UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica
Área de Tecnologia de Alimentos

Estudo reológico de formulações para sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes

Mariana Carniel Milliatti

Dissertação para obtenção do grau de
MESTRE

Orientador:
Profa. Dra. Suzana Caetano da Silva Lannes

São Paulo
2013

Mariana Carniel Milliatti

Estudo reológico de formulações para sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Tecnologia de Alimentos

Orientadora: Profa. Dra. Suzana Caetano da Silva Lannes

São Paulo
2013

Ficha Catalográfica
Elaborada pela Divisão de Biblioteca e
Documentação do Conjunto das Químicas da USP.

Milliatti, Mariana Carniel
M654e Estudo reológico de formulações para sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes / Mariana Carniel Milliatti. -- São Paulo, 2013.
107p

Dissertação (mestrado) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo. Departamento de Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica.
Orientador: Lannes, Suzana Caetano da Silva

1. Alimentos : Reologia : Ciência dos alimentos I. T. II. Lannes, Suzana Caetano da Silva,orientador.

641.1 CDD

Mariana Carniel Milliatti

Estudo reológico de formulações para sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes

Comissão Julgadora
da
Dissertação para obtenção do grau de Mestre

_____
Profa. Dra. Suzana Caetano da Silva Lannes
orientador/presidente

_____
1º. examinador

_____
2º. examinador

São Paulo, _____ de _____.

Aos meus pais, que amo e admiro, Ademar e Adenir Milliatti, que incontáveis vezes suportaram e entenderam a minha ausência e nunca mediram esforços para proporcionar meu crescimento e minha felicidade.

AGRADECIMENTOS

À Professora Dra. Suzana Caetano da Silva Lannes, por todo aprendizado, seriedade, paciência, compreensão e por confiar na minha capacidade.

Ao Departamento de Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo, e a todos os professores, técnicos, alunos e funcionários pela orientação e disponibilidade em ajudar em todos os momentos que precisei.

À empresa GELITA, em especial às líderes Denise Reis, Leia Tomás e Claudia Yamana pelo apoio e incentivo à minha pesquisa.

Aos meus colegas de trabalho da empresa GELITA, especialmente ao departamento de Pesquisa e Desenvolvimento, e em especial à Vivian Zague pela troca de idéia e sugestões, fundamental em várias etapas deste trabalho.

Aos meus pais Ademar e Adenir Milliatti, por sempre terem me incentivado aos estudos e apoiado ás minhas escolhas.

À minha irmã, Gabriela, pelas risadas e brincadeiras, pelo incentivo e apoio constante.

À s minhas “segundas” irmãs, minhas amigas queridas, Tais Sereza, Ariana Nosse, Reginha Rezende, Fernanda Borghi e Ligia Fonseca, pela torcida permanente e pela amizade verdadeira.

A todos que contribuíram de alguma forma, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

E finalmente ao responsável por tudo isso, DEUS! Agradeço pelo dom da vida, pela saúde perfeita, pelas oportunidades oferecidas, por colocar pessoas tão especiais no meu caminho, por me iluminar sempre e por mais essa etapa vencida.

“Se eu acreditasse que iria vencer, a vitória também acreditaria em mim. Nenhuma vida está completa sem um toque de loucura.”

O Aleph, Paulo Coelho

RESUMO

MILLIATTI, M. C. **Estudo reológico de formulações para sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes**. 2013. 107 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Seis formulações para sorvete foram produzidas com diferentes combinações entre os estabilizantes alimentícios Goma Guar, Goma Locusta (LBG) e Gelatina e foram avaliadas durante diferentes etapas de produção: maturação, após batimento e congelamento e após congelamento total. Através dos testes ocilatórios identificou-se que as misturas para sorvetes produzidas com a combinação de Gelatina com Goma Guar e Gelatina com LBG apresentam forte relação entre tempo de maturação e propriedade reológica, o que não foi observado nas formulações contendo cada um dos estabilizantes isoladamente, e nem na formulação contendo a mistura de LBG com Goma Guar. Isso mostra a existência de uma interação forte entre gelatina e galactomananas e que a maturação dessa mistura é essencial para a formação de uma rede contínua e estável. Após maturação de 24 horas, os sorvetes foram produzidos e analisados assim que saíram da produtora a -4°C. As análises conduzidas nesta etapa foram: capacidade de aeração (*overrun*) e força máxima requerida para extrusão. Quando dois estabilizantes foram combinados percebeu-se menor *overrun* o que pode ser explicado pelo aumento da viscosidade do sistema quando combinamos dois hidrocolóides, dificultando a incorporação de ar. Pôde ser percebida uma tendência de maior força necessária para extrusão para sorvetes com maior incorporação de ar. Tanto o tamanho dos cristais de gelo quanto o volume da fase congelada podem ter contribuído para aumento da dureza dos sorvetes. Após congelamento total dos sorvetes, a análise da varredura de freqüência realizada a -8ºC mostrou que os sorvetes produzidos com Gelatina e com a mistura LBG + Gelatina apresentaram maiores valores de G' o que é um indicativo da presença de cristais de gelo maiores e também maior rigidez. Através da reologia termo-oscilatória, na faixa de temperatura de -10 a 5ºC, foi possível avaliar as modificações nas estruturas dos produtos e sua relação com as propriedades sensoriais. Entre -10ºC e -1ºC foi observado, para todas as formulações, um grande declínio nos módulos elástico (G') e viscoso (G") devido à perda das interações cooperativas entre os cristais de gelo, associada com o seu derretimento. Após derretimento, as formulações não variaram muito em relação ao parâmetro G'', que se relaciona com a cremosidade dos sorvetes durante consumo.

Palavras-chave: Sorvete, Reologia, Estabilizantes

ABSTRACT

MILLIATTI, M. C**. Rheological study of ice cream formulations produced with different food stabilizers**. 2013. 107 pp. Dissertação (Mestrado). – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

Six ice cream formulations were produced with different combinations of food stabilizers: Guar gum, Locust bean gum (LBG) and Gelatin. They were evaluated during different production steps: aging time, after whipping and freezing and after complete freezing. Oscillatory trials during aging time showed that ice cream mixes produced with Gelatin + Guar gum and Gelatin + LBG present strong relationship between aging time and rheologic properties, which was not observed in the formulations containing each of these stabilizers alone, nor in the formulations containing the combination of Guar gum + LBG. These results show the strong interaction between gelatin and galactomannans and, also, aging time is critical to create a continuous and stable network for this combination. After aging time (24 hours), the ice creams were produced and evaluated as soon as they were removed from the ice cream producer machine. The tests conducted this time were aeration capacity (*overrun*) and maximum force required for extrusion. The combination of two stabilizers produced ice creams with lower *overrun*, which can be explained by the higher viscosity of these systems, making them difficult to incorporate air. It was perceived a trend of greater force required for extrusion for the ice creams with greater incorporation of air. Both the size of the ice crystals as the volume of the frozen phase may have contributed to increase the hardness of these ice creams. After complete freezing, the ice creams were evaluated by a frequency sweep test at -8ºC. Ice creams produced with Gelatin and Gelatin + LBG presented higher G' values, which is an indicative of larger ice crystals and also greater rigidity. Through the thermo-oscillatory rheology, between -10ºC and +5ºC, it was possible to evaluate the changes in the structures of the products and their relation to sensory properties. Between -10°C and -1°C it was observed, for all formulations, a large decline in the elastic and viscous modules (G' and G", respectively) due to the lost of the cooperative interactions among the ice crystals, associated with their melting. After melting, the parameter G", associated with the creaminess of the ice cream was very similar for the six formulations evaluated.

