



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

RAFAEL MACHADO E SILVA CORONATO

**EFEITO DA GOMA GELANA EM SISTEMAS AMIDO-ÁGUA E
AMIDO-LEITE**

Londrina
2010

RAFAEL MACHADO E SILVA CORONATO

**EFEITO DA GOMA GELANA EM SISTEMAS AMIDO-ÁGUA E
AMIDO-LEITE**

Dissertação apresentada ao Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.

Orientadora: Profa. Maria Victória Eiras Grossmann.

Londrina
2010

RAFAEL MACHADO E SILVA CORONATO

**EFEITO DA GOMA GELANA EM SISTEMAS AMIDO-ÁGUA E AMIDO-
LEITE**

Dissertação apresentada ao Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.

.BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Maria Victória Eiras Grossmann.
UEL – Londrina – PR

Prof^a.Dra. Célia Maria Landi Franco
UNESP – SP

Prof^a.Dra. Adelaide del Pino Beléia
UEL – Londrina – PR

Londrina, 11 de agosto de 2010.

CORONATO, Rafael Machado e Silva. **Efeito da goma gelana em sistemas amido-água e Amido-Leite**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

RESUMO

O amido de mandioca constitui importante matéria prima na produção de diversos alimentos. Contudo, quando processado, pode apresentar algumas propriedades inadequadas para diversas aplicações industriais, tais como: viscosidade instável, excessiva coesividade e sinerese. Uma alternativa para amenizar essas desvantagens é a mistura do amido com hidrocolóides. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de 0,0; 0,05; 0,1; 0,2 ou 0,3% de goma gelana sobre as propriedades físicas e sensoriais, em pastas e géis de amido de mandioca. Foram determinadas as propriedades térmicas do amido puro e das diferentes misturas, através de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), propriedades de pasta, perfil de textura, sinerese e microestrutura de géis, e propriedades sensoriais através de teste de aceitação de géis de amido puro ou amido/goma gelana. A adição de goma gelana nas dispersões do SA (Sistema Água) e SL (Sistema Leite) deram origem a pastas com maior viscosidade, mas não aumentaram a estabilidade térmica (Breakdown). O leite melhorou a estabilidade térmica. Os géis de amido de mandioca, armazenados não apresentaram sinerese. A adição da goma apresentou pouco efeito nos géis do SA. No SL a adição da goma aumentou a adesividade, e diminuiu a elasticidade nas concentrações 0,1% e 0,3%. A microscopia revelou uma estrutura mais uniforme no SL em relação ao SA. A análise sensorial indicou o gel Padrão (SL) como o de maior aceitação, a presença da goma não tornou o gel sensorialmente mais apreciável. A presença do leite, nas pastas do SL, dificultou o processo de gelatinização.

Palavras-chave: Amido de mandioca. Goma gelana. Sinerese. Propriedades de pasta. Perfil de textura. Microscopia ótica. Reômetro.

CORONATO, Rafael Machado e Silva. **Gellan gum effect in starch- water and starch–milk systems**. 2010. 79 f. Dissertation (Master's Degree in Food Science) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

ABSTRACT

The cassava starch is an important ingredient in the production of various foods. However, when processed, it can present some properties unsuitable for many industrial applications, such as unstable viscosity, cohesiveness and excessive syneresis. An alternative to reduce those disadvantages is the mixture of starch with hydrocolloids. The aim of this study was to evaluate the effect of 0.0; 0.05, 0.1, 0.2 or 0.3% (p/p) gellan gum on the physical and sensory properties of pastes and gels of cassava starch in water and in milk systems. The thermal properties of pure starch and different mixtures were determined by Differential Scanning Calorimetry (DSC). Pasting properties, texture profile, microstructure and syneresis of gels were also studied. Sensory properties of pure starch gels or starch/gellan gels were evaluated through acceptance test.. The addition of gellan gum dispersions in the water system (WS) and milk system (MS) gave rise to pastes with higher viscosity, but did not increase the thermal stability (breakdown). The milk has improved thermal stability. The cassava starch gels stored under refrigeration showed no syneresis. The addition of gellan gum had little effect on the WS gels. In MS the addition of gellan increased adhesiveness and decreased elasticity, at concentrations of 0.1% and 0.3%. Microscopy revealed a more uniform structure of gels in MS compared to WS. The sensory analysis indicated the control gel (MS) as the most widely accepted; the presence of gum did not improve the acceptability. The presence of milk in the pastes of the MS, delayed the gelatinization process.

Keywords: Cassava starch. Gellan gum. Syneresis. Paste properties. Texture profile. Microscopy. Rheoscopy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Estrutura molecular da amilose.....	11
Figura 2 –	Estrutura molecular da amilopectina	12
Figura 3 –	Diagrama da estrutura molecular da amilopectina, demonstrando a arquitetura do cluster.....	13
Figura 4 –	Representação esquemática da estrutura do grânulo de amido.	13
Figura 5 –	Representação da estrutura das moléculas de amilose e de amilopectina.	15
Figura 6 –	Representação do complexo amilose ácido graxo, demonstrando a inclusão da parte alifática no centro da hélice da amilose.....	16
Figura 7 –	Estrutura do grânulo de amido de mandioca através da microscopia ótica.	23
Figura 8 –	Textura longa em pasta de amido de mandioca.	25
Figura 9 –	Estrutura da caseína observada e microscopia de varredura eletrônica.	26
Figura 10 –	Monômeros que compõem a lactose.	27
Figura 11 –	Unidade tetrassacarídica na molécula de gelana.....	28
Figura 12 –	Estrutura nativa da goma gelana (com alto nível de acila).....	29
Figura 13 –	Representação esquemática do processo de geleificação da goma.	32
Figura 14 –	Esquema para os modelos de gelificação, convencional e fibrilar, da goma gelana.....	33
Figura 15 –	Viscogramas das pastas de amido de mandioca puro e adicionado de gelana, em diferentes concentrações, no sistema água (SA).....	42
Figura 16 –	Viscogramas das pastas de amido de mandioca puro e adicionado de gelana, em diferentes concentrações, no sistema leite (SL).	42

- Figura 17** – Imagens da microestrutura capturadas através de microscópio de varredura eletrônica (MEV) dos géis de: (a₁), (a₂), amostra P (a 5%) no SA; (b₁), (b₂), amostra P (a 5 %) no SL; (c₁), (c₂) amostra A+ G 0,2 (SA); (d₁), (d₂), e amostra A+G 0,2 (SL).....55
- Figura 18** – Comparação da temperatura de início (T₀), de pico (T_p), final (T_F), e da entalpia de gelatinização (ΔH) entre as amostras padrão e os tratamentos contendo 0,2% de gelana, em água ou em leite.....60
- Figura 19** – Imagens dos grânulos de amido da amostra P (SA) durante o aquecimento no reômetro.63
- Figura 20** – Imagens dos grânulos de amido da amostra A+G 0,2 (SA) durante o aquecimento no reômetro..64
- Figura 21** – Imagens dos grânulos de amido da amostra P (SL) durante o aquecimento no reômetro..65
- Figura 22** – Imagens dos grânulos de amido da amostra A+G 0,2 (SL) durante o aquecimento no reômetro.66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Característica da viscosidade de pasta para amido de batata doce (6,4%) na presença de goma gelana (0,6%).	34
Tabela 2 –	Médias dos parâmetros vicoamilográficos das amostras padrão e das misturas amido/gelana em água (SA) ou em leite (SL).	41
Tabela 3 –	Porcentagem de sinerese em géis contendo amido (5%) e amido/gelana, nos SA e SL.	46
Tabela 4 –	Análise de perfil de textura (APT) dos géis padrão (5% de amido) e os que continham amido / gelana em SA ou SL.	49
Tabela 5 –	Representação esquemática do efeito da adição crescente da gelana no SA e SL.	50
Tabela 6 –	Médias das notas atribuídas aos parâmetros no teste de aceitação para as amostras padrão no SA e no SL e para as amostras adicionadas de 0,2% de goma gelana.	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO	11
2.1	AMIDO	11
2.2	PROPRIEDADES DO AMIDO	14
2.2.1	Gelatinização	17
2.2.2	Intumescimento e Colapso do Grânulo	17
2.2.3	Retrogradação e Sinerese	18
2.2.4	Geleificação	19
2.2.5	Propriedades Reológicas do Amido	19
2.2.5.1	Propriedades de pasta ou viscoamilográficas	20
2.2.5.2	Perfil de textura	21
2.3	A CULTURA E O AMIDO DE MANDIOCA	22
2.4	LIMITAÇÕES DO AMIDO DE MANDIOCA	24
2.5	O LEITE	25
2.6	GOMAS OU HIDROCOLÓIDES	27
2.6.1	A Goma Gelana	28
2.7	PROPRIEDADES DA GOMA GELANA	30
2.7.1	Modificador de Textura	30
2.7.2	Agente Estabilizante	30
2.7.3	Agente Geleificante	31
2.8	INTERAÇÃO AMIDO GOMA GELANA	34
3	OBJETIVOS GERAIS	36
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	36
4	MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1	MATERIAL	37
4.2	MÉTODOS	37
4.2.1	Propriedades de Pasta	37
4.2.2	Preparação dos Géis	37
4.2.3	Sinerese	38

4.2.4	Análise de Perfil de Textura (APT) dos Géis	38
4.2.5	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	39
4.2.6	Análise Sensorial – Teste de Aceitabilidade.....	39
4.2.7	Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	40
4.2.8	Análise Microscópica do Grânulo x Viscosidade em Reômetro (Rheoscopy)	40
5	RESULTADOS	41
5.1	PROPRIEDADES DE PASTA.....	41
5.2	SINERESE	45
5.3	ANÁLISE DE PERFIL DE TEXTURA (APT)	49
5.4	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	53
5.5	ANÁLISE SENSORIAL.....	58
5.6	CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC).....	60
5.7	ANÁLISE DE ESTRUTURA DO GRÂNULO X VISCOSIDADE EM REÔMETRO (RHEOSCOPY).....	62
6	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS	71
	ANEXOS	76
	ANEXO A	77
	ANEXO B	79

1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot Esculenta Crantz*) é uma raiz tuberosa de grande importância alimentícia, pois oferece matéria prima abundante a um baixo custo. O amido extraído da cultura da mandioca é amplamente utilizado na indústria de alimentos, como espessante e agente geleificante em alimentos como: snacks, sobremesas, polpa de frutas, sopas, molhos e cremes.

Apesar de sua importância, o uso do amido de mandioca em alimentos como molhos, pudins, maionese ou recheios é limitado, pois, ao formar pasta, apresenta alta coesividade, que lhe confere textura longa, de baixa aceitação sensorial. A pasta de amido de mandioca apresenta baixa estabilidade da viscosidade à temperatura e ao cisalhamento, e pode apresentar sinerese ao ser resfriada. Uma alternativa para amenizar estas limitações é a mistura com hidrocolóides.

Os hidrocolóides, ou gomas, são polissacarídeos que solubilizam ou dispersam em água e são adicionados em alimentos agindo como espessantes, controladores e/ou modificares de textura de líquidos e bebidas, além de agentes estabilizantes. A goma gelana é uma goma relativamente nova que na presença de cátions é capaz de formar gel mesmo em baixas concentrações. A goma gelana é estabilizante da viscosidade em pastas de amido, é utilizada como modificador de textura além de contribuir para realçar o sabor em alimentos.

Desta forma o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da aplicação de 0,0; 0,05; 0,1; 0,2 ou 0,3% de goma gelana sobre as propriedades físicas e sensoriais, em pastas e géis de amido de mandioca em SA ou SL. Devido a suas características espera-se que a goma seja capaz de melhorar a estabilidade da pasta e do gel de amido de mandioca, além de melhorar a aceitação dos produtos a base de amido, através da diminuição da coesividade na pasta de amido e ao realçar o sabor nos géis. Reduzindo assim as limitações da aplicação do amido na indústria de alimentos.

2 REVISÃO

2.1 AMIDO

O amido é um homopolissacarídeo constituído de unidades de α -D-glucopiranosose, interligadas por ligações glicosídicas, e é constituído por dois tipos de polímeros: a amilose e a amilopectina.

A amilose é formada por cadeias longas, essencialmente não ramificadas (Figura 1), de unidades de D-glucopiranosose ligadas em α (1 \rightarrow 4), com massa molar variando de poucos milhares a mais de um milhão. Cada unidade forma um ângulo de 60° com a unidade anterior e a estrutura helicoidal apresenta 6 resíduos por volta (LEHNINGER, 2006). O centro da hélice de amilose é hidrofóbico e pode formar complexos com cadeias lineares hidrofóbicas, enquanto a superfície da hélice apresenta os grupamentos hidroxila, e apresenta caráter hidrofílico (BEMILLER; WHISTLER, 1996).

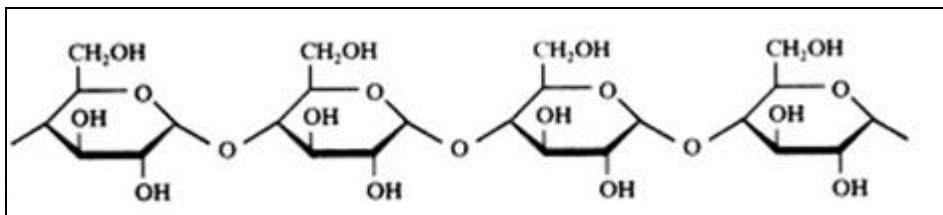


Figura 1 – Estrutura molecular da amilose.
Fonte: Ophardt (2003).

Uma característica amplamente encontrada na literatura a respeito da molécula de amilose é que ela não apresenta ramificação, contudo, as moléculas de amilose apresentam ramificações α 1 \rightarrow 6, sendo que o conteúdo destas aumenta continuamente em função do peso molecular do polímero (BULÉON et al., 1998). As ramificações ocorrem a cada 180-320 unidades monoméricas, correspondendo a 0,3 a 0,5% das ligações entre os monômeros. As ramificações podem ser longas ou curtas, mas como são separadas por uma grande distância as propriedades físicas

das moléculas de amilose são as de um polímero essencialmente linear. (BEMILLER; WHISTLER, 1996).

A amilopectina apresenta alta massa molecular, mas sua estrutura é bastante ramificada (Figura 2). As ligações glicosídicas entre as unidades sucessivas de D-glucopiranosose na amilopectina são α (1 \rightarrow 4) com ramificações α (1 \rightarrow 6), a cada 24 a 30 unidades monoméricas (LEHNINGUER, 2006). Suas ramificações compõem entre 4 e 5 % do total das ligações entre os monômeros (BEMILLER; WHISTLER, 1996).

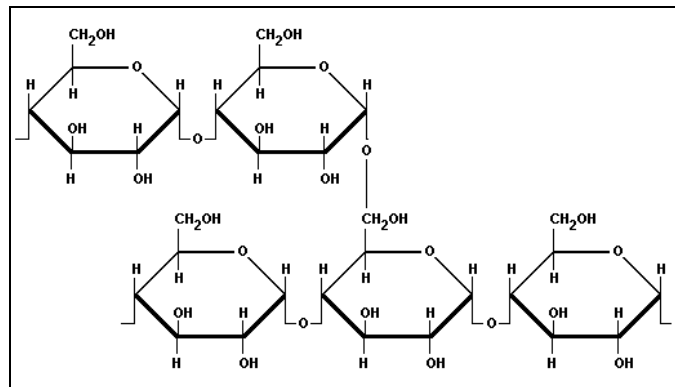


Figura 2 – Estrutura molecular da amilopectina.
Fonte: Ophardt (2003).

A amilopectina contém uma cadeia principal com um terminal redutor, que é chamada de cadeia C, que apresenta muitas ramificações; estas ramificações são denominadas cadeias B. As cadeias B, por sua vez, apresentam outras ramificações que são denominadas cadeias A, que não carregam nenhuma ramificação. (Figura 3). As ramificações da molécula de amilopectina encontram-se agrupadas (clusters) e ocorrem em dupla hélice. A massa molar da amilopectina varia entre 10^7 e 5×10^8 (BEMILLER; WHISTLER, 1996).

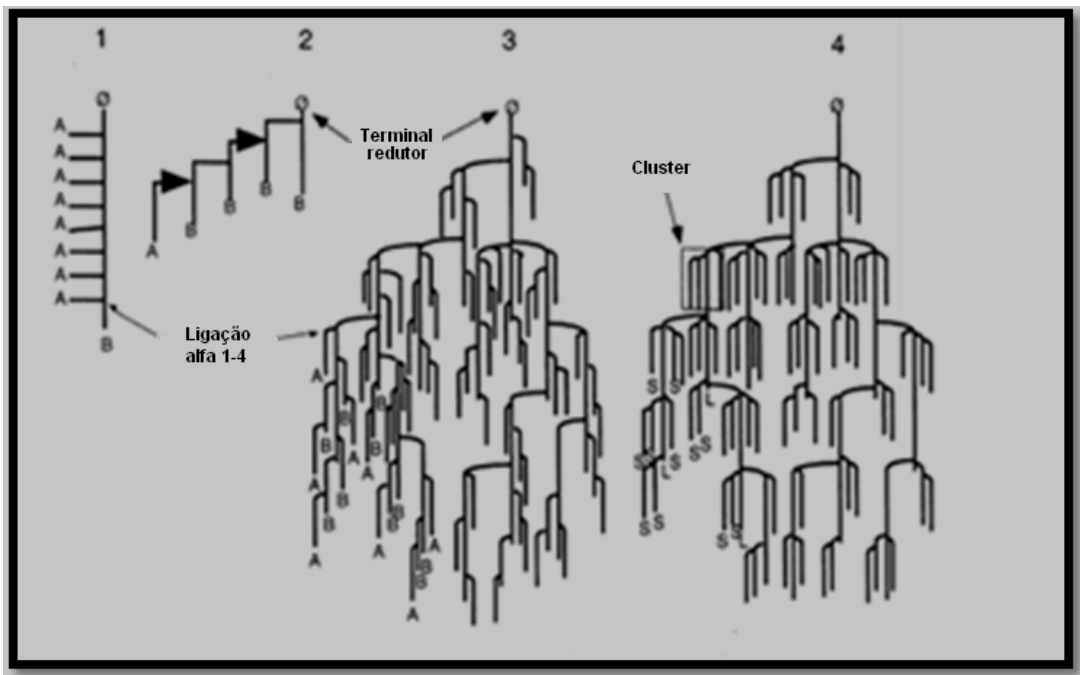


Figura 3 – Diagrama da estrutura molecular da amilopectina, demonstrando a arquitetura do cluster.

Fonte: Buléon et al. (1998).

As moléculas de amilose e amilopectina, no amido, apresentam-se compactadas, formando uma estrutura denominada grânulo de amido. Os grânulos apresentam-se no estado semicristalino, com cristais polimórficos e diferentes graus de cristalinidade, conforme a estrutura apresentada na Figura 4:

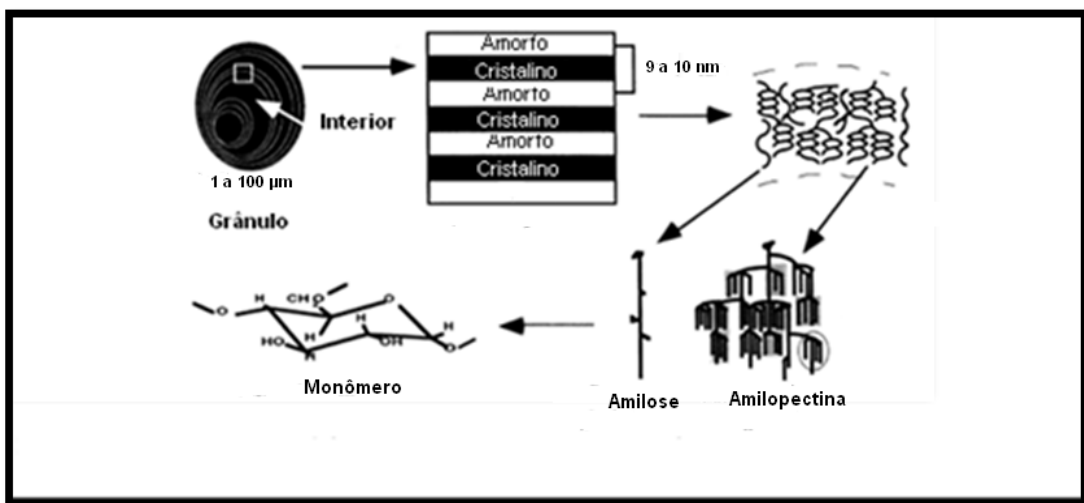


Figura 4 – Representação esquemática da estrutura do grânulo de amido.

Fonte: Buléon et al. (1998).

O grânulo de amido é relativamente denso e insolúvel e se hidrata levemente em água fria, isto ocorre devido a sua capacidade de formar pontes de hidrogênio inter e intra cadeia, que dão origem a sua estrutura cristalina. Esta estrutura cristalina é responsável pela sua insolubilidade. O aumento da viscosidade ocorre apenas quando o grânulo de amido é submetido ao cozimento (BEMILLER; WHISTLER, 1996).

