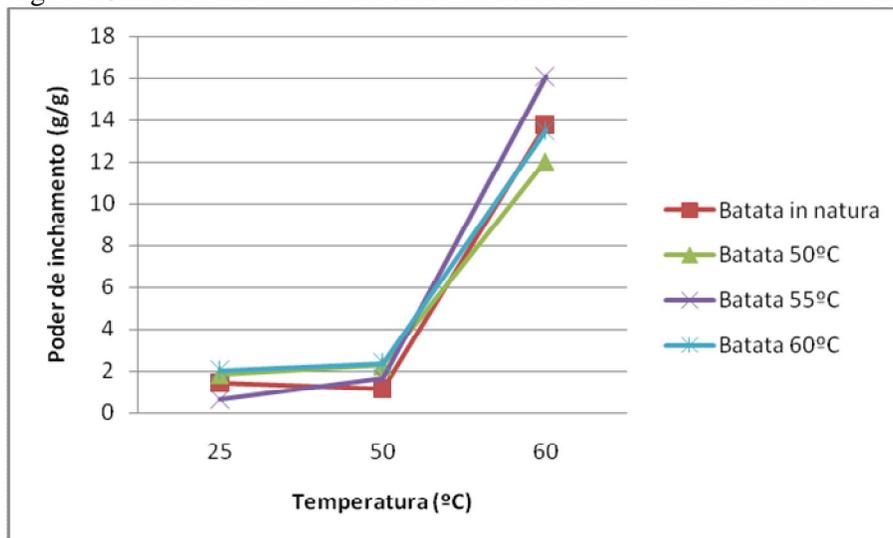
O poder de inchamento dos amidos de milho e batata *in natura* e modificados estão demonstrados pelas Figuras 12 e 13, respectivamente.

Figura 12 – Poder de inchamento do amido de milho *in natura* e modificado.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 13 – Poder de inchamento do amido de batata *in natura* e modificado.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com os resultados obtidos notou-se que todos os amidos apresentaram um elevado poder de inchamento nas temperaturas acima de 50 °C.

Nos amidos de milho modificados observou-se uma pequena diminuição a 90 °C em relação ao crescimento gradual. Segundo Sandhu *et al* (2007) esse acontecimento pode ser recorrente ao fato das cadeias que compõe o amido, principalmente a amilose, serem fragmentadas e assim formarem uma estrutura desorganizada que com o aumento da temperatura não mais retém água em seu interior.

Para o amido de milho *in natura* a interferência da temperatura no poder de inchamento foi observada a partir dos 50 °C, isso pode ser explicado em razão do grânulo de amido ter uma restrição ao inchamento, pois somente uma pequena quantidade de carboidratos é solubilizada durante a faixa de temperatura de gelatinização, porém a medida que a temperatura aumenta, ocorre a elevação do poder de inchamento e da quantidade de carboidratos que é lixiviada no grânulo (HASHIM *et al*, 1992).

Nas temperaturas de 25 °C e 60 °C foram observadas diferenças em relação às espécies de amido. Os amidos de batata apresentaram valores mais elevados quando comparados com os amidos de milho.

Nos amidos de batata *in natura* e modificados não foi possível proceder a análise em temperaturas de 70, 80 e 90 °C devido à gelatinização total das amostras. Porém, observou-se que esses amidos apresentam o mesmo comportamento.

Segundo Fennema (2000), as moléculas do grânulo de amido perante a elevada temperaturas resultam em vibrações superiores devido aos sítios liberados nas ligações intermoleculares que após o rompimento do grânulo unem-se à molécula de água.