Keywords: Ice cream, Rheology, Food stabilizer

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2. 1 – Consumo de sorvete *per capita* em L/ano no Brasil 22
Figura 2. 2 – Microscopia eletrônica de sorvete 23
Figura 2. 3 – Fluxograma do processo de produção de sorvete 23
Figura 2. 4 – Estrutura da k-carragena 32
Figura 2. 5 – Estruturas da Gelatina 33
Figura 2. 6 – Estruturas da Goma Guar e LBG 34

Capítulo 3

Figura 3. 1 – Esquema de emulsão óleo em água 47
Figura 3. 2 – Reômetro MARS, Haake 53
Figura 3. 3 – Varredura de tensão das amostras T1, T2, T3, T4, T5 e T6 para determinação da região viscoelástica 56
Figura 3. 4 – Varredura de freqüência da amostra T1 durante maturação a 4ºC 57
Figura 3. 5 – Varredura de freqüência da amostra T4 durante maturação a 4ºC 58
Figura 3. 6 – Varredura de freqüência da amostra T6 durante maturação a 4ºC 58
Figura 3. 7 – Varredura de freqüência da amostra T2 durante maturação a 4ºC 60
Figura 3. 8 – Varredura de freqüência da amostra T3 durante maturação a 4ºC 60
Figura 3. 9 – Varredura de freqüência da amostra T5 durante maturação a 4ºC 61
Figura 3. 10 – η*(viscosidade complexa) em Pa.s, na freqüência 0,1 Hz, nos tempos t0, t2h, t4h, t6h e t24h 63
Figura 3. 11 – η*(viscosidade complexa) em Pa.s, na freqüência 0,1 Hz, nos tempos t0, t2h, t4h, t6h e t24h 64

Capítulo 4

Figura 4. 1 – Produtora de sorvete 73
Figura 4. 2 – *Probe back extrusion* 74
Figura 4. 3 – Porcentagem de ar incorporado nos sorvetes 77
Figura 4. 4 – Força máxima necessária para extrusão dos sorvetes 78
Figura 4. 5 – Curva de congelamento para as formulações 80

Capítulo 5

Figura 5. 1 – Varredura de tensão para os sorvetes produzidos com Goma Guar, LBG, Gelatina, Goma Guar + LBG, LBG + Gelatina e Goma Guar + Gelatina 93
Figura 5. 2 – Módulo de armazenamento (G') em função da frequência para as amostras produzidas com Goma Guar, Goma Guar + LBG e Goma Guar + Gelatina 94
Figura 5. 3 – Módulo de perda (G") em função da frequência para as amostras produzidas com Goma Guar, Goma Guar + LBG e Goma Guar + Gelatina 95
Figura 5. 4 – Módulo de armazenamento (G') em função da frequência para as amostras com LBG, Gelatina e LBG + Gelatina 95

Figura 5. 5 – Módulo de perda (G”) em função da frequência para as amostras produzidas com LBG, Gelatina e LBG + Gelatina 96
Figura 5. 6 – Módulo de armazenamento (G’) de sorvetes produzidos com Goma Guar, Goma Guar + Gelatina e Goma Guar + LBG em função da temperatura.....97
Figura 5. 7 – Módulo de perda (G”) de sorvetes produzidos com Goma Guar, Goma Guar + Gelatina e Goma Guar + LBG em função da temperatura 99

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 2. 1 – Composição típica utilizada na manufatura de sorvetes 27

Capítulo 3

Tabela 3. 1 – Estabilizantes empregados nas formulações 52
Tabela 3. 2 – Valores de tan δ (tangente do ângulo de perda) para as amostras T1, T4 e T6, freqüência de 1 Hz 59
Tabela 3. 3 – Valores de tan δ (tangente do ângulo de perda) para as amostras T2, T3 e T5 em f = 1 Hz* 62
Tabela 3. 4 – Valores de η* (viscosidade complexa) em Pa.s, na freqüência 0,1 Hz, nos tempos t0, t2h, t4h, t6h e t24h. 63
Tabela 3. 5 – Valores de η* (viscosidade complexa) em Pa.s, na freqüência 0,1 Hz, nos tempos t0, t2h, t4h, t6h e t24h 64

Capítulo 4

Tabela 4. 1 – Depressão no ponto de congelamento (DPC) para soluções de sacarose a diferentes concentrações 75
Tabela 4. 2 – Dados para obtenção da curva de congelamento das formulações T1, T2, T3, T4, T5 e T6. 80

Capítulo 5

Tabela 5. 1 – Efeito dos estabilizantes nas características reológicas de sorvetes em f = 1 Hz 96
Tabela 5. 2 – Valores de G'' a 4ºC para as formulações 100

Capítulo 6

Tabela 6. 1 – Conclusão dos resultados 107

SUMÁRIO

Capítulo 1 - Introdução Geral e Objetivos 14

1.1 INTRODUÇÃO GERAL 15
1.2 OBJETIVOS 17
Objetivos específicos 17
1.3 JUSTIFICATIVA 18
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO EM CAPÍTULOS 19

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica 20

2.1 DEFINIÇÃO, HISTÓRICO E DADOS DE PRODUÇÃO E CONSUMO 21
2.2 MICROESTRUTURA E PROCESSAMENTO 23
Preparo da Mistura 24
Homogeneização 24
Pasteurização 25
Maturação 25
Aeração e Congelamento Parcial 25
Congelamento Total 26
2.3 INGREDIENTES 27
Gorduras 27
Sólidos não gordurosos do Leite 28
Açúcares 29
Água 29
2.4 ESTABILIZANTES E EMULSIFICANTES 30
2.5 REOLOGIA DOS ALIMENTOS 36
Varredura de Freqüência 38
Varredura de Temperatura 39
2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 40

Capítulo 3 - Propriedades reológicas de misturas para sorvetes produzidas com diferentes estabilizantes durante tempo de maturação 45

RESUMO 46
ABSTRACT 46
3.1 INTRODUÇÃO 47
3.2 MATERIAL E MÉTODOS 52
Preparo das misturas 52
Avaliação das misturas 53
Análise dos dados 54
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 55
3.4 CONCLUSÃO 66
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: 67

Capítulo 4 - Características de processo de sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes – *OverRun*, Textura & Curva de Congelamento 69

RESUMO 70
ABSTRACT 70
4.1 INTRODUÇÃO 71
4.2 MATERIAL E MÉTODOS 73
Produção dos sorvetes 73
Medida de Overrun 73
Análise de Textura 74
Curva de congelamento 74
Análise dos dados 76
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 77
Medida de Overrun 77
Análise de Textura 78
Curva de congelamento 79
4.4 CONCLUSÃO 82
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83

Capítulo 5 - Características reológicas de sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes 85

RESUMO 86
ABSTRACT 86
5.1 INTRODUÇÃO 88
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS 91
Análise estatística 91
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 92
Varredura de tensão 92
Varredura de frequência 93
Varredura de temperatura 97
5.4 CONCLUSÃO 101
5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 102

Capítulo 6 - Conclusões 104

6.1 CONCLUSÕES 105

Capítulo 1

Introdução Geral e Objetivos

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

Sorvete é um alimento complexo e frágil, formado a partir de uma emulsão aerada e congelada. O processo de produção envolve várias etapas que são críticas para a produção de um produto de qualidade. Tanto na fabricação como na distribuição deste produto, todos os cuidados devem ser tomados para não prejudicar suas características.