O tamanho e a forma do grânulo podem auxiliar na identificação da origem botânica (BOBBIO; BOBBIO, 2001). O tamanho do grânulo também influencia o processo de intumescimento e determina o início da gelatinização (MANDALA; BAYAS, 2003). As propriedades de gelatinização e de pasta, a suscetibilidade enzimática, a cristalinidade, o intumescimento e a solubilidade são afetados pelo tamanho e pela forma do grânulo (LINDERBOOM; CHANG; TYLER, 2004).

2.2 PROPRIEDADES DO AMIDO

Nas plantas, o amido serve como forma de armazenamento dos monossacarídeos empregados como combustível pelas células e é, especialmente, abundante nos tubérculos, como as batatas, e nas sementes, como os grãos de milho (LEHNINGER, 2006). No corpo humano, o amido é naturalmente digerido através de ação enzimática, liberando suas unidades monoméricas de D-glucopiranoose, que são fonte de 70 a 80% das calorias da dieta humana. (BEMILLER; WHISTLER, 1996).

As moléculas de amido aquecidas podem ser altamente hidratadas, pois expõem seus grupos hidroxila, e formam pontes de hidrogênio com a água (LEHNINGUER, 2006). Cada grupo hidroxila do monômero de D-glucopiranoose tem a possibilidade de fazer ligação de hidrogênio com uma ou mais moléculas de água. O oxigênio do anel piranosídico e o oxigênio da ligação glicosídica também podem formar ligação de hidrogênio (BEMILLER; WHISTLER, 1996).

O amido é bastante utilizado em alimentos como componente natural, ou como ingrediente, sendo empregado para modificar ou controlar a

mobilidade da água nos sistemas alimentícios. Juntos, amido e água controlam muitas propriedades funcionais dos alimentos como, por exemplo, a textura. Nos alimentos o amido possui diversas aplicações incluindo as de: adesão, ligação, aumento de turbidez, formador de filmes, formador de espuma, agente geleificante, retenção de umidade, estabilizante, modificador de textura e espessante (BEMILLER; WHISTLER, 1996).

Conforme a origem botânica, o amido pode apresentar diferentes concentrações dos componentes amilose e amilopectina, o que irá influenciar no comportamento do grânulo submetido aos processos de gelatinização, retrogradação ou geleificação. Por isso, é importante saber o tipo de amido que se está utilizando na elaboração de um alimento.

Existem indícios de que a amilose hidratada é mais móvel que a amilopectina, quando submetidas às mesmas condições. Quando se trata de amilose e amilopectina de mesmo peso molecular, ao se moverem, a amilose cobre área de superfície muitas vezes maior, o que confere maior viscosidade à solução (BOBBIO; BOBBIO, 2001). Isto ocorre porque as moléculas de polímeros lineares, como as da amilose, em solução, ocupam um grande espaço enquanto as moléculas altamente ramificadas, como a da amilopectina, irão ocupar um menor espaço devido à sua conformação (BEMILLER; WHISTLER, 1996).

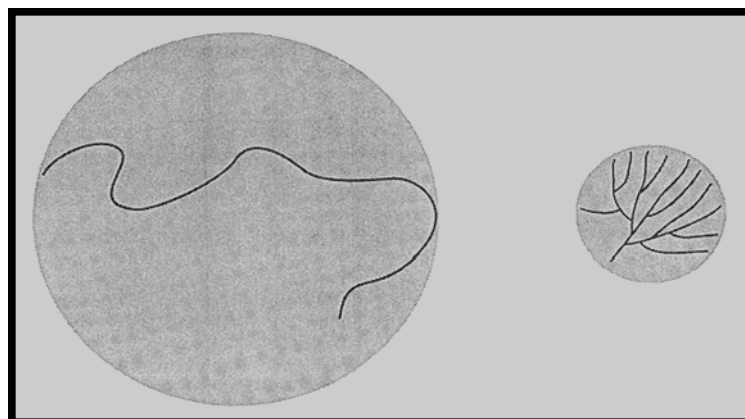


Figura 5 – Representação da estrutura das moléculas de amilose e de amilopectina.

Fonte: Bemiller e Whistler (1996).

Estudos demonstram que o grânulo de amido apresenta-se associado a outros componentes, como lipídios, fósforo ou proteínas, sendo que os lipídios representam a mais importante fração associada. O amido originado de raízes, tubérculos ou cereais, diferem quanto à associação com estes componentes. Monoacil lipídios irão induzir a formação de complexos amilose/ lipídio durante a gelatinização, o que irá restringir o intumescimento e a dispersão do grânulo, além de restringir a solubilização da amilose, gerando pastas opacas, com viscosidade reduzida e aumentando a temperatura de pasta. Nos complexos amilose/lipídio, a parte alifática do lipídio encontra-se no interior dos espirais de amilose, conforme apresentado na Figura 6 (BULÉON et al., 1998).

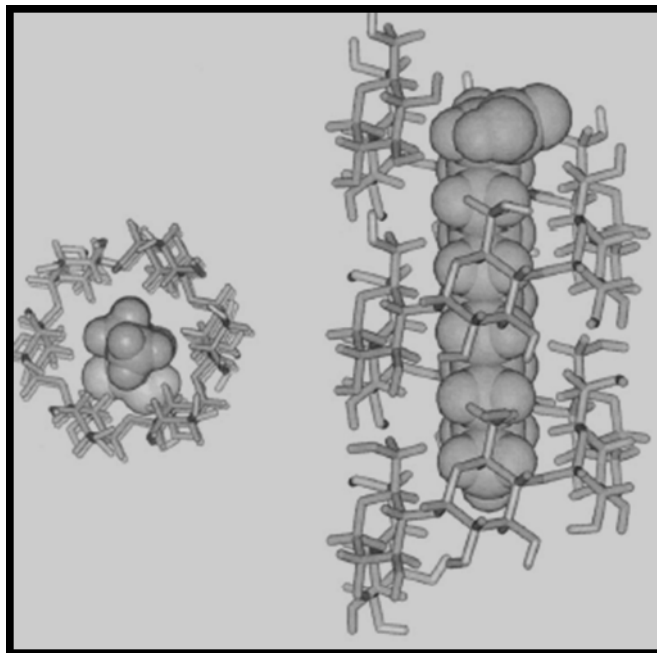


Figura 6 – Representação do complexo amilose ácido graxo, demonstrando a inclusão da parte alifática no centro da hélice da amilose.

Fonte: Buléon et al. (1998).

2.2.1 Gelatinização

O grânulo de amido, quando aquecido na presença de excesso de água, passa por transição do estado ordenado para o desordenado. Este processo é chamado gelatinização e corresponde ao rompimento das pontes de hidrogênio dentro do grânulo (HOOVER, 2001). Durante a gelatinização do grânulo, ocorre o intumescimento irreversível, a perda da birrefringência e das zonas cristalinas e a lixiviação da amilose. A temperatura na qual a gelatinização ocorre é dependente do tipo de amido. A Calorimetria Exploratória Diferencial conhecida pelas siglas DSC (Differential Scanning Calorimetry) é uma técnica utilizada para análise da transição de fases em sistemas amido/água, pois permite o estudo da gelatinização em diferentes relações amido/água. Além disso, possibilita determinar a gelatinização em temperaturas superiores a 100°C e é capaz de estimar a entalpia de transição (BILIADERIS; MAURICE; VOSE, 1980)

A gelatinização do amido é importante na aplicação industrial. Processos como o cozimento de pães e bolos, a geleificação em salsichas e a produção de recheios de tortas são dependentes da gelatinização do amido (BILIADERIS; MAURICE; VOSE, 1980).

2.2.2 Intumescimento e Colapso do Grânulo

Uma das principais propriedades do amido é a sua capacidade de intumescimento, que é a capacidade do grânulo de absorver água e aumentar de volume, devido ao rompimento das pontes de hidrogênio de sua estrutura interna. A capacidade de intumescimento do grânulo depende dos fatores temperatura, disponibilidade de água, pH do meio, forças de cisalhamento, e, no caso de soluções, da interação do amido com os demais componentes como gomas ou proteínas.

O tamanho inicial do grânulo também irá influenciar o intumescimento, determinando a temperatura de gelatinização. Bemiller e Whistler

(1996), afirmam que os grânulos maiores geralmente gelatinizam primeiro, contudo, Mandala e Bayas (2003), afirmam o oposto. Yonemoto, Calori-Domingues e Franco (2007), avaliaram grânulos grandes ($>15 \mu\text{m}$) e pequenos ($\leq 10 \mu\text{m}$) de amido de trigo, e concluíram que os pequenos apresentaram maiores temperaturas de gelatinização e menor poder de intumescimento. Além do tamanho, fatores como cristalinidade e teor de amilose do grânulo influenciam no processo de intumescimento.

O grânulo de amido, ao intumescer, está sujeito a absorver água além da quantidade que sua estrutura suporta e, nestes casos, ocorre o rompimento granular (ROJAS; ROSSEL; BARBER, 1999), o que resulta na diminuição da viscosidade da pasta de amido e na formação de uma massa constituída por uma fase contínua de amilose e amilopectina solubilizada e uma fase descontínua de resquícios do grânulo (BEMILLER; WHISTLER, 1996).

2.2.3 Retrogradação e Sinerese

As pastas de amido, quando resfriadas, geralmente formam um gel vicoelástico, firme e rígido. Isto ocorre porque os segmentos lineares das moléculas de amilose, dissolvidas na pasta, ao colidirem formam ligações intermoleculares que dão origem a uma estrutura capaz de abranger maiores distâncias. A interação entre as moléculas lineares aderidas formam uma nova zona cristalina. Quando esta zona cristalina atinge determinado tamanho ela precipita por ação da gravidade. Este processo denomina-se retrogradação. As moléculas de amilopectina também se reaproximam, mas sua retrogradação é muito mais lenta (BEMILLER; WHISTLER, 1996). Gudmundsson (1994), afirma que a amilopectina é responsável pelas mudanças reológicas de longo termo (longo armazenamento), enquanto a amilose é responsável pelas mudanças de curto termo (curto armazenamento). O teor de água e a temperatura de armazenamento também influenciam a retrogradação.

Quando alimentos contendo amido são submetidos a congelamento e descongelamento, sua estrutura torna-se mais rígida, como resultado da retrogradação, que é acelerada pelo congelamento/descongelamento. A

retrogradação em pastas de amido eventualmente libera água e esta liberação denomina-se sinerese (KANG; SUPHANTHARIKA, 2006). A sinerese, normalmente, aumenta conforme aumenta o número de ciclos de congelamento/descongelamento (MUADKLAY; CHARIENREIN, 2008).

2.2.4 Geleificação

Géis são redes contínuas, tridimensionais, de moléculas ou partículas conectadas, que contêm um grande volume de fase líquida, como ocorre em uma esponja. A estrutura tridimensional do gel oferece resistência a estresse, o que faz com que o gel se comporte como um sólido elástico, mas o meio líquido onde as moléculas têm completa mobilidade torna o gel menos duro que um sólido, tornando-o semelhante a um líquido viscoso. A firmeza do gel de amido depende da intensidade das zonas de junção que são formadas (BEMILLER; WHISTLER, 1996). Na formação e na dureza dos géis de amido, além da natureza do amido e de sua concentração, influenciam o pH, o açúcar, as proteínas, as gorduras e os sais presentes. O pH pode até impedir a formação de gel, como ocorre em meios ácidos, devido à hidrólise do amido (BOBBIO; BOBBIO, 2001).

A estabilidade de gel em sistemas alimentícios depende da massa molecular, da concentração e da afinidade dos elementos coloidais na pasta (CHRISTIANSON, 1982).

2.2.5 Propriedades Reológicas do Amido

Reologia é a parte da físico-química que investiga as propriedades e o comportamento mecânico de corpos ao sofrerem uma deformação (sólidos elásticos) ou um escoamento (fluido-líquido ou gás) devido à ação de uma tensão de cisalhamento, ou seja de uma força que age tangencialmente à superfície do material, e também pode ser chamada de força cortante. Muitos sistemas,

principalmente os de natureza coloidal, apresentam um comportamento intermediário entre esses dois extremos, apresentando tanto características viscosas como elásticas. Esses materiais são chamados de viscoelásticos (MINATTI, 2007).

O comportamento reológico dos sistemas contendo amido é influenciado pelo intumescimento do grânulo e lixiviação da amilose.

2.2.5.1 Propriedades de pasta ou viscoamilográficas

Viscosidade pode ser definida como a capacidade de uma amostra fluir, por unidade de força, em um determinado tempo (SZCZESNIAK, 2002). As moléculas de amilose, em solução, devido ao seu caráter linear, giram e flexionam envolvendo um grande espaço, colidindo umas com as outras, gerando fricção, e através disto, aumentando a viscosidade. Por esta razão, moléculas de amilose produzem soluções de alta viscosidade mesmo em baixas concentrações (BEMILLER; WHISTLER, 1996).

O efeito do intumescimento do grânulo de amido e da lixiviação da amilose sobre a viscosidade, quando uma suspensão de amido é submetida a tratamento térmico e ao cisalhamento, pode ser avaliado com o emprego do viscógrafo Brabender. Este aparelho mede a viscosidade da pasta de amido em Unidades Brabender (UB). Os parâmetros comumente determinados através do viscógrafo são:

- a) **Temperatura de pasta** (°C): temperatura em que ocorre o primeiro aumento da viscosidade devido ao processo de intumescimento do grânulo de amido, registrado pelo viscógrafo.
- b) **Temperatura de viscosidade máxima** (°C): temperatura em que a pasta atinge o valor máximo de viscosidade. É um parâmetro importante, pois, na maior parte dos casos, é necessário passar por este estágio durante o cozimento, para obter uma pasta de amido a ser utilizada em alimentos (TIPPLES et al., 1980).

- c) **Viscosidade máxima** (UB): corresponde ao ponto de maior viscosidade da pasta devido ao intumescimento do grânulo. Reflete a habilidade do grânulo de amido de intumescer livremente antes de colapsar (ROJAS; ROSSEL; BARBER, 1999).
- d) **Viscosidade após permanência na temperatura máxima** (UB): corresponde à viscosidade após a permanência (20min) da amostra sob a temperatura máxima (95°C). Este ponto ilustra a estabilidade da viscosidade da pasta durante o cozimento (TIPPLES et al.,1980).
- e) **Viscosidade após o resfriamento** (UB): corresponde à viscosidade após a pasta ser submetida a resfriamento (10min) a 50°C.
- f) **Breakdown** (UB): diferença entre a viscosidade máxima e a viscosidade após permanência por 20 min a 95°C.
- g) **Setback**: diferença entre a viscosidade após o resfriamento a 50°C e a viscosidade após permanência por 20 min a 95°C.

2.2.5.2 Perfil de textura

O amido é muito utilizado na produção de sobremesas, principalmente lácteas, pelas suas propriedades de espessante e geleificante. Nestas, a textura é uma das características mais importantes.

Textura é a percepção sensorial e funcional das propriedades estruturais, mecânicas e de superfície. A análise de perfil de textura envolve a compressão da amostra, pelo menos duas vezes, e quantifica os parâmetros mecânicos através de curva de deformação mecânica (SZCZESNIAK, 2002).

Os parâmetros comumente avaliados na análise de perfil de textura são (SZCZESNIAK, 2002):

- a) **Dureza ou firmeza:** é a força necessária para produzir certa deformação. Simula a força necessária para comprimir o alimento entre os dentes molares (caso de sólidos) ou entre a língua e o céu da boca (no caso de semi-sólidos).
- b) **Adesividade:** trabalho necessário para superar as forças de atração entre a superfície do alimento e a superfície do outro material que está em contato com o alimento. Simula a força requerida para remover o material que adere na boca (geralmente no céu da boca).
- c) **Coesividade:** extensão a que o material pode ser deformado antes da ruptura. Simula o quanto o alimento pode deformar entre os dentes, durante a compressão da mordida, antes de romper.
- d) **Elasticidade:** velocidade em que um material deformado retorna a sua conformação inicial, após cessada a força de deformação. Simula a velocidade em que o alimento retorna a sua conformação inicial após ser comprimido entre os dentes.
- e) **Gomosidade:** energia necessária para desintegrar um alimento semi-sólido para que ele atinja o estado no qual será deglutido (produto da dureza pela coesividade).

2.3 A CULTURA E O AMIDO DE MANDIOCA

A mandioca (*Manihot Esculenta Crantz*) é uma raiz tuberosa de grande importância alimentícia. Esta espécie concentra suas reservas na forma de amido e, por isso, constitui uma importante matéria prima para extração de amido em diversas regiões do mundo, como o Brasil, a Tailândia e alguns países da África. Nestas regiões, a cultura apresenta a vantagem de oferecer matéria prima abundante a um baixo custo. O amido de mandioca é amplamente utilizado pela indústria de alimentos.

Na indústria, o amido de mandioca é utilizado em diversos alimentos, como: snacks, macarrão ou sobremesas (HONGSPRABHAS;

ISRAKARN; RATTANAWATTANAPRAKIT, 2007). Tem sido incorporado em alimentos congelados (polpa de frutas, sopas, molhos e cremes) (KANG; SUPHANTHARIKA, 2006) e possui várias utilizações, como espessante e agente geleificante (CHAIWANG; SUPHANTHARIKA, 2006).

O amido de mandioca apresenta grânulo de aproximadamente 15 μm , e de forma arredondada truncada (HONGSPRABHAS; ISRAKARN; RATTANAWATTANAPRAKIT, 2007) (Figura 7), com baixo teor de fósforo, que se encontra principalmente na forma de monoéster (PERONI; ROCHA; FRANCO, 2006).

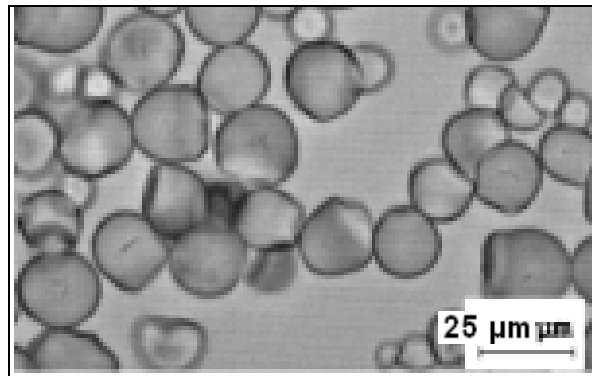


Figura 7 – Estrutura do grânulo de amido de mandioca através da microscopia ótica.

Fonte: Peroni, Rocha e Franco (2006).

O grânulo de amido de mandioca caracteriza-se por apresentar baixo teor de amilose, quando comparado aos amidos de cereais. Peroni, Rocha e Franco (2006), encontraram teor de 19,8%. Muadklay e Charienrein (2008), encontraram o valor de 22,16%. Hoover (2001) avaliou mais de uma variedade de mandioca e encontrou valores entre 18,6 e 25,6%. Além da variedade, fatores como diferentes métodos de análise podem resultar nestas pequenas variações.

O amido de mandioca demonstra um aumento gradual do poder de intumescimento com o aumento de temperatura, o que sugere que possui fracas forças de associação interna que mantêm a estrutura do grânulo (PERONI; ROCHA; FRANCO, 2006). Este conhecimento é estratégico para poder prever o comportamento dos grânulos submetidos ao tratamento térmico na indústria de

alimentos. Quando processado, o amido de mandioca forma uma pasta clara, que tem um gosto suave e alta viscosidade (PONGSAWATMANIT et al., 2006).

2.4 LIMITAÇÕES DO AMIDO DE MANDIOCA

Apesar de o amido de mandioca ser barato e bastante utilizado na indústria de alimentos, algumas de suas propriedades muitas vezes limitam sua aplicação comercial, em produtos como molhos, pudins, maionese, balas, salgadinhos. Isto ocorre porque as pastas e géis de amido de mandioca apresentam alta coesividade, o que lhes confere textura longa.

A textura longa pode ser facilmente observada em alimentos formulados com amido de mandioca, como o sagu, mas, segundo Deman et al. (1976), para a maioria dos alimentos, a diminuição da viscosidade durante o cozimento e a textura coesiva são prejudiciais. Estes autores afirmam que as moléculas de amilose do amido de mandioca são mais longas que as dos demais amidos, o que dificulta sua associação na pasta ou gel. Moléculas de amilose muito longas (maiores que 150 a 200 unidades de glucopiranoose), ao se associarem, tendem a formar “dobras” no meio da associação. Esta característica da amilose do amido de mandioca permite que o caráter longo e coesivo da amilopectina predomine.

Hongsprabhas, Israkarn e Rattanawattanaprakit (2007), definem a textura das pastas de amido de mandioca como macias e pegajosas.



Figura 8 – Textura longa em pasta de amido de mandioca.