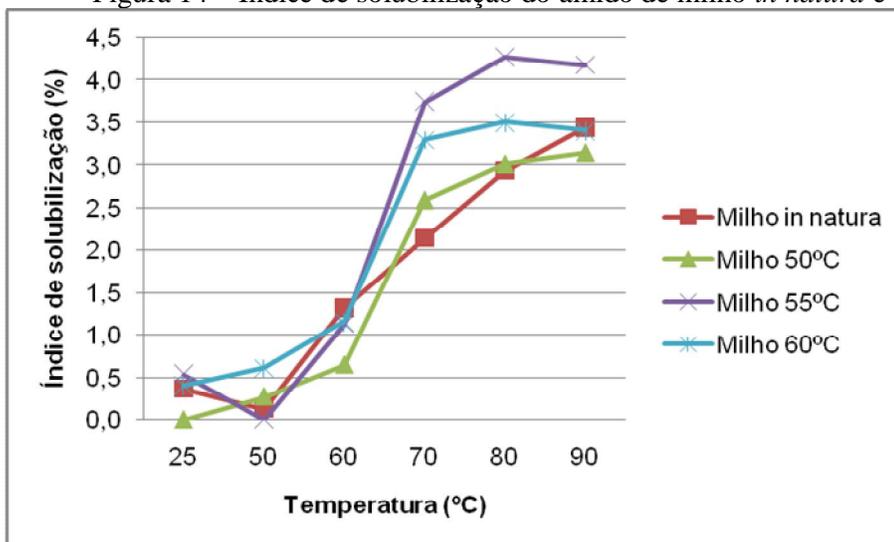
De acordo com Lawal (2004), a gelatinização do amido se deve à redução da região amorfa do grânulo, o que reduz o número de sítios disponíveis para estabelecimento de ligações com a molécula de água.

Segundo Marcon *et al* (2007) a discrepância nas porcentagens de amilose, amilopectina, tamanho e compactação de grânulos interferem diretamente na diferença encontrada nos valores de poder de inchamento para as espécies estudadas. Contudo variações genéticas, condições climáticas, de solo e fonte botânica vêm sendo demonstradas por estudos que também podem afetar as características reológicas, principalmente viscosidade, poder de inchamento e retrogradação.

5.4 ÍNDICE DE SOLUBILIZAÇÃO (IS)

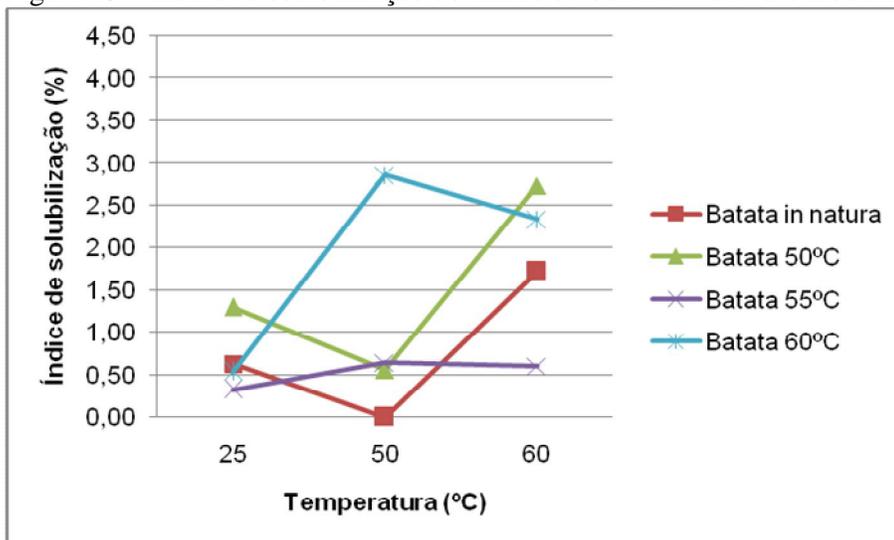
A constatação do índice de solubilização dos amidos *in natura* e modificados de milho e batata pode ser observada através das Figuras 14 e 15, respectivamente.

Figura 14 – Índice de solubilização do amido de milho *in natura* e modificado.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 15 – Índice de solubilização do amido de batata *in natura* e modificado.



Fonte: Elaborado pela autora.

O amido de milho *in natura* e modificado a 50 °C apresentaram um aumento no índice de solubilidade. Já os modificados a 55 °C e 60 °C tiveram um aumento e comportamento semelhante, mas houve uma queda no índice de solubilidade a 90 °C, isso pode ser explicado

devido ao maior conteúdo de amilose no milho do que na batata, já que segundo Marcon *et al* (2007) a solubilidade é um fator contribuinte na entrada de água no interior do grânulo pela amilose referente à fonte botânica.