A funcionalidade dos ingredientes empregados na produção de sorvetes pode ser avaliada através da observação dos efeitos de certos ingredientes nas propriedades físicas e químicas do produto, ou focando em determinadas funcionalidades específicas desses ingredientes. Os estabilizantes apresentam inúmeras funcionalidades quando aplicados em sorvetes, portanto, conhecer as diferenças e a compatibilidade entre eles e com os outros ingredientes da fórmula é de primordial importância para o desenvolvimento de uma formulação de qualidade. A escolha do estabilizante deve levar em consideração todos os ingredientes empregados, o processo disponível, os atributos desejados, a forma de armazenamento e de consumo do produto final e também as possíveis interações entre eles.

A gelatina foi um dos primeiros estabilizantes empregados em sorvetes, que diferentemente dos demais hidrocolóides é um ingrediente de base protéica e por isso pode aumentar o valor nutricional das preparações em que é empregada. Tecnologias de produção atuais permitem a produção de gelatinas com qualidades especiais e granulometrias específicas para aplicação em sorvetes. A gelatina é conhecida por reduzir a taxa de derretimento e por dar corpo e maciez ao produto. Goma Locusta (LBG) e Goma Guar são galactomananas extraídas dos tecidos de armazenamento de vegetais. Esses estabilizantes possuem cadeias longas, que aumentam a viscosidade das soluções e permitem a interação e a formação de géis fracos em temperaturas abaixo de zero.

Os estudos reológicos dentro da Ciência e Tecnologia de Alimentos estão intimamente ligados ao desenvolvimento de novos produtos e pode direcionar a produção destes em larga escala (agitação, bombeamento, doseamento, dispersão, e outros parâmetros de processo), o preparo pela dona de casa e também o consumo (percepção oral, digestão...). Propriedades típicas dos alimentos relacionadas à reologia são: características sensoriais (textura),

estabilidade, conveniência (dosagem, enchimento, porcionamento) e características nutricionais (cinética de liberação, saciedade).

A determinação da viscosidade de produtos congelados não é uma tarefa fácil, porém novas técnicas e metodologias têm sido utilizadas. A pequena deformação dos testes oscilatórios se apresenta com uma boa ferramenta para estudar a microestrutura de sorvetes, por causa da sensibilidade para tratamento térmico e mecânico do método, além de manter a sensível microestrutura da amostra durante as medições.

1.2 OBJETIVOS

Com base nas considerações apresentadas anteriormente, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o comportamento reológico de sorvetes produzidos com Goma Guar, Goma Locusta e Gelatina como estabilizantes, em diferentes combinações, durante etapas críticas do processo e produção.

Objetivos específicos

De modo a atingir o objetivo geral exposto acima, o trabalho foi conduzido em etapas que se complementam. Seguem os objetivos específicos de cada etapa:

- Investigar modificações no comportamento reológico de misturas para sorvetes, durante etapa de maturação, em decorrência da utilização dos diferentes hidrocolóides: Goma Guar, Goma Locusta e Gelatina, isoladamente e em combinação.

- Avaliar propriedades físicas – Curva de Congelamento, *Overrun* e Força máxima requerida para extrusão – que impactam o processamento de sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes.

- Avaliar as características reológicas que se correlacionam com as características sensoriais dos sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes através de dois testes: Varredura de freqüência e Varredura de temperatura.

1.3 JUSTIFICATIVA

O consumo e a produção de sorvetes no Brasil vêm aumentando nos últimos anos, assim como a gama de estabilizantes e *blends* disponíveis para a produção dos mesmos. Os estabilizantes apresentam inúmeras funcionalidades quando aplicados em produtos lácteos, portanto, conhecer a compatibilidade entre eles e entre os outros ingredientes da fórmula é de primordial importância para desenvolvimento de uma formulação de qualidade. Os estabilizantes alteram as propriedades reológicas dos produtos onde são aplicados e o entendimento destas alterações auxiliam o direcionamento da produção de novos produtos em larga escala. Sorvetes são materiais estruturalmente e reologicamente complexos e as medidas reológicas têm vasta aplicação nas Indústrias de Alimentos como ferramenta para caracterização de matéria prima e dos produtos intermediários e finais devido à sensibilidade do método para detecção de diferenças microestruturais.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO EM CAPÍTULOS

Capítulo 1 – **Introdução Geral e Objetivos**

Capítulo 2 – **Revisão Bibliográfica**: este capítulo aborda o histórico e os dados de produção e consumo de sorvete no Brasil e no mundo. São apresentados aspectos relevantes para a produção de sorvetes como: ingredientes e suas funcionalidades, criação da microestrutura e os parâmetros importantes para o processo de produção. É feita uma explanação sobre o uso dos estabilizantes e emulsificantes em sorvetes. Ao final do capítulo é discutida a importância do estudo de reologia em alimentos e é proposto estudos reológicos para análise de sorvetes já que o método pode direcionar a produção deste alimento em larga escala e também avaliar o comportamento sensorial e durante shelf life.

Capítulo 3 – **Propriedades reológicas de misturas para sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes durante tempo de maturação**: este capítulo mostra, através de análises reológicas, as modificações no comportamento de misturas para sorvete em conseqüência dos estabilizantes empregados: Goma Guar, Goma Locusta e Gelatina (isoladamente e em combinação) e do tempo de maturação.

Capítulo 4 – **Características de processo de sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes – Overrun, Textura & Curva de Congelamento:** o quarto capítulo expõe os resultados das avaliações dos parâmetros de processo: capacidade de aeração e força máxima requerida para extrusão dos sorvetes produzidos com as diferentes combinações entre os estabilizantes Goma Guar, Goma Locusta e Gelatina, logo após saída da produtora. Neste capítulo é apresentada a Curva de Congelamento para as formulações desenvolvidas.

Capítulo 5 – **Características Reológicas de sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes:** O quinto capítulo expõe os resultados da reologia termo-oscilatória que pode ser utilizada para correlacionar propriedades reológicas com características de qualidade e sensoriais dos sorvetes.