Na indústria de alimentos, enquanto a pasta de amido sofre tratamento térmico, ocorre uma variação em sua velocidade de escoamento, o que causa uma variação de pressão dentro do equipamento de processamento que pode ser prejudicial (LAGARRIGUE ; ALVAREZ, 2001). O amido de mandioca apresenta baixa estabilidade da pasta à temperatura e ao cisalhamento, o que é um fator limitante para sua utilização industrial.

Deman et al. (1976) afirmam que amido com alto teor de amilopectina tende a apresentar maior breakdown, pois a amilose é a responsável pela estabilidade da viscosidade de pasta. Dentro do grânulo a amilose tende a ligar-se à amilopectina tornando-a mais resistente a temperatura, enquanto a amilose lixiviada interage com outras moléculas de amilose fora do grânulo mantendo assim a estabilidade da viscosidade.

2.5 O LEITE

O leite bovino é composto, basicamente, pela água (87,4%) e pelos sólidos; lipídeos (3,9%), proteínas (3,2%), carboidratos (4,6%), vitaminas e minerais (0,9%). A presença de proteínas torna o leite um alimento importante para o consumo humano (HARDING, 1999). A maior parte dos constituintes do leite não está presente como moléculas isoladas, mas como estruturas complexas associadas (FENNEMA, 1996).

As proteínas do leite são classificadas como caseínas ou proteínas do soro. As caseínas são as proteínas presentes em maior quantidade e se apresentam organizadas em estruturas denominadas micelas, como a apresentada na Figura 9.

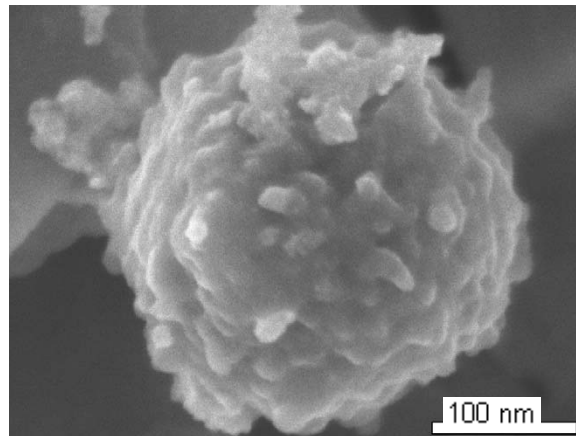


Figura 9 – Estrutura da caseína observada e Microscopia de Varredura Eletrônica.
Fonte: Dalgleish, Spagnuolo e Goff (2004).

As proteínas do soro possuem alto valor nutritivo e são amplamente utilizadas em alimentos. Os principais componentes das proteínas do soro são β lactoglobulina, α lactoalbumina, soro albumina e as imunoglobulinas (BRYANT; MCCLEMENTS, 1998). As proteínas do soro interagem pouco entre si e com as demais proteínas. Quando o leite é aquecido acima de 70 °C desnaturam e tronam-se menos solúveis (FENNEMA, 1996).

Os principais sais minerais presentes no leite são os cloretos, fosfatos, citratos e bicarbonatos de sódio, potássio, cálcio e magnésio, com tamanhos variando de íons livres a complexos coloidais, sendo que alguns participam, inclusive, da estrutura de micelas da caseína. Os íons bivalentes Ca^{2+} e Mg^{2+} existem principalmente na forma de complexos, enquanto os monovalentes Na^+ , K^+ , e Cl^- são quase todos existentes na forma de íons livres (FENNEMA, 1996).

A lactose é o sólido presente em maior quantidade no leite, entretanto tem menor importância nutricional e comercial. Este polissacarídeo é um

açúcar formado pelos monossacarídeos α -D-glucopiranosose e β -D-galactose (Figura 10) (HARDING, 1999),

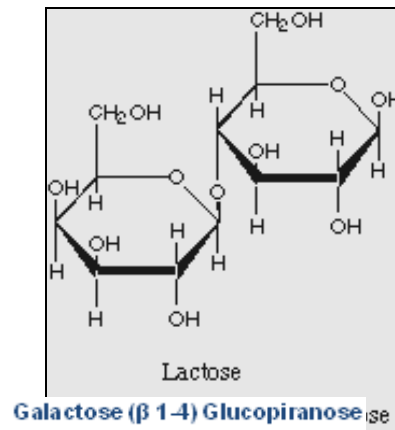


Figura 10 – Monômeros que compõem a lactose.
Fonte: Harding (1999).

Ao adicionarmos leite como ingrediente em algum produto alimentício, seus componentes irão influenciar as características do produto final.

2.6 GOMAS OU HIDROCOLÓIDES

São polissacarídeos, que solubilizam ou dispersam em água, sendo vendidos na forma de pó com tamanho de partícula variável. Podem ser adicionados em alimentos agindo como espessantes, controladores e/ou modificadores de textura de líquidos e bebidas, e das propriedades reológicas de semi-sólidos. Os hidrocolóides, geralmente, são utilizados em concentrações entre 0,25 e 0,50% e possuem a característica de produzir viscosidade e formar gel (BEMILLER; WHISTLER, 1996).

Existem muitas gomas que podem ser aplicadas em misturas com amido. As gomas xantana, guar, alginatos, carragena, arábica, locusta, e carboxi

metil celulose (CMC) são alguns exemplos. Cada hidrocolóide afeta de maneira diferente as propriedades de pasta do amido (ROJAS et al., 1999).

2.6.1 A Goma Gelana

Um tipo de polissacarídeo relativamente novo que vem sendo bastante estudado é a goma gelana. Sua produção ocorre através da secreção extracelular de *Sphingomonas elode* durante o processo de fermentação aeróbica. É um heteropolissacarídeo linear, aniônico, pois possui grupamento carboxílico em sua unidade repetitiva (JANSON; LINDBERG; SANDFORD, 1983). Sua estrutura é composta por tetrassacarídeos, nos quais se repetem unidades de β -D glucopirranose, β -D ácido glucorônico e α -L ramnose, em uma relação molar de 2:1:1(Figura 11).

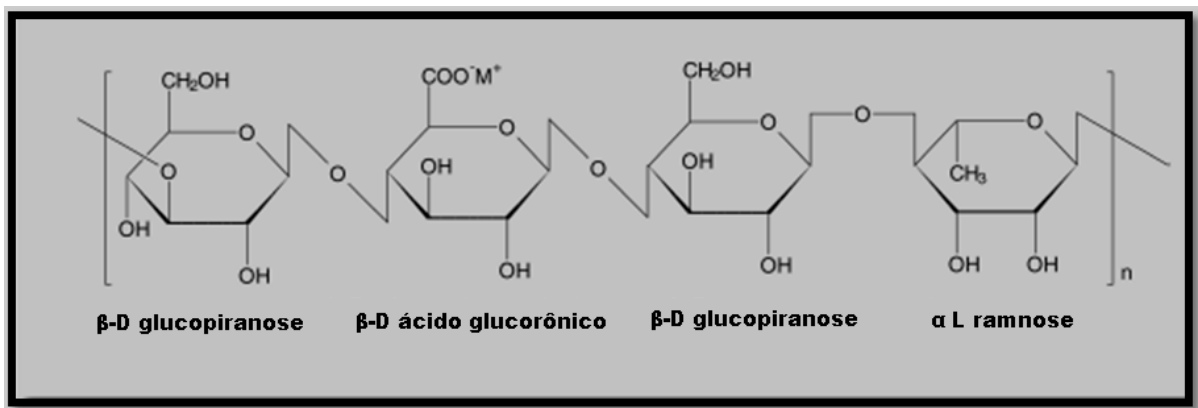


Figura 11 – Unidade tetrassacarídica na molécula de gelana.
Fonte: Mao, Tang e Swanson (2000).

A goma gelana pode apresentar-se em duas formas moleculares diferentes; na forma nativa, com alto teor de acila ou, na forma comercial, com baixo teor de acila. Os grupamentos acila são o acetil e o gliceril. Na goma nativa, aproximadamente 25% das unidades monoméricas repetitivas apresentam o

grupamento acetil, ligado ao carbono 6, e um grupamento gliceril, ligado ao carbono 2 da β -D-glucopiranosose (Figura 12) (JANSON; LINDBERG; SANDFORD, 1983).

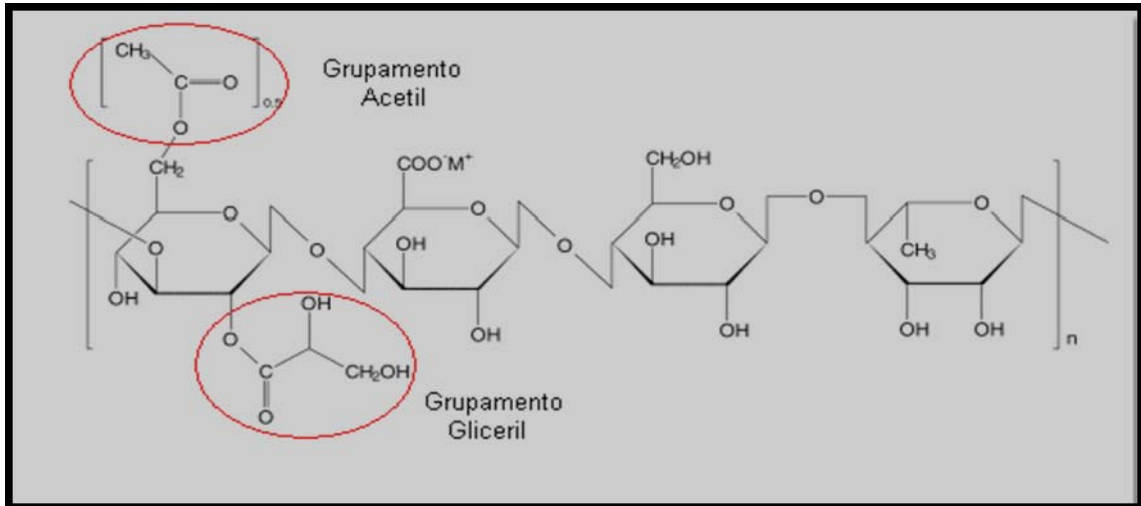


Figura 12 – Estrutura nativa da goma gelana (com alto nível de acila).
Fonte: Mao, Tang e Swanson (2000)

Quando exposta a solução alcalina em altas temperaturas ambos os grupamentos acila (acetil e gliceril) são hidrolisados e ocorre a formação da goma gelana comercial. Esta dissolve na água em temperatura em torno de 90°C (HUANG et al., 2007), enquanto a goma de alto teor de acila necessita de temperatura mais alta para dissolver (MAO; TANG; SWANSON, 2000).

A presença do grupamento acila na goma gelana influencia na formação de gel (NODA et al., 2008). Goma gelana com alto teor de acila forma gel muito fraco, pois os grupamentos acetil e gliceril impedem a aproximação e a associação das cadeias poliméricas da gelana (MAO; TANG; SWANSON, 2000).

Como a goma gelana comercial é mais utilizada, emprega-se simplesmente o termo goma gelana para referir-se a ela, enquanto a goma com alto nível de acila é chamada de goma nativa.

2.7 PROPRIEDADES DA GOMA GELANA

A descoberta da goma gelana, em 1977 não foi acidental, e sim decorrente de uma rigorosa avaliação entre mais de 30.000 bactérias isoladas, onde somente poucos polissacarídeos conseguiram originar alta viscosidade em solução (CHANDRASEKARAN; RADHA, 1995).

A sua aplicação na indústria de alimentos inclui produtos de confeitaria, geléias, alimentos congelados e industrializados, géis a base de água, recheios de tortas, pudins, sorvetes e iogurtes (SANDERSON et al., 1988). Nestes produtos a gelana pode ser utilizada como agente geleificante, modificador de textura, agente estabilizante, alterador de viscosidade, além de ser um liberador de aroma e sabor (CHANDRASEKARAN; RADHA, 1995).

2.7.1 Modificador de Textura

As propriedades multifuncionais da goma gelana e seu sinergismo com outros polissacarídeos, como a goma xantana e a goma locusta, permitem a produção de diversos tipos de textura. Esta é outra vantagem para a sua aplicação na indústria de produção de alimentos. (CHANDRASEKARAN; RADHA, 1995). As propriedades texturais de géis de goma gelana estão relacionadas com sua capacidade de reter água em sua microestrutura (MAO; TANG; SWANSON, 2001). A textura do gel de gelana depende também da concentração e do tipo de cátions metálicos presentes na amostra (SANDERSON, 1990).

2.7.2 Agente Estabilizante

A goma gelana é utilizada como estabilizante de viscosidade em pastas de amido. É possível também utilizar somente a goma gelana, ou combiná-la

com outros hidrocolóides para melhorar a estabilidade, em sistemas alimentares (RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ et al., 2003).

2.7.3 Agente Geleificante

A gelana parece apresentar propriedades únicas na formação de gel, o que a torna mais atrativa para a indústria de alimentos (PSZCZOLA, 1993). Uma vantagem da goma gelana é a sua capacidade de formar gel em baixas concentrações e na presença de cátions, diferentemente do que ocorre com a maioria dos polissacarídeos (NODA et al., 2008). Os cátions interagem com o grupamento carboxílico do hidrocolóide (MIYAMOTO et al., 1996). O gel de gelana é termorreversível, transparente e resistente ao resfriamento e as condições ácidas (OMOTO; UNO; ASAI, 1999).

O mecanismo de geleificação de soluções de goma gelana é controverso. Atualmente, o mais aceito é que o processo de geleificação se desenvolve, separadamente, em duas etapas termorreversíveis.

Em um primeiro momento as moléculas de goma gelana apresentam-se, na forma de espiral desordenado. Quando submetidas a aquecimento, em solução aquosa, e posterior resfriamento, as moléculas passam para o estado ordenado, na conformação de dupla hélice, sendo que as duplas hélices se associam, através de forças fracas, como pontes de hidrogênio ou Van der Waals (Figura 13) (NODA et al., 2008).

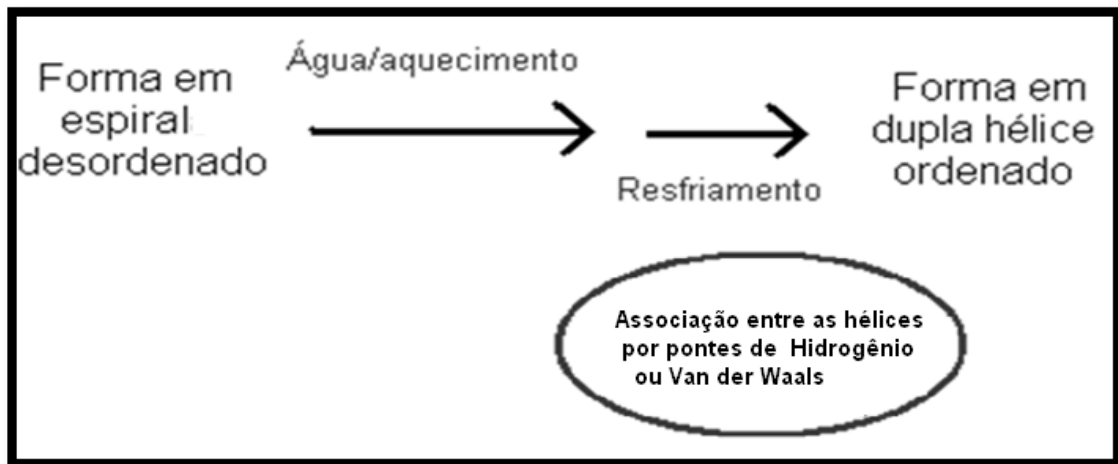


Figura 13 – Representação esquemática do processo de geleificação da goma.

Ogawa et al. (2006), afirmam que, no estado de gel, a goma gelana é conhecida por formar uma estrutura de dupla hélice. A interação entre as hélices de gelana conferem ao gel alta estabilidade (RODRÌGUEZ-HERNÁNDEZ et al., 2003). Segundo Nishinari (1997), a conformação em espiral com dupla hélice é um pré-requisito para a formação de gel de goma gelana. Contudo, a transformação do estado espiralado desordenado para o estado de hélice ordenado, por si só, não necessariamente leva à geleificação macroscópica (IKEDA et al., 2004).

O mecanismo de agregação destas duplas hélices não é totalmente conhecido. A teoria mais convencional afirma que no estado de gel, as hélices de gelana se agregam e formam zonas de junção (OGAWA; MATSUZAWA; IWAHASHI, 2002), com cadeias poliméricas desordenadas conectando estas zonas. A associação entre as hélices forma uma espécie de região cristalina, onde a elasticidade do gel depende das cadeias poliméricas desordenadas. Outro mecanismo de associação proposto seria o modelo fibrilar. Neste, acredita-se que a estrutura de rede do gel de gelana é formada por fibras não associadas, sendo a elasticidade do gel gerada pela dilatação ou curvatura destas fibras de goma (Figura 14) (NODA et al., 2008).

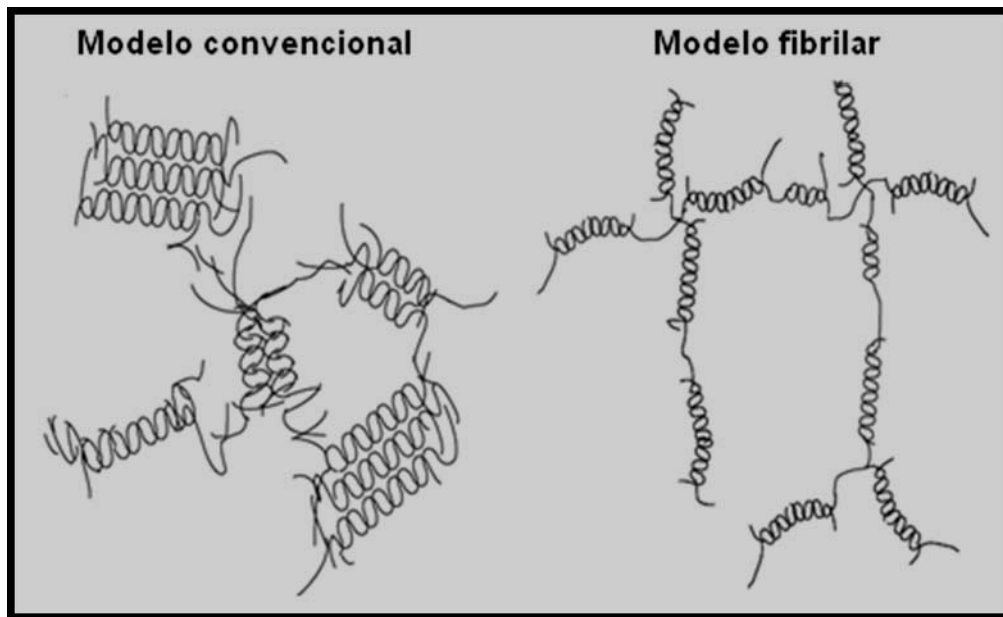


Figura 14 – Esquema para os modelos de gelificação, convencional e fibrilar, da goma gelana.
Fonte: Noda et al. (2008)

As propriedades mecânicas do gel de goma gelana variam em função da natureza dos cátions presentes, sendo que na presença de íons divalentes os géis são mais duros e firmes do que na presença de íons monovalentes (RODRÌGUEZ-HERNÁNDEZ et al., 2003). Em geral, altas concentrações poliméricas e de cátions fornecem géis fortes, porém excesso de cátions tendem a formar géis mais fracos (TANG; TUNG; ZENG, 1995).

A presença de cátions, durante a geleificação, evita que haja repulsão eletrostática entre as duplas hélices de goma gelana e aumenta a associação entre as hélices, o que aumenta a estabilidade térmica (NODA et al., 2008).

Em relação às diferentes formas moleculares, a forma nativa é conhecida por formar gel macio, elástico e não quebradiço, enquanto gelana comercial forma gel duro, não elástico e quebradiço.

A solubilidade da goma gelana também é influenciada pela presença de cátions. Adição de cátions, como o potássio, em quantidade suficiente para neutralizar totalmente os grupamentos carboxílicos da goma, diminui drasticamente a solubilidade da gelana em água (MIYAMOTO et al., 1996).

2.8 INTERAÇÃO AMIDO GOMA GELANA

Lee et al. (2002) estudaram o efeito da goma gelana em géis de amido de batata doce e relataram que a gelana aumentou a temperatura de pasta, o pico de viscosidade, o *breakdown*, o *steback* e a viscosidade final das pastas (Tabela 1).

Tabela 1 – Característica da viscosidade de pasta para amido de batata doce (6,4%) na presença de goma gelana (0,6%).

Amostra	TP (°C)	VM (cP)	BD (cP)	SB (cP)	VF (cP)
Padrão	74,65	2202	909	778	2071
Gelana	76,80	3228	1677	960	2511

Fonte: Lee, M. H. et al. (2002) adaptado.