Já os amidos de milho e de batata *in natura* apresentaram comportamentos semelhantes, ou seja, em ambos observou-se queda no índice de solubilidade a 50 °C e um grande aumento acima dessa temperatura.

Os amidos de batata *in natura* e modificado a 50 °C apresentaram comportamentos semelhantes, porém com os resultados obtidos não foi possível estabelecer uma relação entre o índice de solubilidade e o aumento da temperatura.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho concluiu que a modificação física de anelamento dos amidos de batata e de milho não apresentaram diferenças na sinerese após o primeiro dia de refrigeração, pois os resultados mostraram-se estáveis do segundo ao nono dia de tratamento, apresentando pequenas divergências entre o tempo e os tratamentos dos mesmos.

Os amidos de batata *in natura* e modificados possuem maior estabilidade aos ciclos de congelamento e descongelamento devido à menor liberação de água, com destaque para os amidos de batata modificados a 55 °C e 60 °C.

O poder de inchamento foi influenciado pela temperatura devido à capacidade de retenção da água dos amidos nativos e modificados e, nas temperaturas de 25 °C e 60 °C foram observadas diferenças em relação às espécies de amido, sendo que houve um aumento do poder de inchamento a partir dos 50 °C no amido de batata.

O valor encontrado para o índice de solubilidade (%) dos amidos de milho *in natura* e modificados foi menor ao encontrado para o de batata a 25, 50 e 60 °C, sendo que o resultado dos amidos modificados foi maior que dos amidos nativos, nas temperaturas estudadas.

REFERÊNCIAS

AACC - American Association Cereal Chemists. **Approved methods**. 8. ed. Saint Paul, 1995.

ADEBOWALE, K. O. et al. Effect of heat moisture treatment and annealing on physicochemical properties of red sorghum starch. **African Journal of Biotechnology**, v.4, n.9, p.928-933, 2005.

ALBRECHT, J. J.; NELSON, A. I.; STAINBERG, M. P. (1960) Characteristics of corn starch and starch derivatives as affected by freeze storage and thawing. **Food Technology**, 14, 1, 57-60.

ALEXANDER, R. J. New starches for food applications. **Cereal Foods World**, v.41, n.10, p.796-799, 1996.

AMANTE, E. R. **Caracterização de amidos de variedades de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) e de Batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Viçosa, 1986.

ASCHERI, D. P. R. **Acompanhamento do processo fermentativo através das características do polvilho e dos biscoitos elaborados**. Dissertação. ESAL, Lavras, 1992.

ASCHERI, D. P. R. et al. **Caracterização física e físico-química de rizomas e amido do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*)**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.40, n.2, p.159-166, 2010.

ÁVILA, A. C. et al. **Ocorrência de vírus em batata em sete estados do Brasil**. Horticultura Brasileira, vol.27 n.4, 2009.

BEMILLER, J. N. (1997). Starch modification: Challenges and prospects. **Starch/Stärke**, 49, 127 – 131.

BENINCA, C. **Emprego de técnicas termoanalíticas na análise de amidos nativos e quimicamente modificados de diferentes fontes botânicas**. 2008.74f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

BERMUDEZ, J. J. H. (1997). **Valorización de lãs amiláceas “no cereales” cultivadas em los países andinos: Estudio de lã propiedades fisicoquímicas y funcionales de sus almidones y de la resistência a diferentes tratamientos estresantes**. Colombia: Facultad de Ingenieria de los Alimentos. Universidad de Bogotá. 150p. Trabajo de grado.

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

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

BLANSHARD, J. M. V.; FRAZIER, P. J.; GALLIARD, T. (1987). Chemistry and physics of baking. **The Royal Society of Chemistry**, 276.

BLENNOW, A. et al. The distribution of covalently bound phosphate in the starch granule in relation to starch crystallinity. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.27, p.211-218, 2000b.

BRANDEMARTE, E.; FRANCO, C. M. L.; LOPES-FILHO, J. F. Physicochemical properties of maize starch obtained from intermittent milling and dynamic steeping (IMDS) under various steeping conditions. **Cereal Chemistry**, v. 81, n. 3, 369-376, 2004.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P.A. **Introdução à química de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, p. 59, 2003.