Capítulo 6 – **Conclusões**

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

2.1 DEFINIÇÃO, HISTÓRICO E DADOS DE PRODUÇÃO E CONSUMO

São definidos como Gelados Comestíveis, segundo a RDC nº. 266, de 22 de setembro de 2005, os produtos congelados obtidos a partir de uma emulsão de gorduras e proteínas; ou de uma mistura de água e açúcar(es). Podem ser adicionados de outro(s) ingrediente(s) desde que não descaracterize(m) o produto. Preparados para Gelados Comestíveis são os produtos que, após serem submetidos ao congelamento, resultam em gelados comestíveis, não necessitando da adição de outro(s) ingrediente(s) (ANVISA, 2005).

Não está bem claro na história quem, quando e onde exatamente foi inventado o sorvete. Relatos contam que há mais de 3000 anos atrás, os Chineses já produziam um preparado à base de suco de frutas e neve que eram consumidos durante o inverno. Também existem relatos de que o Imperador Romano Nero já consumia néctares de frutas misturados com neve trazida dos Alpes pelos escravos. Só com o aparecimento de técnicas modernas de congelamento, após a Revolução Industrial, é que surgiram as primeiras sorveterias artesanais na Europa e nos Estados Unidos (CLARKE, 2004; COSTA, 2006; SILVA JUNIOR, 2008).

No Brasil, inicialmente, a indústria sorveteira, foi introduzida através de grandes organizações, que padronizaram a produção, partindo do sorvete de palito ou picolé, passando ao “copinho”, com diferentes sabores, mantendo-se durante muitos anos fornecendo a uma clientela pouco exigente e, fundamentalmente, de baixo poder aquisitivo. A partir de 1964, foram introduzidas grandes indústrias no Brasil e uma forte emigração de técnicos e, especialmente uma mudança na mentalidade popular. Hoje, as condições de processo e produção, transporte, estocagem, desenvolvimento de formulações e embalagens, o trabalho de marketing e o estabelecimento de padrões internacionais de qualidade têm tornado o sorvete de boa qualidade facilmente disponível aos consumidores (EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS).

Segundo dados da ABIS – Associação Brasileira das Indústrias de Sorvetes – o consumo de sorvete no Brasil em 2011 foi de 1.167 milhões de litros, o que representa um crescimento de 70,36% se comparado a 2003. A produção de sorvete no Brasil (massa, picolé e *soft*) passou de 687 milhões de litros para 1.169 milhões de litros no mesmo período. Em

relação ao consumo per capita, o brasileiro que em 2003 consumia 3,82 litros/ano passou a consumir 6,07 litros/ano em 2011, crescimento de 58,9% (Figura 2.1).

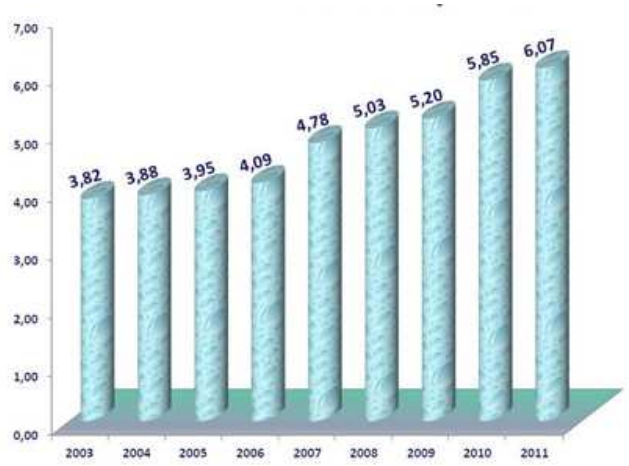


Figura 2. 1 - Consumo de sorvete per capita em L/ano no Brasil, fonte: ABIS

2.2 MICROESTRUTURA E PROCESSAMENTO

Sorvete é um alimento extremamente complexo e o entendimento dos ingredientes, do processo, da microestrutura, da textura e do link entre esses itens compõem a *Ciência dos Sorvetes.* A Microestrutura dos Sorvetes consiste de cristais de gelo, bolhas de ar e gotículas de gordura com tamanho de 1,0 µm a 0,1 mm e uma solução viscosa de açúcares, polissacarídeos e proteínas lácteas, conhecida como matriz (Figura 2.2). Do ponto de vista físico-químico, sorvetes são fluidos criados a partir do congelamento e aeração de uma emulsão (CLARKE, 2004; SILVA JUNIOR, 2008).

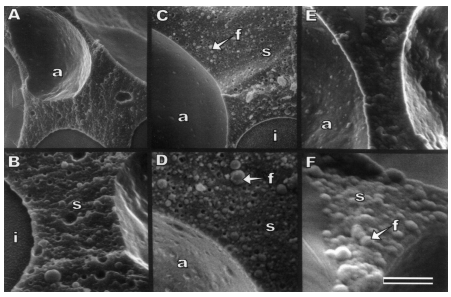


Figura 2. 2 - Microscopia eletrônica de sorvete (a = células de ar, i = cristais de gelo, f = glóbulos de gordura, s = matriz viscosa)

O processo de fabricação de sorvetes é crítico e envolve etapas fundamentais. A Figura 2.3 apresenta o Fluxograma do processo de produção de sorvetes segundo EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais:

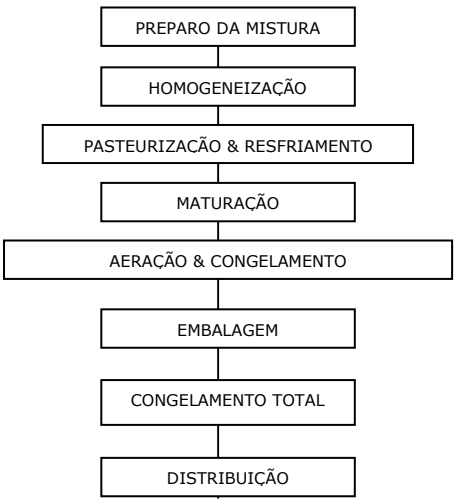


Figura 2. 3 - Fluxograma do processo de produção de sorvete

Cada etapa tem sua importância para assegurar que o produto final chegue ao consumidor de acordo com os aspectos relacionados à qualidade e à inocuidade. Portanto, tanto na fabricação como na distribuição, todos os cuidados devem ser tomados para não prejudicar as características do sorvete.

Preparo da Mistura

A mistura requer cuidados na sua preparação, de modo que a emulsão final atinja a melhor estabilidade possível. Em função das características diferentes das diversas matérias-primas empregadas, quanto a tamanho de partículas, temperatura de derretimento e grau de solubilidade, é recomendável uma ordem sistemática de adição dos ingredientes para produzir o melhor efeito.

Idealmente, os ingredientes lácteos devem ser adicionados ao tanque de mistura antes que ela atinja 40°C. Em seguida, são adicionados açúcares e xarope de milho e gorduras. A partir daí é importante acionar o agitador de alta rotação para uniformizar a mistura e desfazer possíveis aglomerações de ingredientes sólidos. Uma etapa de alta importância é a adição dos estabilizantes. Como as gomas ou estabilizantes têm uma afinidade elevada por água, estes devem ser previamente misturados com parte do açúcar. A adição deste pré-mix deve ser feita lentamente ao misturador para garantir a dispersão total e a hidratação das gomas.