TP. Temperatura de pasta

VM. Viscosidade máxima

BD. Breakdown

SB. Setback

VF. Viscosidade final

Shi e BeMiller (2002), estudaram, em viscosímetro Brookfield, o efeito da adição de 0,4% de goma gelana em solução aquosa contendo 3,6% de amido de milho normal ou ceroso, na viscosidade, antes e após a formação de pasta. A presença da goma aumentou a viscosidade antes e durante a formação de pasta, dos dois tipos de amido.

Rodríguez-Hernández et al. (2003) estudaram, com reômetro oscilatório e microscopia de varredura confocal, as propriedades viscoelásticas e estruturais de soluções de amido de milho ceroso (3%) submetidas a temperatura de 75 ou 90°C adicionados de goma gelana (0,005, 0,01, 0,02, 0,03 e 0,05). Notaram que a adição de gelana produziu misturas com diferentes propriedades elásticas e que seu efeito depende do grau de colapso do grânulo e da concentração de goma na mistura. A presença de grânulos rompidos reduziu a característica elástica da pasta, enquanto a presença de grânulos intumescidos parece aumentá-la. Em

adições de gelana abaixo de 0,02%, os grânulos de amido intumescidos e os colapsados foram circundados por uma rede de gelana compacta interconectada, para ambas as temperaturas. Em misturas com concentrações de gelana acima de 0,02%, a gelana apresentou-se mais distribuída, com os grânulos intumescidos ou rompidos exercendo menor efeito na estrutura e sobre o comportamento viscoelástico.

Huang et al. (2007) estudaram misturas de gel de amido de arroz de três diferentes variedades (indica, japonica e sticky), em água deionizada e CaCl_2 , adicionados de goma gelana alto teor acila (0,1; 0,2; 0,3 e 0,4%) e avaliaram o efeito da variedade, da presença da goma e de suas concentrações, na qualidade do gel através de análise de perfil de textura (TPA). Concluíram que o perfil de textura é dependente, não apenas da variedade de arroz, como também da concentração do polissacarídeo adicionado. Altas concentrações de goma gelana (>0.3% (p/p)) aumentaram a firmeza e a adesividade significativamente.

Não se tem conhecimento de estudos relativos a misturas de amido de mandioca e goma gelana.

3 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar o efeito da interação de diferentes concentrações de goma gelana em pastas ou géis de amido de mandioca dissolvidos em sistemas com água (SA) ou leite (SL), para os parâmetros: estabilidade térmica, reologia, microestrutura, geleificação, qualidade sensorial e microestrutura.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o efeito da aplicação de 0,0; 0,05; 0,1; 0,2 ou 0,3% de goma gelana sobre as propriedades físicas e sensoriais, em pastas e géis de amido de mandioca em SA ou SL.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

Foram utilizados amido de mandioca, leite desnatado MOLICO[®], goma gelana (Kelkogel AFT, de baixo teor de acil), gentilmente fornecida pela CP Kelco[®], adoçante líquido de sucralose da marca LINEA[®], e aroma de baunilha Dr OETKER[®]

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Propriedades de Pasta

Foram analisadas, em Viscógrafo Brabender, amostras contendo 5% de amido de mandioca, disperso em água (SA) ou em leite (SL), adicionadas de 0,0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3% de gelana. O leite fluido foi preparado por diluição do leite em pó (10% p/v). Os ensaios foram realizados conforme método 22-10 da AACC (1983). As amostras foram aquecidas de 30°C até 95°C, permanecendo nesta temperatura por 20 minutos e, em seguida, foram resfriadas até 50°C, a uma razão de 1,5 °C por minuto. As análises foram realizadas em duplicata.

4.2.2 Preparação dos Géis

Os géis foram preparados com misturas de amido e gelana, nas mesmas concentrações do item 4.2.1. A goma gelana foi dissolvida em água deionizada por aquecimento até 90°C e, a seguir, a solução foi resfriada até 30°C

para posterior adição do amido. As amostras do SL utilizaram leite em pó MOLICO desnatado, na concentração de 10%. Nas amostras do SL a mistura foi feita em duas etapas. Primeiro o leite foi pré-dissolvido por 24h a 7°C, após foi preparada, separadamente, a mistura goma água conforme descrito acima. As duas partes foram misturadas e após despejadas no viscógrafo Brabender. As concentrações dos componentes foram calculadas de forma que ao adicionarmos as duas partes se mantivessem as mesmas concentrações do item 4.2.1. As suspensões despejadas no recipiente do Viscoamilógrafo Brabender foram aquecidas até 70°C (3°C min⁻¹) e mantidas nesta temperatura por 5 min. As pastas quentes foram despejadas em frascos cilíndricos (30mm de diâmetro 45mm de altura), tampados com filme de polietileno, resfriados à temperatura ambiente e, posteriormente, armazenados a 4°C.

4.2.3 Sinerese

A determinação de sinerese foi feita segundo Biliaderis (1982), calculando a quantidade de água liberada dos géis, após armazenamento. As pastas foram preparadas com as diferentes proporções de amido/gelana, em Viscógrafo Brabender, conforme descrito na preparação de géis, e despejadas em frascos plásticos de 80 ml com tampa e armazenados sob refrigeração (4°C), por 7 dias. A água liberada foi retirada com a pipeta de Pasteur, o gel foi pesado e os resultados expressos como porcentagem de perda de peso.

4.2.4 Análise de Perfil de Textura (APT) dos Géis

As análises de perfil de textura foram determinadas após o armazenamento dos géis por 24 horas, utilizando um analisador de Textura TA.XT2i (Texture Technologies Corp., NY) e registradas através do Software XTRAD. As condições padronizadas para os testes foram: carga de 0,05N, ponta da prova cilíndrica (P 0,5), com 15 mm de diâmetro e 30 mm de comprimento, com

profundidade de penetração de 10 mm e velocidade de penetração de 2,0 mm/s, com dois ciclos de penetração. Os parâmetros de textura do gel foram obtidos a partir de curvas de força X tempo e área dos gráficos, onde foram determinadas dureza, adesividade, coesividade, gomosidade e elasticidade. As análises foram realizadas em duplicata.

4.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Os géis, preparados conforme metodologia descrita no item 4.2.2, foram congelados e posteriormente liofilizados. Os géis secos foram cortados com lâmina apropriada, selecionando uma amostra da parte central. A amostra selecionada foi colocada em suporte de metal e a superfície exposta foi recoberta com ouro. As micrografias foram obtidas através do microscópio eletrônico de varredura (The Quanta 200 – Philips, Holanda).

4.2.6 Análise Sensorial – Teste de Aceitabilidade

Amostras dos géis padrão ou adicionados de 0,2% de goma gelana (SA ou SL) contendo edulcorante (sucralose) e aromatizante (baunilha) foram avaliadas por uma equipe de 60 provadores, não treinados, recrutados entre alunos, professores e funcionários do CCA, através de convite pessoal. Os critérios para inclusão foram o interesse e disponibilidade do voluntário para participar. Os provadores assinaram uma carta de consentimento (modelo em anexo A), aceitando participar do projeto.

As análises foram realizadas 24 horas após a elaboração das amostras. A ordem de apresentação foi aleatorizada e, entre as provas, foi oferecida água. Os testes foram realizados em cabines individuais, com luz branca. Ao provador foi solicitado indicar o quanto gostou ou desgostou, utilizando uma escala hedônica de 9 pontos.

4.2.7 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Temperatura de gelatinização e entalpia de gelatinização do amido na presença ou ausência de goma gelana, foi medida através de calorimetria exploratória diferencial (DSC). As amostras padrão foram preparadas com 2 g de amido (33%) disperso em 6 ml de água ou leite. Os tratamentos foram preparados com 2g de amido e 80 mg de goma gelana, dispersos em 6 ml de água ou leite. A dispersão da gelana e a pré-hidratação do leite foram realizadas com o auxílio de micropipetas e conduzidas do mesmo modo do item 4.2.2. Após preparadas, as amostras foram hidratadas por 1 hora em temperatura ambiente. Uma alíquota de 6 μ L destas amostras foi depositada em cápsulas de alumínio que foram hermeticamente fechadas. A temperatura de escaneamento variou entre 20 e 90°C e a taxa de aquecimento adotada foi de 10°C/min. Um termograma obtido com uma cápsula vazia serviu como referência. As temperaturas de transição avaliadas foram: temperatura inicial (T_0), temperatura de pico (T_p), e temperatura final (T_f). A entalpia de gelatinização foi calculada através da área do maior pico endotérmico e expressa em J/g.

4.2.8 Análise Microscópica do grânulo x viscosidade em Reômetro (Rheoscopy)

Foram analisadas amostras contendo 5% de amido de mandioca, disperso em água (SA) ou em leite (SL), adicionadas de 0.0 ou 0,2% de gelana, preparadas conforme item 3.2.2. Uma alíquota de 1mL de solução homogeneizada foi aquecida em reômetro rotacional Thermo Haake MARS (Karlshure, Alemanha), acoplado com microscópio ótico (Rheoscope) com lente de 20x de aumento, que fotografou os geis durante o aquecimento, registrando imagens a cada 10 segundos. As amostras foram aquecidas de 25 a 70°C, a uma taxa de aproximadamente 3°C/min, permanecendo a 70°C por 5 minutos. Como resultado, obteve-se um gráfico de viscosidade com ilustrações dos grânulos durante o processo.

5 RESULTADOS

5.1 PROPRIEDADES DE PASTA

Os resultados obtidos para as propriedades de pasta das amostras de amido puro (padrão) e diferentes tratamentos com goma gelana, no SA e SL, são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2 – Médias dos parâmetros vicoamilográficos das amostras padrão e das misturas amido/gelana em água (SA) ou em leite (SL).

Amostra	TP (°C)		VM (UB)		BD (UB)	
	SA	SL	SA	SL	SA	SL
P	60 ^{aA}	62 ^{aA}	450+-10,0 ^{aA}	450+-10,0 ^{dA}	220+-10,0 ^{aA}	160 ^{dB}
A+G 0,05	59±0,8 ^{aA}	62 ^{aA}	495+-5,0 ^{dB}	655+-25,0 ^{cA}	245+-5,0 ^{aB}	345+-15,0 ^{cA}
A+G 0,1	60 ^{aA}	63+-1,0 ^{aA}	545+-5,0 ^{cB}	710+-30,0 ^{bcA}	243+-0,5 ^{aB}	400+-20,0 ^{cA}
A+G 0,2	60 ^{aB}	65+-1,0 ^{aA}	635+-5,0 ^{bB}	820+-30,0 ^{bA}	243 ^{aB}	500+-20,0 ^{bA}
A+G 0,3	61+-0,8 ^{aA}	65+-1,0 ^{aA}	695+-5,0 ^{aB}	970 ^{aA}	243 ^{aB}	650+-10,0 ^{aA}

Amostra	V20/95 (UB)		V50 (UB)		SB (UB)	
	SA	SL	SA	SL	SA	SL
P	230 ^d	290+-10,0 ^a	370 ^{cB}	440+-10,0 ^{dA}	140 ^b	150 ^d
A+G 0,05	250 ^c	310+-10,0 ^a	400+-10,0 ^{bcB}	540 ^{cA}	150+-10,0 ^{bB}	230+-10,0 ^{cA}
A+G 0,1	260 ^c	310+-10,0 ^a	420 ^{bB}	590+-30,0 ^{bcA}	160 ^{bB}	280+-20,0 ^{cA}
A+G 0,2	285+-5,0 ^b	320+-10,0 ^a	485+-15,0 ^{aB}	675+-15,0 ^{bA}	200+-10,0 ^{aB}	355+-5,0 ^{bA}
A+G 0,3	305+-5,0 ^a	320+-10,0 ^a	505+-5,0 ^{aB}	820+-10,0 ^{aA}	200 ^a	500 ^a

P = padrão (5% amido) A = amido (5%) G = gelana, nas concentrações 0,05;0,1;0,2;0,3%

TP = Temperatura de pasta VM = Viscosidade máxima BD = Breakdown

V20/95 = Viscosidade após 20 min. a 95°C V50 = Viscosidade a 50°C SB = Setback

*Letras minúsculas referem-se à comparação entre os tratamentos no mesmo sistema (SA ou SL) e letras maiúsculas indicam comparação entre SA e SL para um mesmo tratamento. Nos dois casos, letras diferentes indicam diferença significativa ($p < 0,05$)

Os gráficos a seguir ilustram a viscosidade das amostras durante o processo de aquecimento e resfriamento a que foram submetidas no viscógrafo Brabender.

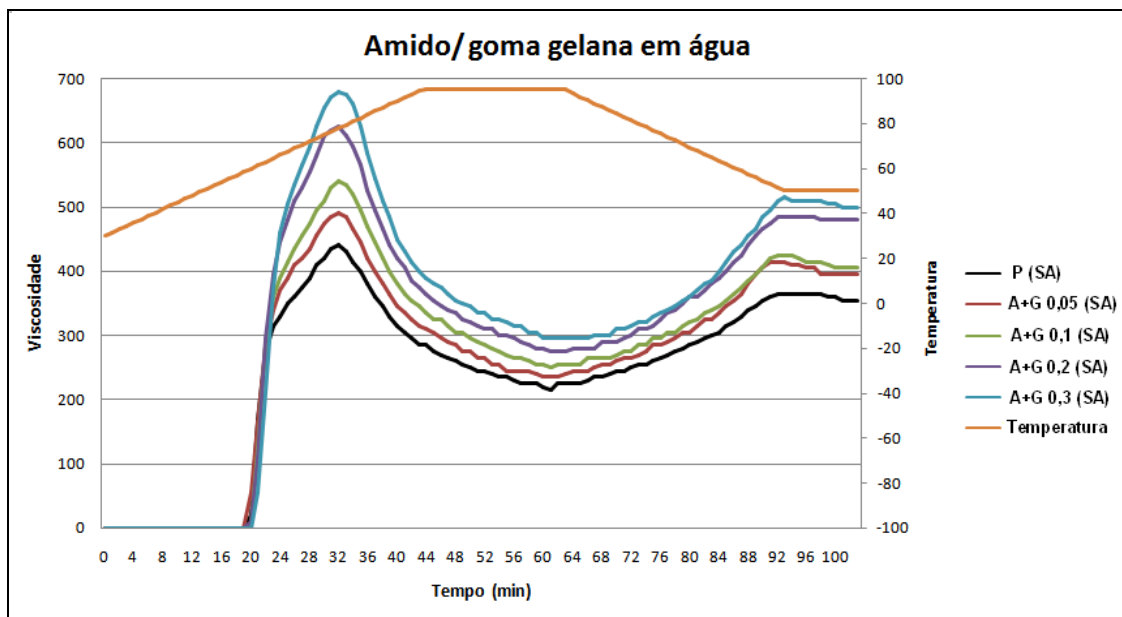


Figura 15 – Viscogramas das pastas de amido de mandioca puro e adicionado de gelana, em diferentes concentrações, no sistema água (SA).

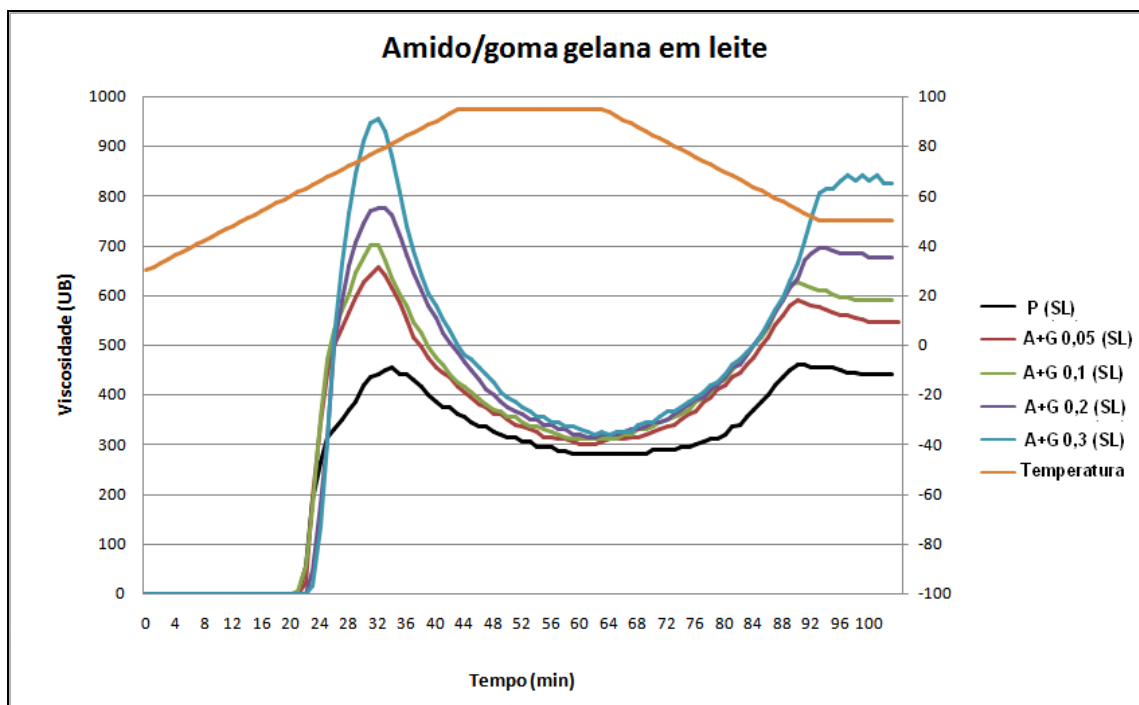


Figura 16 – Viscogramas das pastas de amido de mandioca puro e adicionado de gelana, em diferentes concentrações, no sistema leite (SL).

O aumento da concentração da goma gelana no SA não alterou a temperatura de pasta (TP) em relação à da amostra sem goma (Tabela 2). Este resultado sugere não haver interação entre a goma e o amido antes da formação da

pasta, sendo assim, o processo de lixiviação da amilose ocorreu normalmente na presença da gelana. A temperatura de viscosidade máxima (TVM) também não foi alterada pela presença da gelana, permanecendo em aproximadamente 78°C para todas as amostras (Dado mostrado apenas no gráfico).

Resultado diferente foi encontrado por Pogsawatmanit e Sramiijunthongsiri (2008), para interação entre amido de mandioca (5%) e goma xantana (0,5%), já que a presença da goma aumentou significativamente a TP. Em seus estudos, Mali et al. (2003), verificaram diminuição da TP na adição de goma guar ou xantana (0,1 a 0,3%) em suspensão de amido de inhame (6%). Entretanto, resultado semelhante foi encontrado por Hongsprabhas et al. (2007), para amido de mandioca (12%) interagindo com goma alginato ou goma carragena em baixas concentrações (0,1%), que não causaram variação da TP no viscógrafo Brabender. Diferentes resultados podem ser encontrados, devido a diferentes origens botânicas do amido, diferentes concentrações utilizadas ou tipo de hidrocolóide empregado.

Ao relacionarmos os estudos acima descritos, notamos que as gomas alginato e carragena utilizadas por Hongsprabhas et al. (2007), e que não apresentaram variação na TP do amido de mandioca, são gomas aniônicas, assim como a goma gelana, o que pode ter contribuído para a obtenção dos resultados semelhantes.

Christianson et al. (1981) afirmam que um aumento na temperatura de pasta de misturas de amido / goma pode ocorrer, devido a uma competição pela água entre a goma e o amido, antes da formação da pasta. No presente estudo não houve competição pela água entre o amido e a goma gelana, ou esta não foi suficiente para atrasar a formação da pasta.

Nwokocha et al. (2009), analisaram os mesmos parâmetros de perfil de viscosidade para amido de mandioca (8%) em água destilada, em viscógrafo Brabender, nas mesmas condições de aquecimento, mas com 30 minutos de aquecimento a 95°C, e encontraram resultados maiores para TP, VM, V30/95 e V50. Tais diferenças ocorrem devido à utilização de uma concentração maior de amido que a utilizada no presente trabalho (5%). Entretanto, obtiveram o mesmo valor de TVM. Encontraram menor valor para SB e maior para BD, o que reforça o caráter da baixa retrogradação e instabilidade, em relação à ação mecânica e térmica, do amido de mandioca.

Comparando-se o SL com o SA observou-se uma tendência de aumento da TP no SL. A presença dos cátions Ca, Mg, K e Na, naturalmente presentes no SL, possibilitam a aproximação e a formação de rede nas moléculas de gelana e a rede formada pode ter apresentado algum tipo de interação com o grânulo de amido, atrasando a lixiviação da amilose e o intumescimento.

A VM e a V50 aumentaram significativamente com o aumento da concentração da goma sendo este aumento maior no SL. A gelana apresentou este efeito positivo para aumento de viscosidade, porque suas moléculas, ao serem aquecidas, se ordenam e se aproximam, através de pontes de hidrogênio, interações de Van der Waals, ou através dos cátions que se ligam ao seu grupamento hidroxila.