BULÉON, A. et al (1998). Starch granules: structure and biosynthesis. **International Biomacromolecules**, 23. 85-112.

CEREDA, M. P. (1983). Determinação de viscosidade da fécula fermentada de mandioca (polvilho azedo). **Boletim da Sociedade de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 17, 15-24.

CEREDA, M. P. et al. **Biotecnologia industrial**. In: Modificação de fécula por fermentação. São Paulo: Edgard Blücher. 2001. p.413-460, 2001.

____. **Propriedades gerais do amido**. In: Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, v. 1. São Paulo: Fundação Cargill, 2002.

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

CEREDA, M. P.; WOSIACKI, G. Characterization of pinhão starch. Part II. Rheological properties of the pastes. **Starch/Stärke**, v. 37, n. 12, p. 404-407, 1985.

CHUNG, H. J. et al. In vitro starch digestibility, expected glycemic index, and thermal and pasting properties of flours from pea, lentil and chickpea cultivars. **Food Chemistry**, v.111, p.316-321, 2008.

CREXI, Valéria Terra. **Apresentação de seminário**. Bagé: UNIPAMPA, 2014. 28 slides. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/1257562/>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. **Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas**. *Cienc. Rural* [online]. 2009, vol.39, n.3, pp.945-954. Epub Jan 09, 2009. ISSN 1678-4596. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-4782009005000003>.

DOLMATOVA, L. et al. **Identification of modified starch using infrared spectroscopy and artificial neural network processing**. *Society for Applied Spectroscopy*, Frederick, v. 52, n. 3, p. 329-338, 1998.

ELIASSON, A. C.; GUDMUNDSSON, M. Starch: Physicochemical and functional aspects. In: Eliasson, A-C (Ed). **Carbohydrates in food**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. p. 391-469.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 2009, 20 de maio. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em: 01 ago. 2016.

FRANCO, C. M. L. et al. **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, p. 224, 2001.

_____. **Culturas de Tuberosas amiláceas latino americanas – Propriedades gerais do amido**. Fundação Cargill, Campinas, 2002.

FENNEMA, O. **Química de los Alimentos**. 2ª Ed. Editorial Acribia. Espanha, 2000. 1258p.

GALLANT, D. J. et al. (1997). On ultrastructural and nutritional aspects of some tropical tuber starches. **Starch/Starke**. 34, 255-262.

GUINESI, L. S. et al. **Kinetics of thermal degradation applied to starches from different botanical origins by non-isothermal procedures**. *Thermochimica Acta*, Amsterdam. v. 447, p. 190-196, 2006.

GUNARATNE, A.; HOOVER, R. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. **Carbohydrate Polymers**, v.49, n.4, p.425-437, 2002.

HASHIM, D. B. (1992). The effect of low levels of antioxidants on the swelling and solubility of cassava starch. **Starch/Stärke**, v.44, n.3, p.471-475.

HERNÁNDEZ, M. M. et al. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.3, p.718-726, 2008.

HERNÁNDEZ, O.; EMALDI, U.; TOVAR, J. In vitro digestibility of edible films from various starch sources. **Carbohydrate Polymers**, v. 71, p. 648-655, 2008.

HOOVER, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, 49, 63-70.

HOOVER, R., VASANTHAN, T. The effect of annealing on the physicochemical properties of wheat, oat, potato and lentil starches. **Journal of Food Biochemistry**, v.17, p. 303-325, 1994.

HOSENEY, R. C.; ZELEZNAK, K.; LAI, C. S. (1986). Wheat gluten: A glassy polymer. **Cereal Chemistry**, 63, 285-286.

JACOBS, H. et al. Acid hydrolysis of native and annealed wheat, potato and pea starches – DSC melting features and chain length distributions of lintnerised starches. **Carbohydrate Research**, 308, 359-371, 1998

_____. Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources. **Cereal Chemistry**, v.72, n.5, p.480-487, 1995.

JACOBS, H.; DELCOUR, J. A.. "Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review." **Journal of agricultural and food chemistry**, 46.8 (1998): 2895-2905.

JAILLAIS, B. et al. **Outer-product analysis (OPA) using PLS regression to study the retrogradation of starch**, *Vibrational Spectroscopy*, v. 40, n. 1, p. 10-19, 2006.