Quanto ao equipamento onde a mistura é preparada, deve ser de aço inoxidável e possuir sistema de agitação para assegurar a perfeita dispersão dos ingredientes e dissolução dos componentes em água, bem como a suspensão das partículas coloidais. O misturador deve dispor de sistema de aquecimento com camisa de vapor ou de água quente.

Homogeneização

A homogeneização tem por fim a redução do diâmetro dos glóbulos de gordura, a obtenção de uma emulsão estável, uma melhor solubilização e hidratação dos sólidos, além de aumentar a eficiência da pasteurização e diminuir o tempo de maturação das misturas. Para melhorar a ação dos estabilizantes e, principalmente, dos emulsificantes é fundamental manter

os glóbulos de gordura nos tamanhos adequados e isolados uns dos outros evitando a re-aglomeração.

A pressão de homogeneização depende de vários fatores como viscosidade desejada, composição da mistura, estabilidade da mistura, temperatura e tipo de homogeneizador.

Pasteurização

A pasteurização tem por objetivo eliminar bactérias patogênicas e também diminuir a contagem geral de microorganismos.

Os processos contínuos são realizados em trocadores de calor onde a mistura para sorvete é aquecida ao redor de 80°C, mantida nesta condição por 20 segundos e, em seguida, resfriada rapidamente até 0 a 4ºC. Nos processos descontínuos, normalmente utilizados em sorveterias artesanais, o processo é realizado no próprio tanque, onde a mistura é aquecida até aproximadamente 70ºC, mantida nesta temperatura por aproximadamente 20 a 30 minutos e então é resfriada.

Maturação

Nesta fase, a mistura já resfriada, é mantida sob agitação lenta em tanque de 2 a 4ºC. Aí, então, ocorre o processo de recristalização de gorduras, hidratação dos sólidos, mudanças no comportamento das proteínas, aumento da viscosidade, melhora do corpo e textura. É tradicionalmente recomendável como ideal o tempo mínimo de 2 horas de maturação.

Aeração e Congelamento Parcial

A mistura para sorvete é bombeada para a batedeira, onde ocorrem simultaneamente o batimento, o resfriamento e a incorporação de ar até atingir a consistência desejada. O sorvete atinge temperatura aproximada de -5°C. Esse abaixamento da temperatura visa à transição de

20 a 40% da água para a fase sólida. O produto é então transferido para a etapa de embalagem.

Congelamento Total

Industrialmente as embalagens são transferidas para túneis de congelamento que operam com temperatura ao redor de -40ºC e ventilação forçada. Este congelamento rápido tem como finalidade manter as características desenvolvidas nas etapas anteriores e assegurar a resistência do sorvete a possíveis variações térmicas ao longo da cadeia de distribuição e estocagem. Uma vez congelado, o sorvete é mantido em câmaras frias com temperatura de -30°C. No transporte, as temperaturas podem variar entre -20°C e -30°C.

2.3 INGREDIENTES

A funcionalidade dos ingredientes empregados na produção de sorvetes pode ser avaliada através de duas formas: examinando os efeitos de certos ingredientes nas propriedades físicas e químicas dos sorvetes, ou focando nas determinadas funcionalidades específicas dos ingredientes como, por exemplo, a contribuição destes para a formação da microestrutura (GOFF, 1997).

A Tabela 2.1 apresenta uma formulação básica indicativa para fabricação de sorvetes segundo GOFF (1997):

Tabela 2. 1 - Composição típica utilizada na manufatura de sorvetes

Ingredientes	Proporção (%)
Gordura	10 - 16
Sólidos de leite (não gordurosos)	9 - 12
Açúcar	9 - 12
Xarope de glucose	4 - 6
Estabilizantes / Emulsificantes	0 - 0,5
Sólidos totais	36 - 45
Água	55 - 64

Gorduras

Sorvetes, comumente, apresentam teor de gordura entre 10 e 16% (em peso), porém sorvetes considerados *Premium* podem conter teor de gordura acima de 15%. As gorduras possuem diferentes funções em sorvetes: ajudam na estabilização da espuma, são amplamente responsáveis pela textura cremosa, reduzem a velocidade de derretimento e liberam as moléculas aromáticas que não são hidrossolúveis (CLARKE, 2004).

Cada tipo de gordura possui um polimorfismo específico que varia de acordo com sua composição em triacilgliceróis. Então é correto supor que, o comportamento térmico destas substâncias durante processamento do sorvete influencia as propriedades físico-químicas dos produtos intermediários e final (GRANGER et al., 2005a.). A formação da rede sólida dos

sorvetes durante as etapas de aeração e congelamento depende imensamente do tipo e da quantidade de tais substâncias que, deste modo, influenciam as propriedades físicas e sensoriais dos produtos. Timm (1989) afirma que a presença de gordura implica na redução da formação de cristais de gelo em produtos congelados, já que passa a ocupar os espaços livres nos quais estes poderiam se desenvolver. Informa ainda que a quantidade de gordura a ser empregada em uma formulação depende do teor relativo dos demais ingredientes componentes da mistura, em especial o teor de proteínas.

Sólidos não gordurosos do Leite

Os sólidos não gordurosos do leite são constituídos por lactose, caseína, proteínas do soro, minerais, cinzas, vitaminas, ácidos e enzimas. São componentes importantes para produção de sorvetes, pois: melhoram a textura do produto final devido à funcionalidade das proteínas; auxiliam no corpo e palatabilidade; aumentam a aeração durante batimento; é uma fonte barata de sólidos, no caso do soro de leite, por exemplo. A limitação do uso se deve a cristalização da lactose que dará ao produto sensação de arenosidade (GOFF, 1997).

As proteínas do leite contribuem para o desenvolvimento da estrutura do sorvete, pois possuem propriedade emulsificante e capacidade de aprisionamento de água aumentando assim a viscosidade da mistura e reduzindo a formação de grandes cristais de gelo (GOFF, 1997).

Durante o processo de homogeneização, as proteínas do leite são fixadas nos glóbulos de gordura promovendo assim, a emulsificação e também, através da interação com o emulsificante adicionado à formulação, as proteínas contribuem para coalescência parcial e formação da estrutura da gordura. Elas também são absorvidas na interface com o ar, contribuindo para aeração e estabilidade da espuma. E ainda, as proteínas que não estão presentes nas interfaces permanecem na fase aquosa e possuem capacidade de absorção de água que leva a um aumento da viscosidade da mistura melhorando o corpo, aumentando o tempo de derretimento e contribuindo para diminuir a sensação dos cristais de gelo. Finalmente, a rede de polissacarídeos agregada às proteínas pode ser responsável pelo controle da recristalização durante estocagem e flutuações de temperatura (CLARKE, 2004; GOFF, 1997, 2000; VEGA, 2005).