Houve um efeito sinérgico no aumento da viscosidade no sistema contendo amido e gelana. Este pode ser interpretado como um sistema bifásico, composto por goma e líquido em uma fase, e por amido na outra. Durante a gelatinização do amido, devido ao intumescimento do grânulo, ocorre intensa diminuição de água na fase da goma, o que gera um aumento de concentração desta na fase líquida, aumentando a viscosidade do sistema. (ALLONCLE, 1989)

No presente trabalho, a adição da gelana não alterou a estabilidade da pasta (BD) no SA, porém no SL diminuiu a estabilidade. O aumento acentuado da viscosidade nas pastas amido/gelana, no sistema leite, amplifica o efeito do estresse mecânico e térmico durante o cozimento (95 °C), o que leva a maior perda de integridade do grânulo e aumento do breakdown (CHRISTIANSON et al., 1981). Resultados semelhantes foram encontrados por Pogsawatmanit e Srijunthongsiri (2008), para a interação entre amido de mandioca (5%) e goma xantana (0,5%). No presente estudo, as associações entre as espirais de gelana podem ter sido rompidas devido ao maior efeito da força de cisalhamento exercida no SL.

A presença do leite aumentou a estabilidade da amostra padrão (sem goma). Quando o leite é aquecido acima de 70 °C, as proteínas do soro desnaturam e tronam-se menos solúveis, as proteínas desnaturadas (principalmente β lactoglobulina) se associam com a caseína do leite aumentando a estabilidade térmica das micelas (BEMILLER; WHISTLER, 1996), o que pode ter conferido maior estabilidade ao SL.

No SA a presença da goma gelana aumentou a viscosidade de maneira menos acentuada, por isso não alterou significativamente o BD entre o padrão e os tratamentos, e apresentou os menores valores se comparado com o SL. Além disso, a ausência de cátions no SA dificulta a ligação entre as espirais de gelana e pode ter contribuído também para a goma não ter alterado o breakdown durante o estresse mecânico e térmico.

A mistura do amido com gelana aumentou a viscosidade na fase de resfriamento, efeito intensificado no SL. Assim como na formação de pasta, para VM e V50, a presença dos cátions Ca, Mg, Na e K, do SL, favoreceram a aproximação das moléculas de gelana aumentando a viscosidade. Além dos cátions, as proteínas do leite ao interagirem com a água, com o amido e com a gelana, podem ter contribuído para o aumento da viscosidade.

Aumento da V50 e da VM foram encontrados nos estudos de Lee et al. (2002), quando foram adicionadas goma gelana e demais gomas aniônicas (0,6%) em amido de batata doce (7%). Chaisawang e Supphantharika (2006) estudaram o perfil de pasta do amido de mandioca (6%) adicionado de goma guar ou xantana (0,35%), e notaram aumento de VM, BD, V50 e TP, sendo que a goma guar aumentou o SB, enquanto a goma xantana o diminuiu.

5.2 SINERESE

Os resultados estatísticos para a sinerese, dos géis da amostra padrão e dos demais tratamentos, após armazenamento de 7 dias a 4°C, são apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 – Porcentagem de sinerese em géis contendo amido (5%) e amido/gelana, nos SA e SL.

Amostra	Sinerese (%)	
	PA	PL
P	0,018 ± 0,018 ^A	0,317 ± 0,291 ^A
A + G 0,05	0,003 ± 0,003 ^A	0,01 ± 0,01 ^A
A + G 0,1	0,016 ± 0,011 ^A	0,006 ± 0,006 ^A
A + G 0,2	0,0 ^A	0,026 ± 0,01 ^A
A + G 0,3	0,0 ^A	0,010 ± 0,006 ^A

P = padrão (5% amido de mandioca) A = amido G = gelana, nas concentrações 0,05; 0,1; 0,2 e 0,3%. Resultados com a mesma letra não diferiram significativamente ($p > 0,05$)

Os resultados demonstram que, tanto as amostras padrão, como os tratamentos, no SA e SL, não apresentaram sinerese significativa.

Existem três possibilidades para estes resultados:

Primeira possibilidade: pode ter ocorrido retrogradação (reaproximação entre as moléculas de amilose e amilopectina) sem que houvesse sinerese (liberação de água). A retrogradação não necessariamente libera água. Kang e Supphantharika (2006) afirmam que a liberação de água devido à retrogradação ocorre eventualmente. Neste caso, apesar da não ocorrência de sinerese, os possíveis problemas da modificação de textura, devido à retrogradação durante o armazenamento, devem ser avaliados através de outras técnicas.

Segunda possibilidade: A metodologia não foi adequada para a quantificação da real sinerese. Existem diferentes métodos para quantificação da sinerese.

Para géis de amido, Kang e Supphantharika (2006), Muadklay e Charienrein (2008) e Pongsawatmanit et al. (2006), quantificaram a sinerese através de centrifugação: 1180 x g/15 minutos, 8000 x g/15 minutos e 5000rpm/10 minutos, respectivamente. Turgeon e Beaulieu (2001), para gel de proteína do soro de leite, adicionado de polissacarídeos, utilizaram centrifugação a 93 x g/ 5 minutos. Mao, Tang e Swanson (2001) avaliaram a liberação de água devido ao resfriamento, em gel de gelana, através de difusão passiva, com a utilização de uma folha de papel e de uma balança analítica. Lee et al. (2002), com o auxílio de um cortador de

queijos, retirou a camada superficial do gel de amido de mandioca e transferiu-o, sobre um papel filtro, para um filtro com um aspirador elétrico por 10 minutos, colocando um cilindro de aço inox de 1Kg sobre o gel para auxiliar no processo de liberação de água.

Outros métodos utilizados para medir retrogradação são: difração de raios X (que mede o grau de cristalização), DSC (mede entalpia de derretimento, que é maior para os géis mais estáveis) e as técnicas reológicas (medem o resultado da recristalização do amido nas propriedades do gel) (GUDMUNDSSON, 1994).

Um método preciso para avaliar a sinerese não é consenso, pois é difícil de avaliar a água liberada pelo gel espontaneamente, sem que ocorra uma liberação forçada, através de centrifugação ou pressão devido à compressão.

Teoria 3: É possível que, realmente, não tenha havido sinerese nem retrogradação durante o armazenamento.

O amido de mandioca, naturalmente, apresenta menos sinerese que a maior parte dos demais tipos de amido. Isto ocorre devido ao seu alto teor de amilopectina que é menos móvel que a amilose, e por isso retrograda de maneira mais lenta. Essa característica nos direciona para a teoria 3. Fredrikssona et al. (1998) estudaram, através de DSC, a retrogradação em géis de amido de cereais (trigo, cevada e centeio), batata e ervilha. Os tipos de amido avaliados eram: com alto teor de amilopectina (ceroso), normal, ou com alto teor de amilose. As dispersões contendo aproximadamente 5% de amido em água foram aquecidas por 15 min. a 105°C e posteriormente armazenados por 2 ou 4 dias a 6°C.

As características foram similares para 2 ou 4 dias de armazenamento, sendo que ao comparar apenas géis de alto teor de amilopectina, os autores notaram que a amilopectina dos cereais retrogradou menos que a amilopectina da ervilha e da batata. Os mesmos autores apontam esta diferença como sendo causada pelas ramificações menores da amilopectina dos cereais. Para cevada, o tipo normal e o ceroso retrogradaram com a mesma intensidade, enquanto a cevada com alto teor de amilose retrogradou mais, confirmando a tendência da amilose em retrogradar mais rapidamente

Existe a possibilidade de o armazenamento de 7 dias ter sido insuficiente para a recristalização da amilopectina do gel de amido de mandioca,

uma vez que esta apresenta um aumento lento de sua recristalização, que só atinge o limite após 30 a 40 dias. Segundo Gudmundsson (1994), o tempo necessário para a máxima retrogradação pode variar com o tamanho das moléculas de amilose e amilopectina presentes

Ishiguro et al. (2000) avaliaram, através de cromatografia de permeação em gel, a sinerese em géis de amido de batata doce (8%) de dez diferentes variedades, que foram gelatinizados a 90°C por 10 minutos e, após, foram estocados a 5°C por 7 dias. Os autores afirmaram que, a maior dureza e sinerese no gel de amido, ocorreram nos géis com maior quantidade de amilose ou com amilopectina de ramificações muito longas, enquanto a menor dureza e sinerese ocorreu nos géis com amilopectina de menor peso molecular (ramificações curtas).

Gudmundsson (1994) afirma que a quantidade de água presente no gel também influencia a retrogradação, pois, a água age como agente plastificante e controla a temperatura de transição vítrea (T_g) (temperatura de passagem do estado vítreo do gel para o estado elástico mais desordenado) do gel amorfo. Em baixa quantidade de água, a T_g do gel está acima da temperatura ambiente, e o gel se apresenta no estado altamente viscoso (vítreo) que inibe a movimento molecular. Altas quantidades de água apresentam maior efeito plastificante, o que aumenta a mobilidade das moléculas de amilose e amilopectina. Entretanto, diluições acima de 90%, podem diminuir a quantidade de recristalização. O autor afirma que o armazenamento dos géis a baixas temperaturas, mas ainda acima da t_g (aproximadamente 5°C, variável conforme a quantidade de água) aumentam a retrogradação, enquanto o armazenamento sob refrigeração, mas a temperatura abaixo da T_g inibe a recristalização.

Mao, Tang e Swanson (2001) estudaram a sinerese em géis de goma gelana (1%) adicionados de doze diferentes concentrações de íons cálcio (2, 4, 6, 8, 14, 20, 30, 40, 50, 60 e 80mM), mantidos sob refrigeração (4°C) por 125 dias, e afirmaram que o gel armazenado foi muito estável, praticamente não apresentando sinerese, independente da concentração de cálcio.

Amidos com baixa tendência à retrogradação são ideais para a utilização em produtos que serão armazenados, sem que haja prejuízo nas suas qualidades texturais. Produtos armazenados à temperatura ambiente, como bolos e

tortas, ou sob refrigeração, como pudins, pão de queijo e lasanha congelados, são exemplos destes produtos.

O resultado deste estudo para retrogradação indica que não é necessária a adição de goma gelana, para redução de sinerese em géis de amido de mandioca. Contudo, se a adição da goma for benéfica para melhorar outras propriedades, como textura, sabor, aroma, sabe-se que não terá nenhum efeito negativo sobre a sinerese. O mesmo pode ser afirmado em relação ao leite desnatado.

5.3 Análise de Perfil de Textura (APT)

Os resultados para a APT, dos géis da amostra padrão e para os demais tratamentos, após armazenamento de 24 horas a 4°C, são apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 – Análise de perfil de textura (APT) dos géis padrão (5% de amido) e os que continham amido / gelana em SA ou SL.

	Firmeza		Adesividade		Elasticidade	
	AS	SL	SA	SL	SA	SL
P	0,343±0,012 ^{aA}	0,211±0,007 ^{eB}	0,031±0,012 ^{bB}	0,108±0,009 ^{eA}	0,940±0,020 ^{aA}	0,915±0,006 ^{aA}
0,05	0,340±0,042 ^{aA}	0,308±0,004 ^{dB}	0,039±0,009 ^{bB}	0,194±0,011 ^{dA}	0,939±0,009 ^{aA}	0,912±0,005 ^{aA}
0,1	0,327±0,009 ^{abB}	0,389±0,005 ^{cA}	0,040±0,008 ^{bB}	0,364±0,014 ^{cA}	0,935±0,010 ^{aA}	0,889±0,001 ^{bB}
0,2	0,319±0,008 ^{abB}	0,432±0,008 ^{bA}	0,081±0,008 ^{aB}	0,440±0,017 ^{bA}	0,910±0,011 ^{aA}	0,905±0,003 ^{abA}
0,3	0,297±0,006 ^{bB}	0,527±0,009 ^{aA}	0,086±0,009 ^{aB}	0,521±0,015 ^{aA}	0,919±0,012 ^{aA}	0,891±0,002 ^{bB}

	Coesividade		Gomosidade	
	SA	SL	SA	SL
P	0,557±0,035 ^{aA}	0,566±0,012 ^{aA}	0,191±0,013 ^{aA}	0,119±0,005 ^{eB}
0,05	0,597±0,023 ^{aA}	0,577±0,006 ^{aA}	0,202±0,014 ^{aA}	0,178±0,004 ^{dB}
0,1	0,598±0,009 ^{aA}	0,588±0,007 ^{aA}	0,195±0,004 ^{aB}	0,229±0,002 ^{cA}
0,2	0,570±0,008 ^{aA}	0,576±0,007 ^{aA}	0,182±0,004 ^{aB}	0,249±0,004 ^{bA}
0,3	0,590±0,014 ^{aA}	0,564±0,002 ^{aB}	0,176±0,002 ^{aB}	0,298±0,005 ^{aA}

*Letras minúsculas referem-se à comparação entre os tratamentos no mesmo sistema (SA ou SL) e letras maiúsculas indicam comparação entre SA e SL para um mesmo tratamento.

No SA, a presença da goma diminuiu a firmeza, em relação ao padrão, quando adicionada na concentração 0,3%, mas a elasticidade, coesividade e gomosidade não foram alteradas. No SL, a adição de gelana aumentou a firmeza, a adesividade e a gomosidade, mas não alterou a coesividade. Por outro lado, diminuiu a elasticidade, nas concentrações 0,1 e 0,3 %, mas a aumentou na concentração intermediária, 0,2%. Esta variação no efeito para a elasticidade conforme a concentração da gelana já foi previamente mencionada por Huang et al. (2007) e por Lau, Tang e Pauson (2000). Tanto no SA como no SL a adição da goma aumentou a adesividade, já a coesividade não foi alterada em nenhum dos dois sistemas. A adição do leite diminuiu a firmeza e a gomosidade, aumentou a adesividade, mas não alterou a elasticidade nem a coesividade.

A Tabela 5 apresenta esquematicamente o efeito da adição crescente da goma gelana nos dois diferentes sistemas avaliados.

Tabela 5 – Representação esquemática do efeito da adição crescente da gelana no SA e SL.

	SA	SL
Firmeza	-	+
Adesividade	+	+
Elasticidade	NA	- *
Coesividade	NA	NA
Gomosidade	NA	+

- Diminuiu a característica avaliada

+ Aumentou a característica avaliada

NA. Não alterou a característica avaliada

* Exceto para a concentração 0,2%

Ao analisarmos a tabela acima notamos que as modificações dos géis devido à adição da gelana ocorrem mais no SL que no SA, o que confirma a necessidade dos cátions do leite, conforme mencionado no item 4.1 (Propriedades de Pasta), para que a gelana forme sua estrutura de rede no gel, e atue como agente modificador de textura. Para adesividade, entretanto, podemos notar que o efeito da adição da goma ocorre independente dos cátions do leite, o que indica que a goma mesmo formando uma estrutura fraca, na ausência dos cátions, apresenta adesividade. A coesividade não foi alterada pela adição da goma, mesmo na

presença do leite, sugerindo que a concentração catiônica do leite pode ter sido insuficiente para provocar alterações neste parâmetro.

Em relação à firmeza, na ausência dos cátions (SA) a gelana forma um gel mais fraco e, provavelmente por isso, sua adição crescente diminuiu a firmeza do gel, enquanto na presença dos cátions (SL), como há formação de um gel mais forte, a adição crescente da gelana aumentou a firmeza. Para elasticidade e gomosidade a goma só apresentou efeito na presença dos cátions do leite. A gomosidade apresentou o mesmo comportamento da firmeza, provavelmente pelas mesmas causas, uma vez que o gel mais firme necessita de mais energia para ser desintegrado. As variações para elasticidade também só ocorreram na presença dos cátions, a coesão do gel foi independente da presença de gelana mesmo na presença dos cátions.

Resultados semelhantes foram encontrados por Huang et al. (2007), que estudaram, através de análise de perfil de textura, o efeito da adição de diferentes concentrações de gelana de alto teor de acila (0,1; 0,2; 0,3 e 0,4%, p/p), adicionados de CaCl_2 (5mM), na qualidade de géis de amido de arroz de três diferentes variedades (indica, japônica e sticky). A análise foi feita com dois ciclos de compressão utilizando velocidade de penetração de 1,0mm/s e carga de 0,05N. Os géis foram submetidos à deformação de 25%.

Os autores concluíram que o aumento da concentração da goma conferiu um aumento da firmeza do gel, sendo este aumento maior em concentrações maiores que 0,3%. A presença da goma aumentou a gomosidade e a adesividade sendo este aumento mais intenso quando a goma estava presente em concentrações maiores que 0,2%. Para elasticidade, o comportamento foi variável, baixas concentrações de gelana (0,1%) diminuíram o parâmetro, enquanto altas concentrações (0,3 ou 0,4%) aumentaram sendo que a concentração de 0,2% apresentou a menor elasticidade.

Mao, Tang e Swanson (2001), estudaram as propriedades de textura em géis de goma gelana (1%) adicionados de doze diferentes concentrações de íons cálcio (2, 4, 6, 8, 14, 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80 mM), através de testes de compressão em texturômetro com velocidade de compressão de 0,3 mm/s. Para a análise, as pastas de gelana, após preparadas, foram armazenadas a 22°C por 1, 8, 15 ou 60 dias, para a formação dos géis. Foi avaliada a resistência à compressão e

a deformação do gel. Os autores notaram que a resistência á compressão dos géis aumentou nas maiores concentrações de cálcio, a partir da concentração 8mM. A deformação diminuiu com o aumento da concentração de cálcio até um limite (6mM), a partir do qual permaneceu constante.

Lau, Tang e Pauson (2000) estudaram as propriedades texturais em géis com diferentes concentrações de goma gelana (0,2 a 1,6%) e gelatina (0 a 1,4%), de modo que o total de polímeros somasse 1,6%, na ausência ou presença de íons cálcio (0 a 30 mM), dispersos em água destilada, e mantidos durante uma noite à temperatura ambiente, para formar gel. No texturômetro, os géis foram comprimidos a 30% de seu tamanho original, em uma velocidade de 0,5 mm/s. Os autores concluíram que a adição de gelana aumentou a firmeza dos géis e este aumento foi dependente da concentração de íons cálcio até um ponto crítico, a partir do qual passou a diminuir. O estudo sugere que há uma concentração critica de íons cálcio para aumento de firmeza, e a partir deste ponto, devido à saturação dos grupamentos carboxílicos da gelana, os íons passam a dificultar a formação das redes de gelana, diminuindo a firmeza. Também constataram que a coesividade e a elasticidade foram pouco sensíveis à adição de apenas os hidrocolóides gelana/gelatina e das maiores concentrações de cátions (20-30 mM); entretanto, a adição dos cátions em baixas concentrações (0-10 mM) tornou o gel mais quebradiço, menos coesivo e menos elástico. A maior elasticidade ocorreu na concentração 0,4% de gelana, sem a adição de cálcio, e a menor, na concentração 0,8% de gelana com alto nível de cálcio.

Tang et al. (1997) estudaram géis de goma gelana (variando entre 0,6 e 1,8%) adicionados de cloreto de cálcio (variando entre 15 e 60mM) em testes de compressão e tensão e notaram que os géis foram influenciados pela combinação das diferentes concentrações de gelana e cálcio e que a elasticidade aumentou com o aumento da concentração de goma gelana. A presença dos cátions aumentou a resistência à deformação até um ponto crítico, a partir do qual não ocorreu alteração. Para gel com 0,6% de gelana, esta concentração oscilou entre 2 e 9 mM de íons Ca^{2+} .