JANE, J. et al. Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. **Starch/Stärke**, 46,0322-345, 1994.

____. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, v.76, n.5, p.629-637, 1999.

JAYAKODY, L.; HOOVER, R. Effect of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of starches from different botanical origins - A review, **Carbohydrate Polymers**, v. 74, n. 3, p. 691-703, 2008.

JOBLING, S. Improving starch for food and industrial applications. **Plant Biotechnology**, v.7, p. 210-218, 2004.

KATZ, J. R. (1928). **Gelatination and retrogradation of starch in relation to the problem of bread staling**. Comprehensive Survey of Starch Chemistry. Vol 1: 68pp

KRIEGER, K. M. et al. Thermal properties of corn starch extracted with different blending methods: micro blender and homogenizer. **Cereal Chemistry**, v.74, n.5, p.553-555, 1997.

KIM, Y. S. et al. Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. **Journal Food Science**, v.60, n.5, p.1060-1065, 1995.

KIM, Y. S.; WEISENBORN, P.; GRANT, I. A. Pasting and thermal properties of potato and bean starches. *Starch/Stärke*, v.49, p.97-102, 1997.

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

LAN, H. et al. Impact of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of normal, waxy and high amylose bread wheat starches. **Food Chemistry**, v. 111, n. 3, p. 663-675, 2008.

LAWAL, O. S. Composition, physicochemical properties and retrogradation characteristics of native, oxidised, acetylated and acid-thinned new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. **Food chemistry**, v. 87, n. 2, p. 205-218, 2004.

LEACH, H. W.; McCOWEN, L. D.; SCHOCH, T. J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, v.36, n.6, p.534-544, 1959.

LEE, Y.; HOWARD, L. R.; VILLALÓN, B.; J. **Food Sci.** 1995, 60, 473.

LEONEL, M. et al. (2005). Planting time, developmental stages and characteristics of roots and starch of *Pachyrhizus ahipa*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 62(6), 528-533.

LIANG, X.; KING, J. M. Pasting and Crystalline Property Differences of Commercial and Isolated Rice Starch with Added Amino Acids. **Journal of Food Science**, v. 68, p. 832-838, 2003.

LINDEBOOM, N. et al. Analytical, Biochemical and Physicochemical Aspects of Starch Granule Size, with Emphasis on Small Granule Starches: A Review. *Starch - Stärke*, [s.l.], v. 56, n. 34, p.89-99, abr. 2004. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/star.200300218>.
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, p.309-305, 2005.

LOPES, J. F.; RAMOS, A. P.; ROMERO, J. T. Difusividades da água, dióxido de enxofre e ácido láctico em grãos de milho durante a maceração para o processo de moagem úmida. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.9, n.4, p. 257-263, 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: Editora da UFSC, 2007. 101p.

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

MIAO, M.; ZHANG, T.; JIANG, B. Characterisations of kabuli and desi chickpea starches cultivated in China, **Food Chemistry**, 113, 1025–1032, 2009.

MOORE, C. O. et al. 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.

MORRISON, W. R. (1995). Starch lipids and how relate to starch granule structure and functionality. **Cereal Food World**. 40, 437-445.

MUCCILO, R. C. S. T. **Caracterização e avaliação de amido nativo e modificado de Pinhão mediante provas funcionais e térmicas**. 2009. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PARKER, R.; RING, S.g.. Aspects of the Physical Chemistry of Starch. **Journal Of Cereal Science**, [s.l.], v. 34, n. 1, p.1-17, jul. 2001. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/jcrs.2000.0402>.

PENG, G. et al. (2007). Modeling of water sorption isotherm for corn starch. **Journal of Food Engineering**, 80, 562-567.

REDDY, I.; SEIB, P. A. Modified Waxy Wheat Starch Compared to Modified Waxy Corn Starch. **Journal of Cereal Science**, v. 31, p. 25–39, 2000.

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

SANDHU, K. S.; SINGH, N.; LIM, S. T. (2007). A comparison of native and acid thinned normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, 40, 1527 – 1536.

SINGH, N. et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 81, n. 2, p.219-231, maio 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0308-8146\(02\)00416-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0308-8146(02)00416-8).