Açúcares

Agentes dulçores são adicionados aos sorvetes em concentração de 9 a 12%. Eles melhoram textura e palatabilidade dos sorvetes, bem como a liberação dos aromas, e usualmente é a fonte de sólidos mais barata da formulação.

Os açúcares contribuem para redução do ponto de congelamento, assim os sorvetes mantém parte da água descongelada mesmo em temperaturas bem baixas como -15 a -18ºC. Sem essa água parcialmente descongelada os sorvetes seriam extremamente rígidos e de difícil manuseio. Além disso, os açúcares influenciam a textura de sorvetes, pois afetam a viscosidade da matriz, pois quanto mais alto o peso molecular do açúcar, maior a viscosidade da matriz. Matrizes de alta viscosidade tendem a produzir sorvetes que fornecem sensação de gelado agradável na boca, porém produzem sorvetes mais duros e difíceis de manusear (CLARKE, 2004; GOFF, 2010).

A sacarose, dissacarídeo composto por glicose e frutose, é o principal agente dulçor utilizado na fabricação de sorvetes, porém a combinação com xarope de glucose também vem sendo bastante empregada. Os xaropes de glucose estão disponíveis na forma líquida ou em pó e são diferenciados pelo número de dextrose equivalente (DE) que se encontram entre 35 e 65. Quanto maior o valor de DE maior dulçor o xarope fornece, porém a maioria dos xaropes é menos doce que o açúcar (CLARKE, 2004; GOFF, 2010). O valor de DE também tem relação com a viscosidade do xarope, sendo inversamente proporcional, isto é, quanto maior o valor de DE menor a viscosidade.

Água

Grande parte do sorvete é composta por água, entre 55-64% em peso, que durante congelamento se converte em gelo. A água é o meio onde estão dissolvidos ou dispersos todos os ingredientes da formulação (CLARKE, 2004).

2.4 ESTABILIZANTES E EMULSIFICANTES

Os estabilizantes oferecem diversos efeitos benéficos ao sorvete durante manufatura, armazenamento e consumo: aprimoram a textura; reduzem a taxa de derretimento; impedem o encolhimento; mascaram a sensação de cristais de gelo na boca durante a mastigação; permitem um bombeamento mais fácil e um enchimento mais exato da embalagem durante o processamento; facilitam a incorporação controlada de ar e ajudam na produção de uma espuma mais estável (CLARKE, 2004). Os estabilizantes possuem papel fundamental na resistência a mudanças estruturais durante choques térmicos e inevitáveis ciclos de temperatura que ocorrem durante o armazenamento e distribuição favorecendo o crescimento dos cristais de gelo e outros tipos de deterioração, pois limitam a migração de água. Essa função é atribuída à capacidade de retenção de água dos estabilizantes e formação de uma rede tridimensional entre estabilizante e outros componentes da formulação, especialmente açúcares e proteínas (KLAHORST, 1997). Todavia, estes resultados são obtidos satisfatoriamente somente se os estabilizantes forem usados em proporções corretas e devidamente acompanhados pelos demais ingredientes da formulação (SORVETES & CASQUINHAS, 2009).

A adição de hidrocolóides (ou gomas) aos sorvetes retarda a taxa de crescimento dos cristais de gelo, isso devido ao aumento da viscosidade da fase líquida, o que diminui a mobilidade da água e possivelmente aumenta a temperatura de transição vítrea (DAMODARAN, 2007). Atribui-se à funcionalidade do estabilizante a propriedade de diminuir a taxa de difusão da água para a superfície do cristal de gelo em crescimento, ou diminuir a taxa em que os solutos e as macromoléculas difundem-se para longe da superfície de um cristal de gelo em crescimento (REGAND; GOFF, 2003).

As interações moleculares entre polissacarídeos e proteínas parecem ser os fatores chaves na prevenção da recristalização. É sugerido que a capacidade de absorção de água dos estabilizantes e proteínas, bem como os obstáculos causados pela estrutura em rede, reduz a cinética de difusão do sistema promovendo um mecanismo de recristalização chamado de "*melt-regrow*"- durante aquecimento, a água que derrete é mantida próxima ao cristal que a originou e quando esta é novamente congelada, devido a um novo resfriamento, forma-se um cristal de tamanho e forma similar ao original, ao contrário do que acontece no "*melt-diffuse*

grow" - onde a água não congelada migra para um cristal maior, re-congela durante resfriamento, aumentando ainda mais o tamanho do cristal. O mecanismo chamado de "*melt-regrow*" resulta na prevenção da formação de grandes cristais de gelo (VEGA; GOFF, 2005).

O entendimento do mecanismo pelo qual a recristalização ocorre é desejável, pois assim, modificações nas formulações poderão ser feitas prevendo os efeitos na estrutura e qualidade do sorvete.

Goff e Spagnuolo (2001) comprovaram, através de diferentes análises, que os estabilizantes têm impacto significante na desestabilização das gorduras.

Finalmente, existem também possíveis efeitos sinérgicos entre os estabilizantes, como por exemplo, aumento da viscosidade da mistura maior que o esperado quando se utiliza cada um dos componentes isoladamente ou a gelificação, quando os componentes separados não formam gel. No entanto, o uso demasiado de estabilizantes pode causar textura gomosa e desagradável ou então produzir uma mistura extremamente viscosa de difícil processamento (CLARKE, 2004; SORVETES & CASQUINHAS, 2009).

Os estabilizantes possuem ainda outras funcionalidades, principalmente em produtos com baixo teor de gordura e em produtos onde outros constituintes são retirados a fim de se obter um produto especial ou de baixo custo. Eles aumentam a firmeza do produto; promovem um derretimento mais lento e uniforme; aumentam a capacidade de aeração; previnem a cristalização da lactose; previnem a formação de rachaduras durante vida de prateleira; estabilizam a emulsão e contribuem para corpo, textura e cremosidade.

Para promover a função de retentor de água, os estabilizantes requerem tempo e condições específicas para hidratação apropriada. As forças de cisalhamento e o calor criado durante as etapas de mistura, pasteurização, homogeneização e o tempo de maturação podem quebrar muito as moléculas dos hidrocolóides, reduzindo a viscosidade da mistura. Ou estes processos podem maximizar a interação dos estabilizantes com os outros ingredientes (CLARKE, 2004; VEGA, 2005).

O tipo de emulsificante ou estabilizante empregado e o momento de sua adição durante o processamento podem influenciar as propriedades do produto final (LAL; O' CONNOR; EYRES, 2006). Proteínas e polissacarídeos são usualmente adicionados à fase

aquosa das emulsões modificando o comportamento reológico desta fase, retardando assim os mecanismos deletérios decorrentes da separação gravitacional (SILVA JUNIOR, 2008).

A k-carragena é um polímero de alto peso molecular, extraído de algas vermelhas (WORKSHOP, 2005). É frequentemente utilizada como estabilizante secundário em sorvetes, adicionada em baixas concentrações relativas ao estabilizante primário. É um polissacarídeo linear, carregado negativamente com um grupamento sulfato por dissacarídeo (Figura 2.4). Sua função específica é reduzir a separação de fases entre proteínas de leite e polissacarídeos pela sua propriedade em formar gel com estes componentes. As proteínas do leite e os estabilizantes tendem a se separar, pois para estas moléculas é energeticamente favorável se agruparem com moléculas semelhantes. A k-carragena forma um gel fraco que impede a coalescência de regiões microscópicas e assim impede a separação em larga escala (CLARKE, 2004; COSTA, 2008; VEGA, 2005).