Moritaka et al. (1998) avaliaram o efeito de adição, em diferentes concentrações, dos ingredientes: goma gelana (0,3; 0,5 e 0,8%), leite em pó (entre 8,0 e 5,7%) e adoçante (aspartame com xarope de maltose, entre 2,2 e 4,7%), na

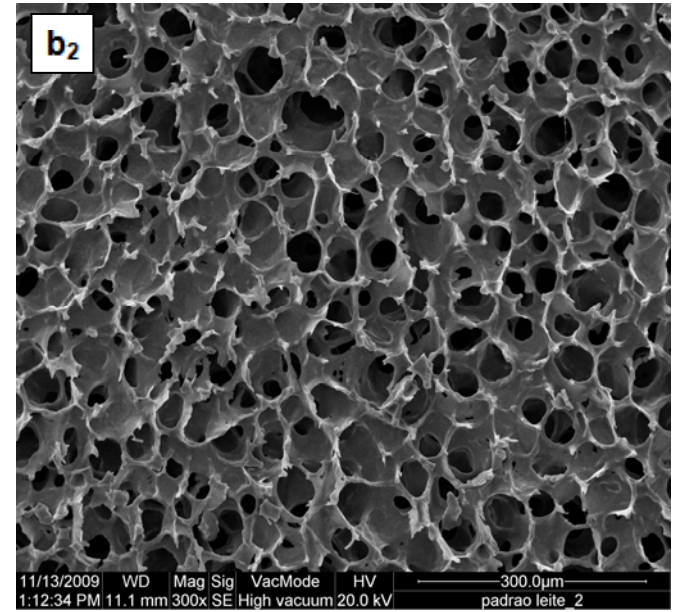
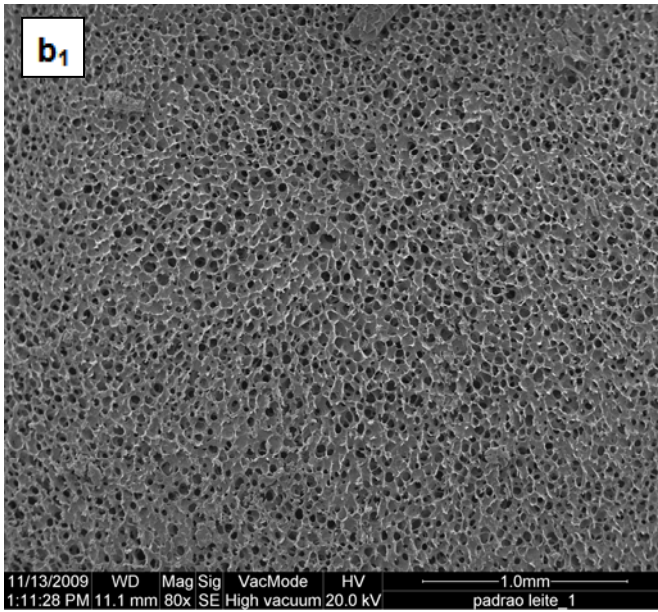
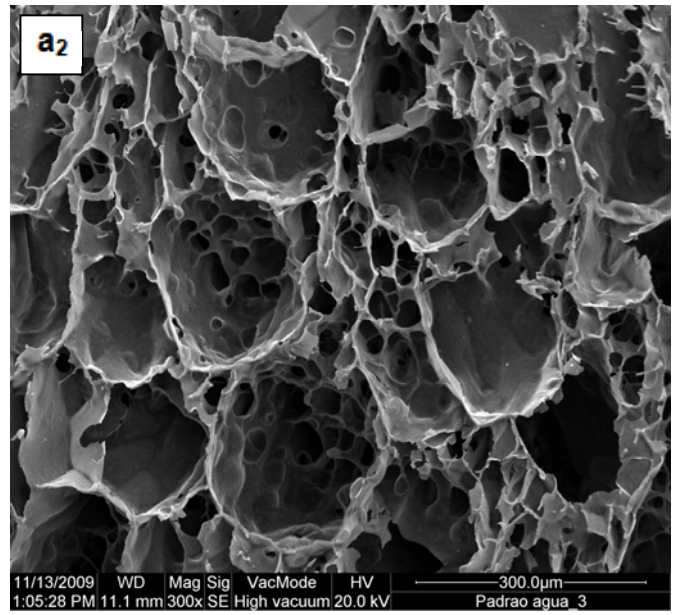
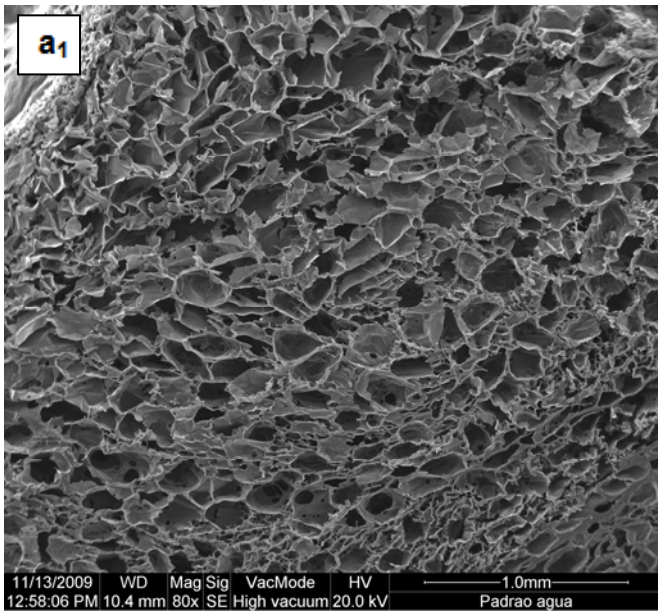
textura de geléias . Foi avaliada a dureza, através de teste de compressão com reômetro, A análise demonstrou que a firmeza da geléia foi mais dependente da concentração de gelana do que das demais variáveis. Nas geléias com alta concentração de gelana, a firmeza não foi afetada pela variação na concentração de leite ou adoçante, enquanto nas menores concentrações de gelana, a dureza foi fortemente alterada pela presença do leite.

Vandeputtea et al. (2003) investigaram a textura de géis de amido (normal ou ceroso) de cinco diferentes cultivares de arroz. Dispersões contendo 8% de amido foram gelatinizadas em viscógrafo Brabender e posteriormente armazenadas a 6°C durante 2 dias ou 2 semanas. A análise de textura foi feita com texturômetro equipado com peso de 5 kg, compressão de 0,5 cm, e velocidade de compressão de 1 mm/s, sendo uma das amostras mantida pressionada por 60 segundos. Foram avaliados firmeza e elasticidade.

Os autores notaram que o amido de arroz normal apresentou maior firmeza após o armazenamento e menor elasticidade que o amido ceroso, o que confirma que a baixa quantidade de amilose é a principal responsável pela alta elasticidade e pela baixa firmeza do gel de amido de mandioca estudado no presente trabalho.

5.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

As imagens da microestrutura capturadas através de microscópio eletrônico de varredura (MEV), para os géis da amostra padrão e para os demais tratamentos, no SA ou SL, são apresentados na Figura 17.



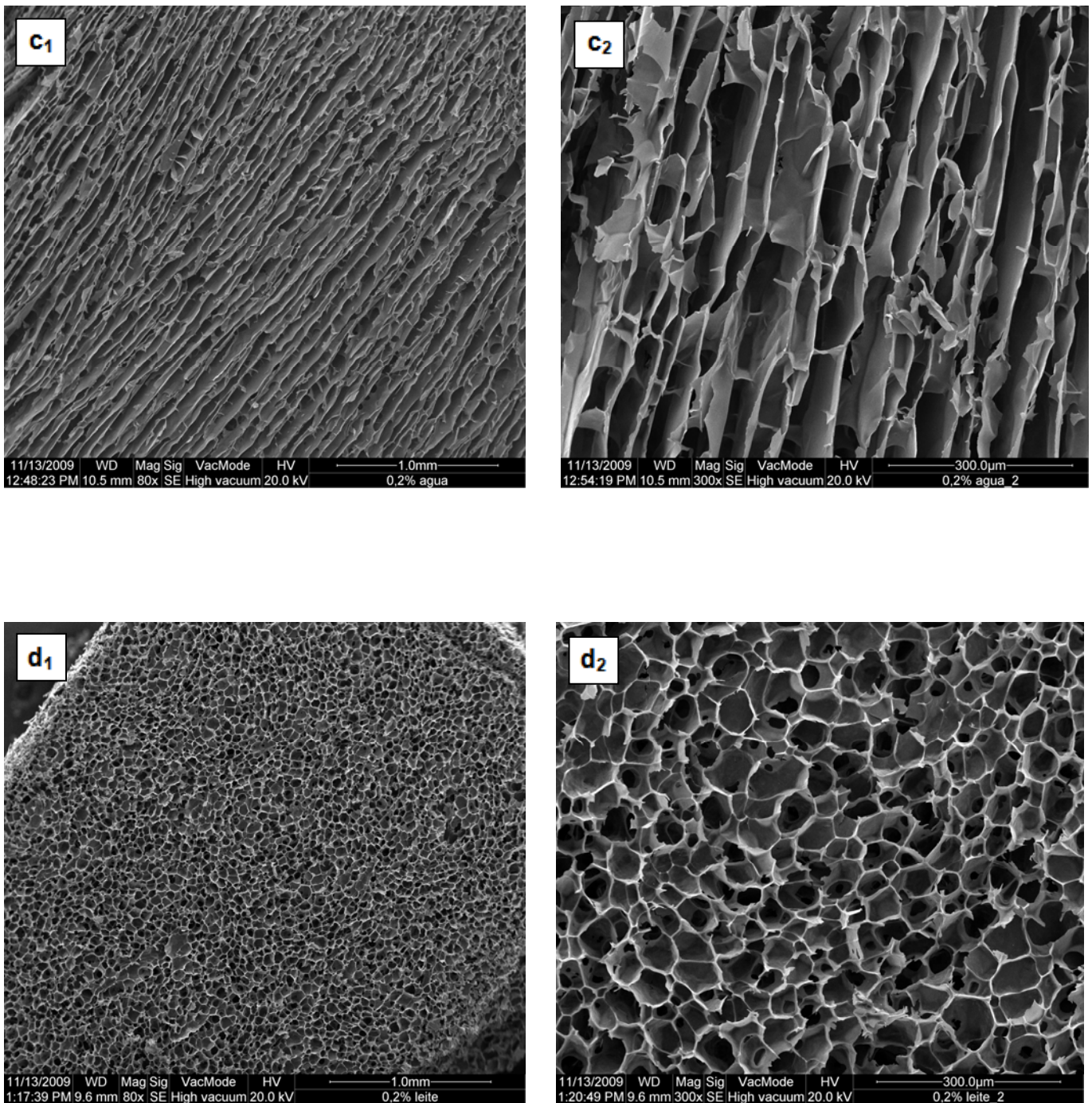


Figura 17 – Imagens da microestrutura capturadas através de microscópio de varredura eletrônica (MEV) dos géis de: (a₁), (a₂), amostra P (A 5%) no SA; (b₁), (b₂), amostra P (A 5 %) no SL; (c₁), (c₂) amostra A+ G 0,2 (SA); (d₁), (d₂), e amostra A+G 0,2 (SL).

O gel da amostra P no SA (Figuras 17 a₁, a₂) apresentou dois tipos de poros, ambos elípticos - arredondados, a maior parte com tamanho de aproximadamente 150 µm, circundados, em menor quantidade, por alguns poros de

aproximadamente 50 μm . O gel da amostra P, no SL (Figuras 17 b₁, b₂), apresentou seus poros mais arredondados, mais uniformes, com tamanho médio de 70 μm , enquanto o gel da amostra A+G 0,2 (SA) (Figuras 17 c₁, c₂) apresentou uma estrutura dos poros diferenciada, retangular e de tamanho bastante variável, sendo a maior parte deles com comprimento de aproximadamente 200 μm . O gel da amostra A+G 0,2 (SL) (Figuras 17 d₁, d₂) foi similar ao da amostra P no sistema SL, com poros arredondados uniformes, com tamanho médio de 70 μm .

Ao relacionarmos os perfis microscópicos dos géis com suas propriedades texturais, notamos que no SA, a adição de goma diminuiu a firmeza, o que pode estar relacionado com a formação de poros retangulares maiores, mais irregulares e mal formados (Figuras 17 c₁, c₂). Provavelmente, a formação destes poros é devido à ausência dos cátions no SA, que dificulta a formação do gel, conforme mencionado no item propriedades de pasta (item 4.1). No SL, apesar da análise de textura ter mostrado também aumento da firmeza com a adição da goma gelana, não houve variação sensível na estrutura microscópica (comparação entre b₁, b₂ e d₁, d₂, na Figura 17).

As alterações microestruturais ocasionadas pela adição de 0,2% de gelana no SA não causaram mudanças da elasticidade (Tabela 4). Este resultado pode indicar que a elasticidade não depende da estrutura dos poros, ou talvez dependa de uma microestrutura molecular mais complexa, não visível em microscopia eletrônica de varredura.

A amostra P, no SL, apresentou a menor gomosidade e a amostra A+G 0,2 (SL) a maior (Tabela 4), sendo que ambas tem microestruturas semelhantes (Figuras 17 b₁, b₂ e d₁, d₂, respectivamente). As amostras P e A+G 0,2 no SA, apesar de apresentar microestruturas diferenciadas (Figuras 17 a₁, a₂ e c₁, c₂, respectivamente) tem a mesmo valor de gomosidade, por isso não foi possível relacionar a estrutura dos poros com este parâmetro.

Como a presença do leite e da goma aumentou a adesividade (Tabela 4), podemos especular que a estrutura com poros maiores e menores ao redor (estrutura da amostra P no SA) possa ser, ao menos em parte, a responsável pela baixa adesividade da amostra no SA, enquanto as demais estruturas favoreceriam a maior adesividade.

Como a amostra P (SA) foi a única a apresentar estrutura com poros elíptico-arredondados, com dois tamanhos médios, poderíamos afirmar que a presença do leite não permite esta formação, assim como a presença da gelana que, na ausência do leite, também altera a estrutura dos poros. Sendo que a estrutura do leite prevalece sobre a estrutura da gelana, quando os dois são adicionados simultaneamente.

Mao, Tang e Swanson (2001) estudaram géis de gelana (1%) adicionados de diferentes concentrações de íons cálcio (4, 6, 20 e 60 mM). Os géis foram pré-aquecidos a 90° e mantidos à temperatura ambiente por 1 dia. Após, foram desidratados e observados no microscópio eletrônico de varredura (MEV). Os resultados para as concentrações 4 e 6 mM de Ca foram semelhantes aos nossos, apresentando uma estrutura com poros arredondados, entretanto com tamanho médio menor, e com variação de tamanho maior (entre 0,1 e 1 µm). Os autores citam que os poros menores provavelmente são responsáveis pela estabilidade (sinerese e textura) do gel após longo tempo de armazenamento, devido a que estes, com maior força capilar, prenderam mais a água do que os poros maiores, que seriam responsáveis pelo comportamento do gel quando ele é submetido a forças externas. Neste estudo os poros menores não foram afetados pela presença do cálcio, somente os poros maiores.

Lan et al. (2008) avaliaram géis de amido de pinha chinesa que foram submetidos a ciclos de congelamento/descongelamento e que apresentaram poros arredondados semelhantes aos encontrados no presente estudo. Os autores afirmam que os poros são ocupados pelos cristais de gelo, que são contornados pela fase concentrada em amido, a membrana do poro, e que o congelamento/descongelamento torna a membrana mais fina e os poros maiores.

Sundaram e Durance (2008) estudaram géis de amido de mandioca (3%) adicionados de pectina (2%) e goma locusta (3%). Para a formação do gel, a solução foi posta em um copo, congelado a - 80°C, imerso em solução de cloreto de cálcio por 16 horas. O gel foi formado através de ligação covalente entre o cloreto de cálcio e a goma locusta, assim como entre a pectina e o cloreto de cálcio, os géis foram cortados e cobertos com ouro para análise dos poros. Os géis apresentaram poros colapsados com tamanho médio de 93,5 µm.

Arunyanart e Charoenrein (2008) estudaram géis de amido de arroz (8%) contendo 0, 10 ou 20% de açúcar, aquecidos a 80, 82 e 87 °C por 25 min. As amostras foram congeladas a -18°C por 22 horas e descongeladas à temperatura ambiente por duas horas. A seguir, foram desidratadas em etanol, cortadas e observadas em microscópio ótico. As amostras de amido puro apresentaram estrutura semelhante, com poros arredondados, estrutura fibrilar espessa, e tamanho médio do poro de 100 µm, sendo que a adição de 20% de açúcar tornou os poros mais homogêneos e menores. Os autores afirmam que vários ciclos de congelamento/descongelamento aumentam o tamanho dos poros e diminuem a espessura da parede.

Miao et al. (2008), estudaram géis de amido de milho nativo, em diferentes concentrações (15, 20 ou 25%). O amido foi adicionado a 20 ml de água a 95°C sob agitação e resfriado à temperatura ambiente. O gel foi desidratado pela adição de etanol e CO₂ supercrítico, a pressão e temperatura controlada. As amostras foram observadas em microscópio eletrônico de varredura. Todas as amostras apresentaram poros, com diâmetros entre 0,03 e 0,05 µm e estrutura homogênea, sendo alguns interconectados, sendo que os géis preparados nas menores concentrações apresentaram fibras menores e estruturas menos densas.

5.5 ANÁLISE SENSORIAL

Os resultados para a análise sensorial dos géis da amostra padrão e para os demais tratamentos são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Médias das notas atribuídas aos parâmetros no teste de aceitação para as amostras padrão no SA e no SL e para as amostras adicionadas de 0,2% de goma gelana.

Tratamento	Textura*	Sabor*	Aceitação Global*
P (SA)	4,95 ± 0,26 ^B	2,75 ± 0,16 ^B	3,15 ± 0,19 ^C
A G 0,2 (SA)	4,93 ± 0,28 ^B	2,81 ± 0,20 ^B	3,19 ± 0,22 ^C
P (SL)	6,37 ± 0,23 ^A	6,32 ± 0,21 ^A	6,42 ± 0,20 ^A
A G 0,2 (SL)	4,80 ± 0,21 ^B	5,68 ± 0,20 ^A	5,42 ± 0,20 ^B

* Escala hedônica de 7 pontos: 1 = Desgostei muito 7 = Gostei muito

Médias com letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

As amostras P e A+G 0,2 (SA) (sem goma e sem leite), apresentaram as menores notas para os três parâmetros avaliados (textura, sabor e aceitação global), enquanto a amostra P (SL) apresentou as maiores notas. A amostra A+ G 0,2% (SL) apresentou menor nota para textura, equivalente às das amostras do SA, nota similar à do P (SL) para sabor, e nota intermediária para aceitação global

Os resultados indicam que, na ausência do leite, os géis não apresentaram textura nem sabor ideal para um pudim. A adição de gelana ao gel de amido no SA não foi suficiente para melhorar esses atributos. A textura não apresentou melhora, provavelmente, devido à ausência dos íons necessários para a formação das redes de gelana; já o sabor deve ser consequência da falta dos componentes do leite (proteínas e lactose, principalmente) que tem contribuição importante para esse parâmetro. A presença do leite melhorou tanto o sabor quanto a textura do gel, entretanto, a adição da goma no SL diminuiu a qualidade do gel para textura, ao contrário do esperado, e manteve a qualidade para sabor. O melhor gel, então, foi o P seguido do A+ G 0,2%, ambos do SL.

Ao compararmos o resultado do teste de aceitação com os resultados do texturômetro (APT), apresentados no item 4.4, notamos que dentro do SL, a textura mais aceita, da amostra P, foi a que teve a menor firmeza, adesividade e gomosidade. Ao relacionarmos os resultados sensoriais com a microestrutura apresentada no item 4.5, notamos que as amostras de gel mais bem aceitas

apresentaram estrutura semelhante, com poros uniformes, de aproximadamente 70 μm .

5.6 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

Os resultados obtidos através da análise de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) para as pastas padrão e para os demais tratamentos são apresentados na Figura 18.

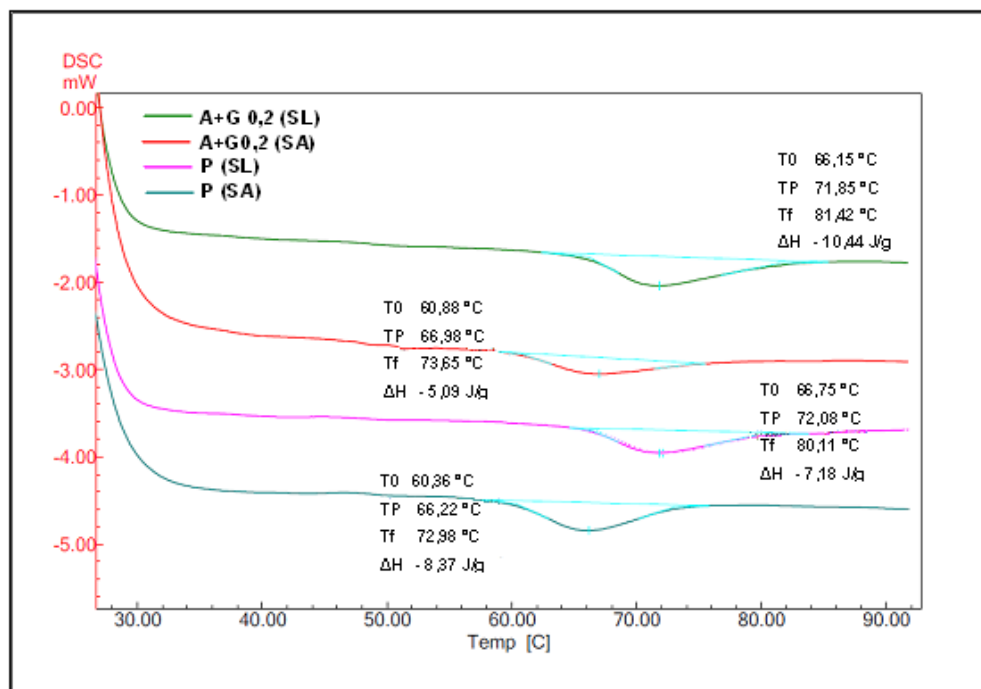


Figura 18 – Comparação da temperatura de início (T_0), de pico (T_P), final (T_F), e da entalpia de gelatinização (ΔH) entre as amostras padrão e os tratamentos contendo 0,2% de gelena, em água ou em leite.