SINGH, N.; INOUCHI, N.; NISHINARI, K. (2006). Structural, thermal and viscoelastic characteristics of starches separated from normal, sugary and waxy maize. **Food Hydrocolloids**, 20, 923-935.

SINGH, V.; KAUR, L.; MCCARTHY, O. J. Hybrid dependent effect of lactic acid on corn starch yields. **Cereal chemistry**, v. 74, n.3, p. 249-253, 1997.

SMITH, A. M. The biosynthesis of the starch granule. **Biomacromolecules**, v. 2, p. 335–341, 2001.

SMITH, P. S. Starch derivatives and their use in foods. In: Lineback, D.R.; Inglett, G.E. **Food Carbohydrates**. Westport: Avi Publishing Company, p.237-269, 1982.

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

SRICHUWONG, S. et al. Starches from different botanical sources II: Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. **Carbohydrate Polymers**, v.62, n.1, p.25–34, 2005.

STAHL, J. A. et al. (2007). Physicochemical properties of Pinhão (*Araucaria angustifolia* Bert, O. Ktze) starch phosphates. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, 40. 1206-1214.

SUMERLY, R. et al. **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.

TABCHOURY, Cíntia Pereira Machado. **Apresentação de seminário**. Piracicaba: UNICAMP, 2014. 37 slides. Disponível em: < <http://slideplayer.com.br/slide/384494/>>. Acesso em: 11 jun. 2016.

TESTER, R. F. Starch: The polysaccharide fractions. In: FRAZIER, P. J.; RICHMOND, P.; DONALD, A. M. Starch: Structure and Functionality. London: **Royal Society of Chemistry**, 1997. p.163-171.

TESTER, R. F.; DEBON, S. J. J. Annealing of starch-a review. **Internacional Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v.27, p. 1-12, 2000.

TESTER, R. F.; DEBON, S. J. J.; SOMMERVILLE, M. D. Annealing of maize starch. **Carbohydrate Polymers**. v. 42, p.287-299, 2000.

TESTER, R. F; MORRISON W. R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. Effect of amylopectin, amylose and lipids. **Cereal Chemistry**, 67, 551 – 557. Vol. 3, cap. 15 em Tecnologia, Uso e Potencialidade de Tuberosas Amiláceas Latino

THOMAS, D. J.; ATWELL, W. A. **Starches: Practical Guides for the Food Industry**. Minnesota: Eagan Press, 1999. 94p.

TSAI, M. L.; LI, C. F.; LII, C. Y. Effects of granular structures on the pasting behaviors of starches. **Cereal Chemistry**, v.74, n.6, p.750-757, 1997.

VAN DER MAAREL, M. J. E. C. et al. Properties and applications of starch-converting enzymes of the α -amylase family. **Journal of Biotechnology**, v. 94, n. 2, p. 137-155, 2002.

VAN de BIJ, J. The analysis of starch derivatives. Examination and analysis of starch. London: **Applied Science Publisher**, p. 189, 1976.

VILPOUX, O. **Amidos adaptados ao uso nas indústrias de alimentos**. Fax/Jornal CERAT/UNESP, Botucatu, n. 70, p. 1-2, 1998.

XIAO, H. et al. Physicochemical properties of chemically modified starches from different botanical origin. **Scientific Research and Essays**, v.6, n.21, p.4517-4525, 2011.

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

ZHENG, G. H.; SOSULSKI, F. W. Physicochemical properties of small granule starches. **AACC Annual Meeting**, San Diego, 1997.

ZHONG, Z; SUN, S. Thermal characterization and phase behavior of corn starch studied by differential scanning calorimetry. **Journal of Food Engineering**, v. 69, p. 453-459, 2005.

ZHONG, F. et al. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 2, p. 406-414, 2009.

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, jul-ago, 2005.

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

WHITE, P. J.; ABBAS, I. R.; JOHNSON, L. A. (1989). Freeze-thaw stability and refrigerated-storage retrogradation of starches. **Starch**, 41, 176-181.

YAMIN, F. F. et al. Thermal properties of starch in corn variants isolated after chemical mutagenesis of inbred line B73 (1). **Cereal Chemistry**, v.76, n.2, p.175-181, 1999.