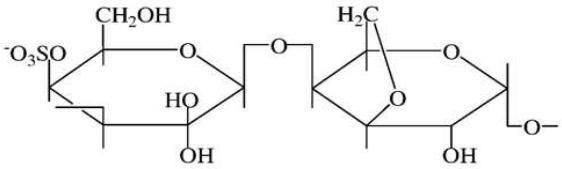


Figura 2. 4 - Estrutura da k-carragena

A gelatina, produto resultante da dissociação térmica ou química das cadeias polipeptídicas do colágeno, possui como principal propriedade sua capacidade de formar géis estáveis em temperaturas abaixo de 40ºC. A gelatina consiste de uma mistura de aminoácidos, dos quais glicina, prolina e hidroxiprolina estão presentes em maior abundância (Figura 2.5). É um ingrediente de base protéica, derivada do colágeno animal, principalmente suíno e bovino, porém outras formas também são disponíveis. A fonte e o tipo de colágeno influenciarão nas propriedades da gelatina resultante (MARFIL, 2010; NARESH; SHAILAJA, 2006; SCHRIEBER, 2007).

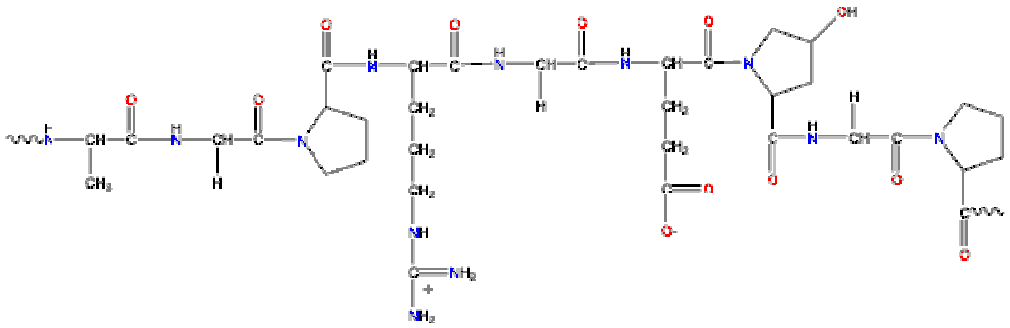


Figura 2. 5 - Estruturas da Gelatina

A gelatina é um alimento altamente digestível, utilizada até como complemento em certos tipos de dieta. Apresenta aplicações na indústria de alimentos, fotográfica, cosmética e farmacêutica. Seu uso tem se expandido para outras aplicações nos últimos anos como um colóide estabilizante, sendo agente de aeração e emulsificante (MARFIL, 2010).

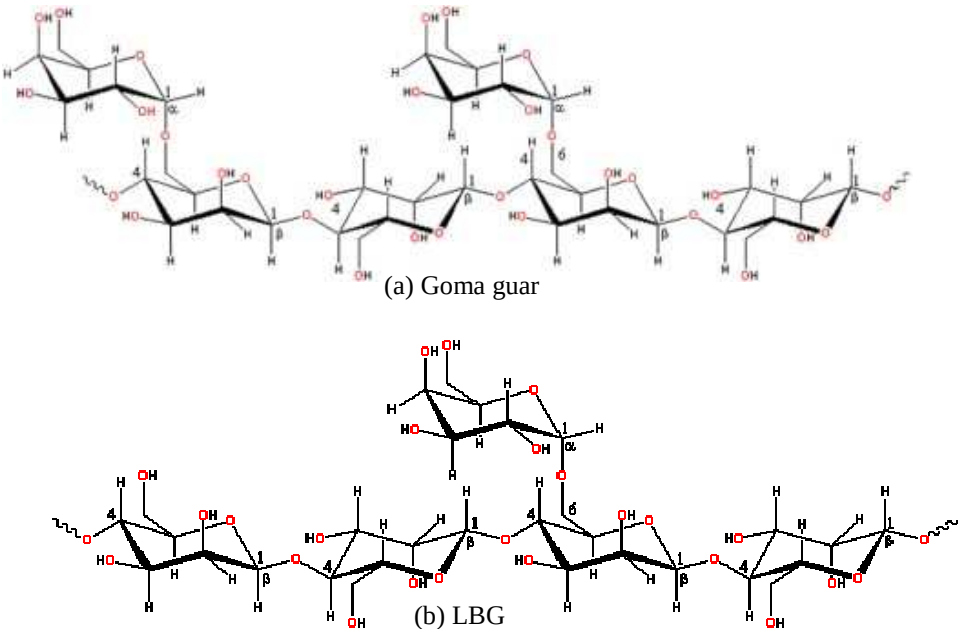
A utilização da gelatina em sorvetes ao longo dos anos foi reduzida em função da identificação de ingredientes mais efetivos durante o processo de fabricação e por razão de custos. Historicamente, a gelatina sempre requereu um tempo prolongado de maturação, para assegurar sua hidratação, enquanto que outros estabilizantes não requerem este tempo. No entanto, atualmente, o cenário apresenta-se em favor da gelatina que é uma fonte complementar de proteína, saudável e segura já que os estabilizantes comuns têm baixo valor nutricional. Novas tecnologias de produção oferecem agora gelatinas com granulometrias específicas e qualidades especiais, fazendo com que ela volte a ser usada como ingrediente nutritivo, funcional e tecnológico em sorvetes.

É conhecida por reduzir a taxa de derretimento, dar corpo e maciez a sorvetes. Misturas para sorvetes produzidas com gelatina possuem baixa viscosidade e o tempo de hidratação depende do tamanho das partículas (COURTS, 1977; SCHRIEBER, 2007).

Por sua propriedade de dissolver a temperatura corpórea, a gelatina é eficiente na liberação de aromas e possui efeito mimético à gordura, interessante para formulações light, por exemplo (SCHRIEBER, 2007).

LBG (Goma Locusta) e Goma Guar são galactomananas extraídas dos tecidos de armazenamento da semente da árvore de alfarroba (*Ceratonia siliqua*) e da leguminosa *Cyamopsis tetragonoloba*, respectivamente. As galactomananas consistem de uma estrutura linear de manose substituídas por cadeias laterais de galactose e a principal diferença entre

LBG e Guar é a razão entre as unidades de manose (M) e galactose (G) na estrutura. LBG (M/G = 4:1) possui menos resíduos de galactose que a Goma Guar (M/G = 2:1) (Figura 2.6) (SITTIKIJYOTHIN; TORRES; GONÇALVES, 2004).