A presença do leite, nas pastas do SL, dificultou o processo de gelatinização, provavelmente devido à menor disponibilidade de água para o grânulo. Foram encontrados maiores valores para a T_0 do SL em comparação ao SA, o que está de acordo com os resultados das propriedades de pasta,

apresentados no item 4.1, onde as amostras com leite apresentaram tendência de necessitar de maior temperatura para formarem pasta.

No SA, a adição de goma proporcionou aumento das T_0 , T_P e T_F , e a diminuição da ΔH . Resultados semelhantes foram encontrados por Kang e Supphantharika (2006), que estudaram através da Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC) o efeito da adição de goma xantana em amido de mandioca (24% total de polissacarídeos). Os autores afirmam que a ΔH esta relacionada com o derretimento das hélices das moléculas de amido.

A T_P de gelatinização foi maior para o SL, em comparação ao SA, o que confirma que no SL a perda da cristalinidade do grânulo de amido foi mais lenta.

As temperaturas de gelatinização encontradas para o amido de mandioca são baixas, se comparadas com a de outros amidos. A literatura cita, para o amido de inhame, $T_0 = 73 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_P = 76 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\Delta H = 4,4 \text{ (J/g)}$ (MALI et al., 2003), ou para o amido de batata doce, $T_0 = 62,85 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_P = 70,55 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\Delta H = 12,9 \text{ J/g}$ (PERONI; ROCHA; FRANCO, 2006), o que ratifica a teoria de que o grânulo de amido de mandioca apresenta fraca força interna. Alta T_0 e ΔH indicam estrutura cristalina forte ou uma maior ordem molecular (COOKE; GIDLEY, 1992).

O maior valor de ΔH foi encontrado na amostra A+ G 0,2 no SL, e corresponde a 10,44J/g, e o menor, na amostra A+ G 0,2 no SA, apresentando um valor de 5,09 J/g. Chaisawang e Supphantharika (2006) estudaram a temperatura e a entalpia de gelatinização do amido de mandioca (6%) adicionado de goma guar ou xantana (0,35%), utilizando temperatura de escaneamento entre 20 e 90°C. A ΔH foi menor nas amostras com goma que nas amostras de amido puro, e os autores afirmaram que esta diminuição ocorre devido à redução da água disponível, o que faz com que haja uma gelatinização parcial das regiões cristalinas do amido, diminuindo o efeito da interação goma/amido. Por analogia, uma possibilidade na menor ΔH da amostra A+ G 0,2 no SA pode ser a não interação entre amido e goma. No estudo de Chaisawang e Supphantharika (2006), a T_0 e a T_P das amostras com goma aumentaram e a T_F não foi alterada pela presença das gomas.

Peroni, Rocha e Franco (2006) estudaram as propriedades de gelatinização do amido de mandioca através de calorimetria diferencial exploratória. Utilizaram 2 mg de amido em 6 μL de água com temperatura de escaneamento entre

25 e 100°C e obtiveram resultados semelhantes aos nossos em relação às temperaturas ($T_0 = 61,55$ °C, $T_p = 66,68$ °C), mas o ΔH foi maior (10,04 J/g).

Mali et al. (2003) estudaram as características térmicas em suspensões de amido de inhame (6%) adicionados de goma guar ou xantana (0,1; 0,3 ou 0,5%) e observaram que a adição dos hidrocolóides não alterou as temperaturas nem a entalpia de gelatinização.

Lee et al. (2002) estudaram as propriedades térmicas de suspensões de amido de batata doce (7%) adicionados das gomas guar, alginato ou xantana (0,3 ou 0,6%), utilizando temperatura de escaneamento entre 10 a 120°C. Os autores notaram que a T_0 diminuiu somente com a adição de xantana, sendo que as demais gomas não alteraram a temperatura de início de gelatinização. A entalpia de gelatinização diminuiu com a adição das gomas guar e alginato e aumentou com a adição da xantana.

Os vários estudos realizados indicam que os efeitos podem variar, em função da fonte de amido e do tipo e concentração da goma adicionada.

5.7 ANÁLISE DE ESTRUTURA DO GRÂNULO X VISCOSIDADE EM REÔMETRO (RHEOSCOPY)

Os resultados da análise grânulo / viscosidade em Reômetro (Rheoscopy) das patas padrão e dos demais tratamentos são apresentados nas Figuras 19 a 22.

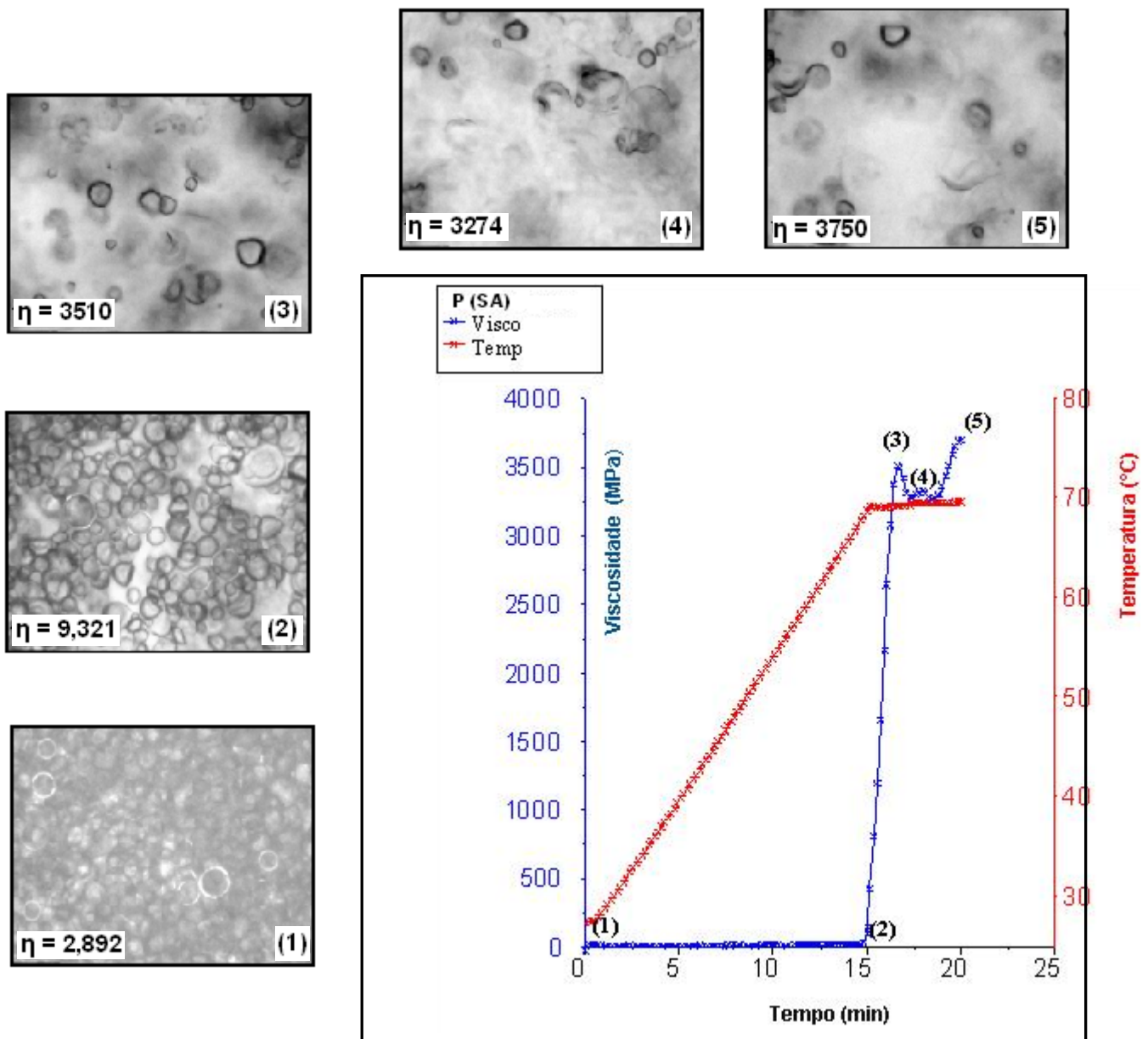


Figura 19 – Imagens dos grânulos de amido da amostra P (SA) durante o aquecimento no reômetro. Os pontos indicados por números entre parênteses relacionam a imagem do grânulo com sua viscosidade no gráfico.

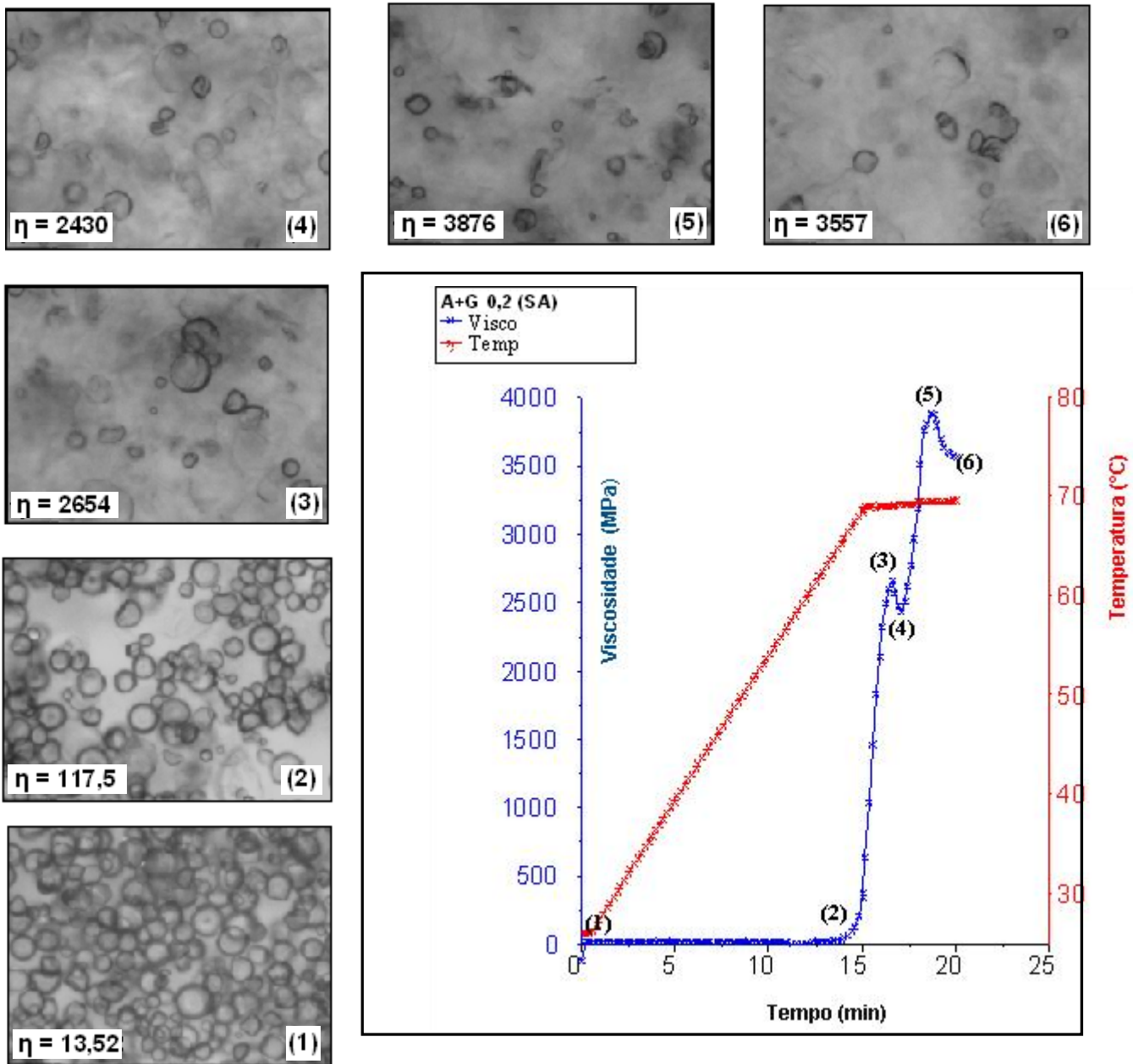


Figura 20 – Imagens dos grânulos de amido da amostra A+G 0,2 (SA) durante o aquecimento no reômetro. Os pontos indicados por números entre parênteses relacionam a imagem do grânulo com sua viscosidade no gráfico.

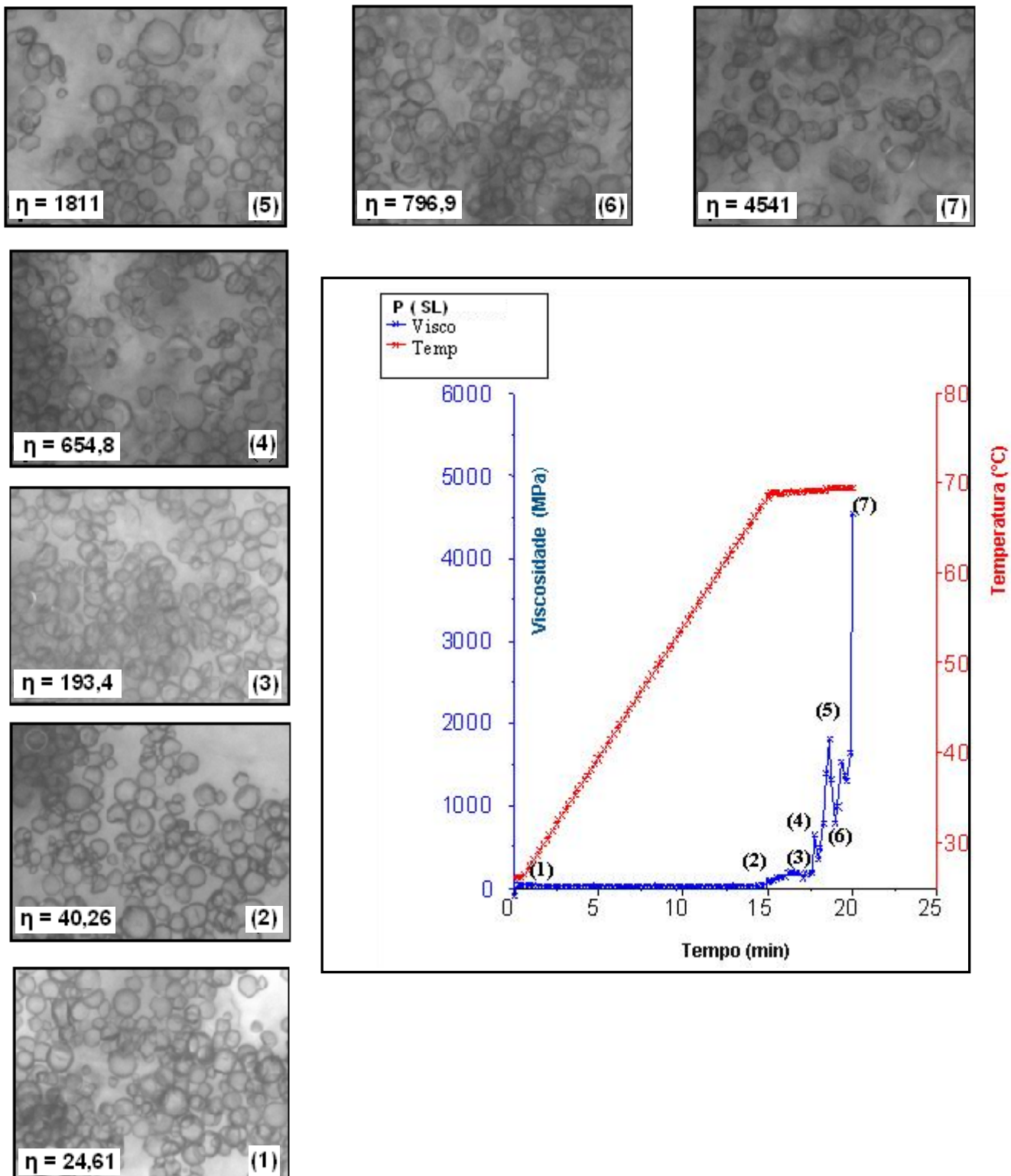


Figura 21 – Imagens dos grânulos de amido da amostra P (SL) durante o aquecimento no reômetro. Os pontos indicados por números entre parênteses relacionam a imagem do grânulo com sua viscosidade no gráfico.

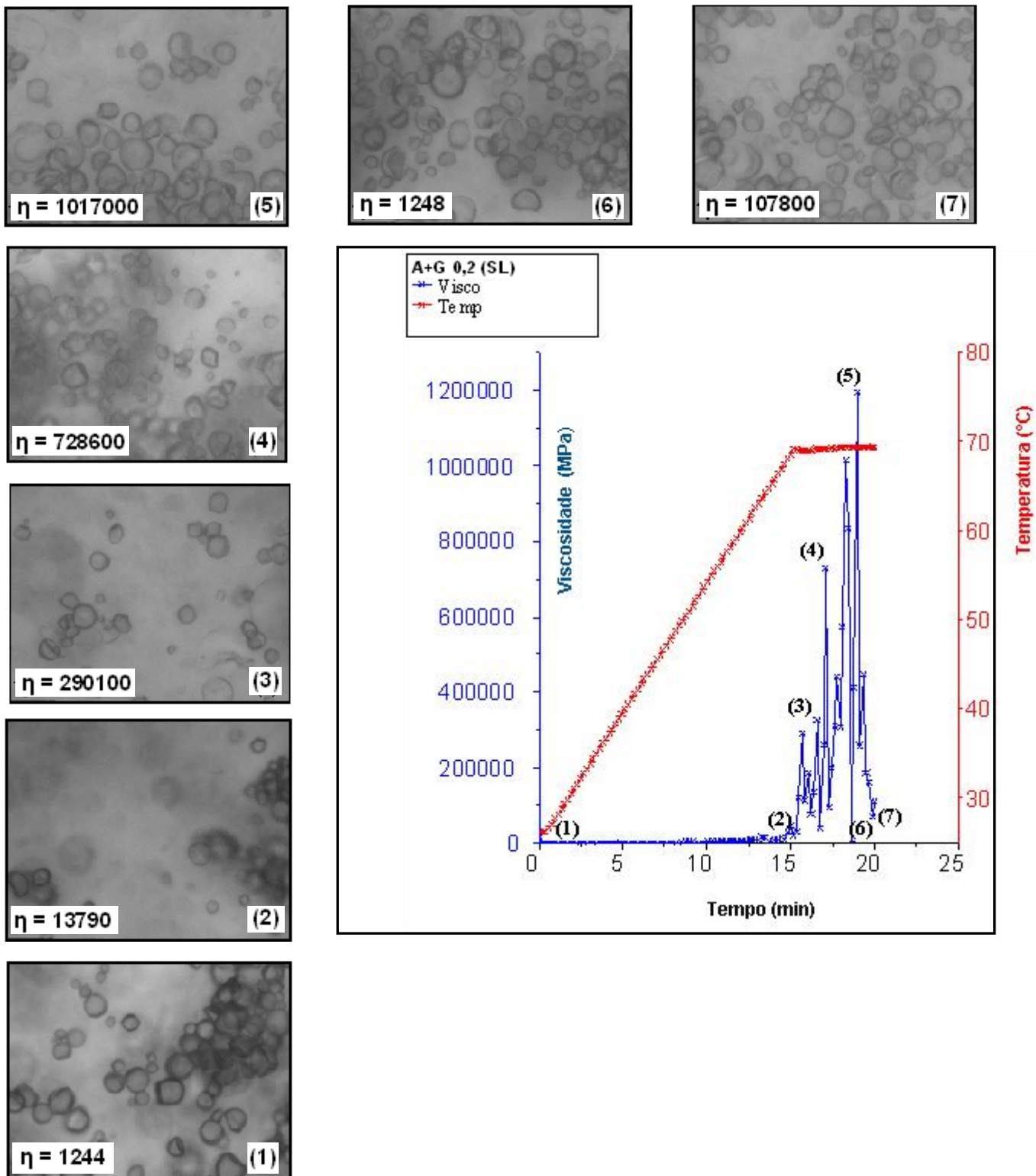


Figura 22 – Imagens dos grânulos de amido da amostra A+G 0,2 (SL) durante o aquecimento no reômetro. Os pontos indicados por números entre parênteses relacionam a imagem do grânulo com sua viscosidade no gráfico.

Todas as amostras apresentaram início do aumento da viscosidade no tempo 15 minutos, que equivale à temperatura de 70°C. Nesta mesma temperatura, as amostras do SA apresentaram início do rompimento dos grânulos. A presença da goma no SA elevou o pico da viscosidade, mas não atrasou o início do rompimento dos grânulos. Estes resultados estão de acordo com os obtidos para propriedades de pasta, onde a adição da goma no SA não alterou a temperatura de início da formação de pasta, mas resultou em aumento da viscosidade máxima.

Para as amostras do SA, notamos que após o início do rompimento dos grânulos (Ponto 3 da figura 19 e figura 20), houve uma queda na viscosidade, seguida por um aumento da viscosidade que pode ser visto nos pontos 3.5 e 4.5. Tan, Trley e Halley (2008) estudaram diversos tipos de amido em reômetro e obtiveram o mesmo resultado. Afirmaram que somente os grânulos maiores intumescem primeiramente, o que causa diminuição da viscosidade. Com o aumento da temperatura, os grânulos menores, que aparentemente necessitam de maiores temperaturas, intumescem e a viscosidade aumenta.

A presença do leite ou da goma não alterou a temperatura do pico de viscosidade que, para todas as amostras, foi atingido aproximadamente no tempo de 18 minutos, que equivale a 8 minutos de permanência em 70°C. A adição de gelana no SL aumentou intensamente a viscosidade. Resultados similares foram obtidos na análise das propriedades de pasta.

Somente as amostras com goma gelana atingiram o pico antes dos 20 minutos, e após apresentaram queda na viscosidade, o que não ocorreu nas amostras padrão. A adição do leite e da goma tornou a viscosidade mais instável. A alta sensibilidade do reômetro registrou esta variação de forma mais intensa que o viscógrafo Brabender.

Quanto à estrutura dos *fantasmas* (*ghosts*) dos grânulos após a gelatinização, a presença do leite tornou-os mais visíveis (Figuras 21 e 22). Nas amostras do SA (Figuras 19 e 20) estes quase não são visíveis. Resultados semelhantes foram obtidos por Tan, Trley e Halley (2008), para amido de milho ceroso (2%). No SL, os grânulos aparentemente ficaram mais resistentes à temperatura o que pode explicar a maior viscosidade desenvolvida neste sistema.

Tan, Trley e Halley (2008) estudaram em reômetro a gelatinização de misturas de amido (2%) de cevada, trigo ou milho, com diferentes teores de

amilose (0%, 24%, 55% e 85%), adicionados de 0,1% de goma guar. As amostras foram mantidas a 50°C por 2 minutos e, posteriormente, aquecidas até 90°C, mantidas por 8 minutos nesta temperatura, e posteriormente resfriadas a 50°C por 4 minutos.

Verificaram que os grânulos do amido de milho intumesceram e a viscosidade aumentou proporcionalmente, apresentando uma boa relação entre intumescimento / viscosidade, o que não ocorreu para os amidos de trigo e cevada, provavelmente devido à maior homogeneidade dos grânulos do amido de milho. Os grânulos de milho começaram a intumescer a 90°C, já os amidos de trigo e cevada começaram a intumescer a 60°C. Estas variações são relativas ao tamanho dos grânulos e às condições da análise. Ao compararmos amidos de diferentes origens botânicas, a força interna do grânulo também influencia o resultado.

Em relação ao remanescente de grânulo (*fantasma*), o de amido ceroso quase não é visível, enquanto para as amostras de milho normal e para a de alto teor de amilose estes ficaram melhor definidos.

Pei et al. (2007) estudaram, em reômetro, o amido de milho com diferentes teores amilose/amilopectina: ceroso, normal, Gelose (50/50) e Gelose (80/20), na concentração 0.2%. As amostras foram aquecidas até 95 °C (2 °C/min). Os grânulos do milho normal e ceroso romperam a 75 e 85°C, respectivamente, sendo que os grânulos com mais amilopectina apresentaram maior intumescimento do grânulo enquanto que os grânulos das amostras Gelose 50 e Gelose 80 não romperam, mesmo a 100°C. Os autores citam que ocorre um escurecimento ao redor dos grânulos, conforme são aquecidos e se dissolvem na suspensão. Este escurecimento pode ser visto, também, no presente estudo, em todas as análises exceto na A+G 0,2 (SL).

6 CONCLUSÕES

A adição da goma gelana na dispersão de amido de mandioca do AS no viscógrafo Brabender, não alterou o início da formação de pasta. Na dispersão do SL a adição da goma apresentou tendência de atrasar a formação de pasta. A formação de pasta em menores temperaturas é interessante, pois demanda menos energia térmica no processo industrial do alimento. A presença da gelana aumentou a viscosidade da pasta de amido, sendo que a goma e o leite apresentaram efeito sinérgico neste aumento de viscosidade. Uma alta viscosidade é interessante, desde que apresente estabilidade térmica, pois demanda menor concentração de ingredientes no desenvolvimento de um produto alimentício.

A gelana não alterou a estabilidade térmica (BD) da pasta de amido no SA, mas diminuiu a estabilidade no SL, o que é prejudicial para o processamento industrial. A presença do leite aumentou a estabilidade térmica das pastas de amido no viscógrafo Brabender, em relação às amostras do SA.

Os géis de amido padrão e demais tratamentos contendo gelana, submetidos a 7 dias de armazenamento sob refrigeração não apresentaram sinerese, o que indica que o gel de amido de mandioca é estável ao armazenamento e que a adição da gelana não prejudica esta característica.

A adição da gelana apresentou pouco efeito nos géis de amido do SA. Nos géis do SL a adição de gelana apresentou um efeito adverso refletido no aumento da adesividade do gel, contudo, em concentrações específicas (0,1% e 0,3%) apresentou um efeito benéfico, diminuindo a elasticidade do gel de amido de mandioca.

A análise microscópica (MEV) demonstrou que os géis do SA apresentaram estrutura dos poros mais heterogênea, enquanto os géis do SL são mais homogêneos. Os géis do SL apresentaram maior aceitação, sendo que a gelana não melhorou a aceitação no que diz respeito à textura. O leite dificultou o processo de gelatinização do amido sendo que a gelana, no SA diminuiu a entalpia de gelatinização e no SL aumentou a entalpia de gelatinização. Uma menor entalpia de gelatinização é interessante, pois representa menor utilização de energia no processamento industrial.

A adição de goma gelana não foi eficaz para a obtenção de uma pasta de amido de mandioca com estabilidade térmica. Não há necessidade da adição de gelana para diminuir a sinerese nos géis de amido de mandioca armazenados. É possível diminuir a elasticidade dos géis de amido adicionando concentrações específicas de gelana, entretanto a adição da gelana não diminui a adesividade.

REFERÊNCIAS

- ARUNYANART, T. CHAROENREIN, S. Effect of sucrose on the freeze–thaw stability of rice starch gels: Correlation with microstructure and freezable water. **Carbohydrate Polymers**, v. 74, p. 514–518, 2008.
- BEMILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. Carbohydrates. In: FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**. 3. ed. New York: Marcel Dekker, 1996.
- BILIADERIS, C. G.; MAURICE, T. J.; VOSE, J. R. Starch gelatinisation phenomena studies by differential scanning calorimetry. **Journal of Food Science**, v. 45, p. 1669-1674, 1980.
- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 2001.
- BRYANT, C. M.; MCCLEMENTS, D. J. Molecular basis of protein functionality with special consideration of cold-set gels derived from heat-denatured whey. **Trends in Food Science & Technology**, v. 9, p. 143-151, 1998.
- BULÉON, A. et al. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 23, p. 85-112, 1998.
- CHAISAWANG, M.; SUPHANTHARIKA. Pasting and reological properties of native and anionic tapioca starches as modified by guar gum and xanthan gum. **Food Hydrocolloids**, v. 20, p. 641-649, 2006.
- CHANDRASEKARAN, R.; RADHA, A. Molecular architectures and functional properties of gellan gum and related polysaccharides. **Food science & Technology**, v. 6, p. 143-148, 1995.
- CHAPLIN, M. **Water Structure and Science: Carboxymethylcellulose (CMC)**. London South Bank University. London, UK. Disponível em: <<http://www1.lsbu.ac.uk/water/hycmc.html>>. Acesso em: ago. 2009.
- CHRISTIANSON, D. D. Hydrocolloid interactions with starches. In: LINEBACK, D. R.; INGLET, G. E. (Ed.). **Food carbohydrates**, p. 399–419, 1982.
- CHRISTIANSON, D. D. et al. Gelatinisation of wheat starch as modified by xanthan gum, guar gum and cellulose gum. **Cereal Chemistry**, v. 6, p. 513–517, 1981.
- COOKE, D.; GIDLEY, M.J. loss of crystalline and molecular order during starch gelatinization. Origin of the enthalpy transition. **Carbohydrate Research**, v. 227, p. 103-112, 1992.
- DALGLEISH, D. G.; SPAGNUOLO, P. A.; GOFF, H. D. A possible structure of the casein micelle based on high-resolution field-emission scanningelectron microscopy. **International Dairy Journal**, v. 14, p. 1025–1031, 2004.

DAVIDOU, S.; LE MESTE, M.; DEBEVER, E.; BEKAERT, D. **Food Hydrocolloids**, v. 10, p. 375–386, 1996.

FREDRIKSSONA, H. et al. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. **Carbohydrate Polymer**, v. 35, p. 119-134, 1998.

FUNAMI, T. et al. Effect of non-ionic polysaccharides on the gelatinization and retrogradation behavior of wheat starch. **Food Hydrocolloids**, v. 19, p. 1-13, 2005.

GLICKSMAN, M. Food applications of gums. In: LINEBACK, D. R.; INGLETT, G. E. (Ed.). **Food carbohydrates**, Avi, Westport, p. 270–295, 1982.

GLICKSMAN, M. Gelling hydrocolloids in food products application. **Polysaccharides in foods**, 185-204, Londres, Butterworths, 1978.

GUDMUNDSSON, M. Retrogradation of starch and the role of its components. **Thermochimica Acta**, v. 246, p. 329-341, 1994.

HARDING, F. Compositional quality. In: HARDING, F., **Milk Quality**, Gaithersburg, Maryland, UK: Na Aspen Publication, 1999. p. 75

HONGSPRABHAS, P.; ISRAKARN, K.; RATTANAWATTANAPRAKIT, C. Architectural changes if heated mungbean, rice and cassava starch granules: Effects of hydrocolloids and protein-containing envelope. **Carbohydrate Polymers**, v. 67, p. 614-622, 2007.

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

HUANG, M. et al. Characters of rice starch gel modified by gellan, carrageenan, and glucomannan: A texture profile analysis study. **Carbohydrate Polymers**, v. 69, p. 411–418, 2007.

IGOE, R. S. Hydrocolloid interactions useful in food systems. **Food Technology**, v. 4, 1982.

IKEDA, S. et al. Atomic force microscopy studies on cation-induced network formation of gellan. **Food hydrocolloids**, v. 18, p. 727-735, 2004.

ISHIGURO, K. et al. Retrogradation of Sweetpotato Starch. **Starch/Stärke**, v. 52, p. 13–17, 2000.

JANSON, P. E.; LINDBERG, B.; SANDFORD, P. A. Structural studies of gellan gum, an extracellular polysaccharide elaborated by *Pseudomonas elodea*. **Carbohydrate Research**, v. 124, p. 135-139, 1983.

KANG, V. S.; SUPHANTHARIKA, M. Influence of pH and xanthan gum addition on freeze-thaw stability of tapioca starch pastes. **Carbohydrate Polymers**, v. 65, p. 371-380, 2006.

KEOGH, M. K.; LAINÉ, K.I.; O'CONNOR, J. F. Rheology of Sodium caseinate-carragens mixtures. **Journau of texture studies**, v. 26, p. 635-652, 1995.

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

LAN, W. et al. A study on freeze–thaw characteristics and microstructure of Chinese water chestnut starch gels. **Journal of Food Engineering**, v. 88, p. 186–192, 2008.

LAU, M.H.; TANG, A. J.; PAULSON, A. T. Texture profile and turbidity of gellan/gelatin mixed gels. **Food Research International**, v. 33, p. 665-671, 2000.

LEE, M. H. et al. Freeze-thaw stabilization of sweet potato starch gel by polysaccharide gums. **Food Hydrocolloids**, v. 16, p. 345-352, 2002.

LEHNINGER A. L. **Princípios de Bioquímica**. 4. ed. São Paulo: Sarvier, 2006.

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

MALI, S. et al. Influence of pH and hydrocolloids addition on yam (*discorea alata*) starch pastes stability. **Lebensm-Wiss. u-Technol**, v. 36, p. 475-481, 2003.

MANDALA, I. G.; BAYAS, E. Xanthan effect on swelling, solubility and viscosity of wheat starch dispersions. **Food Hydrocolloids**, v. 20, p. 1–11, 2003.

MAO, R.; TANG, J.; SWANSON, B. G. Texture properties of high and low acyl mixed gellan gels. **Carbohydrate Polymers**, v. 41, p. 331–338, 2000.

MAO, R.; TANG, J.; SWANSON, B. G. Walter holding capacity and microstructure of gellan gels. **Carbohydrate Polymers**, v. 46, p. 365-371, 2001.

MIAO, Z. et al. Fabrication of 3D-networks of native starch and their application to produce porous inorganic oxide networks through a supercritical route **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 111, p. 104–109, 2008.

MINATTI, E.. **Reologia e viscosidade de líquidos**. Departamento de Química da UFSC. Florianópolis, SC. 2007. Disponível em:
<[HTTP://www.Qeuc.ufsc.br/~minatti/](http://www.Qeuc.ufsc.br/~minatti/)> Acesso em: ago. 2009.

MIYAMOTO, K. et al. Preparation of carboxymethyl-gellan. **Carbohydrate Polymers**, v. 30, p. 161-164, 1996.

MORITAKA, H. et al. Effects of various ingredients on the texture of milk jelly. **Journal of Texture Studies**, v. 29, p. 387-396, 1998.

MUADKLAY, J.; CHARIENREIN, S. Effects of hydrocolloids and freezing rates on freeze-thaw stability of tapioca starch gels. **Food Hydrocolloids**, v. 22, p. 1268-1272, 2008.

NISHINARI, K. Rheological and DSC study of sol-gel transition in aqueous dispersions of industrially important polymers and colloids. **Colloid Polymer Science**, v. 275, p. 1093-1107, 1997.

NODA, S. et al. O. Molecular structures of gellan gum imaged with atomic force microscopy in relation to the rheological behavior in aqueous systems. 1. Gellan gum with various acyl contents in the presence and absence of potassium. **Food Hydrocolloids**, v. 22, p. 1148-1159, 2008.

OGAWA, E.; MATSUZAWA, H.; IWAHASHI, M. Conformational transition of gellan gum of sodium, lithium, and potassium types in aqueous solutions. **Food Hydrocolloids**, v. 16, p. 1-9, 2002.

OGAWA, E. et al. Effects of molar mass on the coil to helix transition of sodium-type gellan gums in aqueous solutions. **Food Hydrocolloids**, v. 20, p. 378-385, 2006.

OMOTO, T.; UNO, Y.; ASAI, I. The latest technologies for the application of gellan gum. **Progress in Colloid and Polymer Science**, v. 114, p. 123-126, 1999.

OPHARDT, C. E. **Virtual chembook**. Department of Chemistry, Elmhurst College, Elmhurst, IL. 2003. Disponível em:
<<http://www.elmhurst.edu/~chm/vchembook/547starch.html>>. Acesso em: ago. 2008.

PEI, C. et al. Phase transition of starch granules observed by microscope under shearless and shear conditions. **Carbohydrate Polymers**, v. 68, p. 495-501, 2007.

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.

PONGSAWATMANIT, R.; TEMSIRIPONG, T.; IKEDA, S.; NISHINARI K. Influence of tamarind seed xyloglucan on rheological properties and thermal stability of tapioca starch. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 41-50, 2006.

PSZCZOLA, D. E. Gellan gum wins IFT's food technology industrial achievement award. **Food Technology**, v. 9, p. 94-96, 1993.

KEOGH, M. K.; LAINÉ, K.I.; O'CONNOR, J. F. Rheology of Sodium caseinate-carragens mixtures. **Journal of Texture Studies**, v. 26, p. 635-652, 1995.

RODRÍGUES-HERNÁNDEZ, A. I. et al. Rheology-structure properties of gellan systems: evidence of network formation at low gellan concentrations. **Food Hydrocolloids**, v. 17, p. 621–628, 2003.

ROJAS, J. A., ROSSEL, C. M.; BARBER, B. Pasting properties of different wheat flour–hydrocolloid systems. **Food Hydrocolloids**, v. 13, p. 27–33, 1999.

SANDERSON, G. R. et al. The texture of gellan gum gels. In: PHILLIPS, G. O.; WEDLOCK, D. J.; WILLIAMS, P. A. (Ed.). **Gums and Stabilisers for the food industry**. Oxford: IRL Press, 1988. v. 4. p. 219-229.

SANDERSON, G. R. Gellan gum. In HARRIS, P. (Ed.). **Food Gels**. New York: Elsevier Science Publishers Ltd, 1990.

SHI, X.; BEMILER, J. N. Effects of food gums on viscosities of starch suspension during pasting. **Carbohydrate Polymers**, v. 50, p. 7-18, 2001.

SRIAMORNSAK, P.; SUNGTHONGJEEN, S. Modification of Theophylline Release With Alginate Gel Formed in Hard Capsules. **AAPS PharmSciTech**. v. 3, p. 1-8, 2007

SUNDARAM, J.; DURANCE, T. D. Water sorption and physical properties of locust bean gum–pectin–starch composite gel dried using different drying methods. **Food Hydrocolloids**, v. 22, p. 1352–1361, 2008.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preferences**. v. 13, p. 215-225, 2002.

TAN, I.; TRLEY, P.J.; HALLEY P.J. Combined rheological and optical investigation of maize, barley and wheat starch gelatinization. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, p. 272–286, 2008.

TANG, J. et al. Stress-Strain Relationships for Gellan Gels in Tension, Compression and Torsion. **Journal of Food Engineering**, .v. 31, p. 511-529, 1997.

TANG, J.; TUNG, M.A.; ZENG, Y. Characterization of gellan gels using stress relation. **Journal of Food Engineering**, v. 38, p. 279-295, 1995.

TIPPLES, K. H. et al. **The amylograph hand book**, The American Association of Cereal Chemists, USA, pp. 1–37, 1980.

WITEK, M. et al. The structural and hydration properties of heat-treated rice studied at multiple length scales. **Food Chemistry**, v. 120, p. 1031–1040, 2010.

YONEMOTO, P. G.; CALORI-DOMINGUES, M. A.; FRANCO, C. M. L. Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 761-771, 2007.

ANEXOS

ANEXO A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Eu, Rafael Machado e Silva Coronato, Brasileiro, Engenheiro Agrônomo, RG 12672612-0, estou lhe convidando a participar de um estudo denominado: “Interação goma gelana / amido de mandioca para aplicação em alimentos”, cujos objetivos e justificativas são: avaliar os efeitos, da adição de goma gelana em géis de amido de mandioca, visando alterar suas propriedades físicas sem prejudicar suas qualidades sensoriais.

A sua participação no referido estudo será no sentido de provar géis produzidos com amido de mandioca e goma gelana e informar o quanto gostou ou desgostou, utilizando uma escala hedônica.

Informo que ao participar da pesquisa, o provador voluntário pode esperar alguns benefícios, tais como: satisfação de ter contribuído para o desenvolvimento de uma mistura amido / goma gelana que quando processado na indústria de alimentos, apresente propriedades sensoriais e físicas (principalmente viscosidade) adequados.

Esclarecemos que não existem possibilidades de desconfortos ou riscos decorrentes do estudo, pois tanto amido de mandioca como goma gelana são produtos reconhecidos como seguros. Asseguramos ao provador que sua privacidade será respeitada, ou seja, seu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de qualquer forma, lhe identificar, será mantido em sigilo.

Informo que o provador pode se recusar a participar do estudo, ou retirar seu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar, e de, por desejar sair da pesquisa, não sofrera qualquer prejuízo à assistência que vier recebendo.

Os pesquisadores envolvidos com o referido projeto são: Doutora Maria Victória Eiras Grossmann, Universidade Estadual de Londrina (43- 3371 4987) e Rafael Machado e Silva Coronato, Universidade Estadual de Londrina, mestrando (43-91495266).

É assegurada a assistência durante toda pesquisa, bem como é garantido o livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e

suas conseqüências, enfim, tudo o que o provador queira saber antes, durante e depois da sua participação.

Enfim, tendo sido orientado quanto ao teor de todo o aqui mencionado e compreendido a natureza e o objetivo do já referido estudo, manifesto meu livre consentimento em participar, estando totalmente ciente de que não há nenhum valor econômico, a receber ou a pagar, por minha participação.

Londrina, 4 de Dezembro de 2009.

Nome e assinatura do sujeito da pesquisa

Pesquisadores responsáveis:

Doutora Maria Victória Eiras Grossmann

Mestrando Rafael Machado e Silva Coronato

Comitê de Ética da UEL: 3371-2490

ANEXO B

Comitê de Ética em Pesquisas Envolvendo Seres Humanos

Universidade Estadual de Londrina / Hospital Universitário Regional Norte de Paraná

Registro CONEP: 268

Parecer CEP n° 200/08

CAAE n° 0195.0.268.000-08

Pesquisa Aprovada em: Londrina, 13 de março de 2009.