(a) Goma guar

(b) LBG

Figura 2. 6 - Estruturas da Goma Guar (a) e LBG (b)

Tanto LBG quanto a Goma Guar possuem cadeias longas, orientadas aleatoriamente que aumentam a viscosidade da solução, porém as regiões livres de galactose na molécula de LBG permitem a interação e a formação de géis fracos em temperaturas abaixo de zero. A Goma Guar gera soluções bastante viscosas e tixotrópicas, retarda a sedimentação dos sólidos ou a cremagem (*creaming*) das gorduras (LAL; O'CONNOR; EYRES, 2006).

Outros estabilizantes empregados em formulações para sorvetes são: goma acácia, pectinas, alginatos, goma xantana, goma gelana, agar-agar, celulose microcristalina (MCC) e carboximetilcelulose (CMC) (SORVETES & CASQUINHAS, 2009).

Emulsificantes de baixo peso molecular são amplamente utilizados para produção de emulsões lácteas, pois possuem a habilidade de atuar na interface gordura/água devido a sua estrutura molecular. O grupo polar da molécula tem afinidade pela água, na qual se dissolve, enquanto que a parte apolar (do ácido graxo) tem afinidade pela gordura.

Os emulsificantes são responsáveis também pelo deslocamento das proteínas da superfície dos glóbulos de gordura, tornando o glóbulo mais suscetível a coalescência parcial (GOFF; SPAGNUOLO, 2001).

A falta de emulsificante pode favorecer a separação de gordura durante a maturação e tornar a gordura livre durante batimento, pela ruptura dos glóbulos.

Os emulsificantes mais utilizados na produção de sorvete são os mono-/diacilglicerois. Estes são produzidos pela hidrólise parcial de gordura vegetal, como óleo de soja e palma. Normalmente contém entre 40 e 60% de mono e diacilglicerol e uma pequena parte de triacilglicerol.

Pode ocorrer confusão no que se refere às definições de estabilizantes e emulsificantes, isso porque muitos hidrocolóides podem desempenhar cada uma dessas funções dependendo da sua aplicação. Segundo a legislação brasileira, Portaria N^{o} 540 de 27 de outubro de 1997, do Ministério da Saúde, estabilizante é a substância que torna possível a manutenção de uma dispersão uniforme de duas ou mais substâncias imiscíveis em um alimento. Pode-se dizer que o estabilizante favorece e mantém as características físicas das emulsões e suspensões. O emulsificante é a substância que torna possível a formação ou manutenção de uma mistura uniforme de duas ou mais fases imiscíveis no alimento. Alguns hidrocolóides são utilizados na preparação de emulsões, objetivando a redução da tensão superficial, quando a redução é efetiva formam-se gotículas do líquido disperso (SORVETES & CASQUINHAS, 2009).

As combinações de emulsificantes e estabilizantes para sorvetes consistem, simplesmente, em misturas de um ou mais emulsificantes com um ou mais estabilizantes e são denominados *blends*. Com o uso desses produtos tem-se a vantagem de se adicionar somente um ingrediente, minimizando o risco de erros na dosagem de emulsificantes e estabilizantes durante produção. Embora na composição final do sorvete os emulsificantes e estabilizantes entrem com quantidades mínimas com relação aos demais ingredientes, seu papel é determinante para conseguir consistência, textura, cremosidade e aspecto adequado para um excelente sorvete, portanto a seleção do melhor *blend* deve ser feita em função dos critérios que melhor correspondem aos objetivos do cliente (SORVETES & CASQUINHAS, 2009). Os emulsificantes/estabilizantes, como todos os aditivos, devem ser declarados formando parte da lista de ingredientes de cada formulação.

2.5 REOLOGIA DOS ALIMENTOS

A Reologia pode ser definida como o estudo da deformação, para produtos sólidos, e do estudo do escoamento, para os líquidos. Simplificando, as propriedades reológicas de interesse em materiais sólidos é a elasticidade e para materiais líquidos é a viscosidade. A relação específica que se desenvolve entre a tensão aplicada e a deformação resultante para um determinado material pode ser expressa em termos de suas propriedades reológicas.

Fluidos ideais, tais como líquidos e gases, deformam-se irreversivelmente. A energia requerida para a deformação é dissipada sob a forma de calor e não pode ser recuperada pela remoção da tensão. Em oposição, sólidos ideais se deformam elasticamente. A energia requerida para a deformação é completamente recuperada quando a tensão é removida. Outra importante diferença entre esses materiais é que enquanto a tensão de cisalhamento (σ) (Equação 2.1) causa a deformação nos sólidos, nos líquidos ela causa um gradiente de deformação, mais conhecido como taxa de deformação (γ) (Equação 2.2) (SCHRAMM, 2006).

$$\boldsymbol{\sigma = F\ (Força) / A\ (área) = N\ (Newton) / m^2 = [Pa\ Pascal]} \qquad \text{(Equação 2.1)}$$

$$\boldsymbol{\dot{\gamma} = Velocidade / distância = (m/s) / m = [1/s\ ou\ s^{-1}]} \qquad \text{(Equação 2.2)}$$

A determinação da tensão e a da taxa de cisalhamento é obtida através de ensaios experimentais empregando-se viscosímetros ou reômetros.

A propriedade física que caracteriza a resistência ao movimento dos fluidos é denominada viscosidade (η), representada pela relação entre a tensão de cisalhamento e taxa de deformação (Equação 2.3).

$$\boldsymbol{\eta = \sigma / \dot{\gamma} = Pa / (1/s) = Pa.\ s} \qquad \text{(Equação 2.3)}$$

Assim, quanto maior a viscosidade do material, maior sua resistência ao escoamento (ou seja, menor a taxa de deformação) e vice-versa (HACKLEY; FERRARIS, 2001).

Medidas reológicas têm vasta aplicação das indústrias de alimentos como ferramenta para caracterização de matéria prima, produtos intermediários e finais. Alimentos são

materiais estruturalmente e reologicamente complexos e em muitos casos consistem de misturas de sólidos e componentes fluidos (TABILO-MUNIGAZA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2004).

Os estudos reológicos dentro da Ciência e Tecnologia de Alimentos estão intimamente ligados ao desenvolvimento de novos produtos e pode direcionar a produção destes em larga escala (agitação, bombeamento, doseamento, dispersão...), o preparo pela dona de casa e também o consumo (percepção oral, digestão...) (FISCHER; WINDHAB, 2011).

Propriedades típicas dos alimentos relacionadas à reologia são: características sensoriais (textura), estabilidade, conveniência (dosagem, enchimento, porcionamento) e características nutricionais (cinética de liberação, saciedade) (FISCHER; WINDHAB, 2011).

Os alimentos em sua grande maioria, não podem ser classificados simplesmente como sólidos ou líquidos e são então classificados como viscoelásticos (BORWANKAR, 1992; GÓMEZ-DIAS; NAVAZA, 2003). O método mais utilizado para estudo das propriedades viscoelásticas dos alimentos são os testes dinâmicos. Os testes dinâmicos fornecem dados de viscosidade e elasticidade relacionados a uma freqüência aplicada, relacionando a freqüência ou velocidade angular com a deformação ou tensão.

Na reologia oscilatória pode-se medir o caráter sólido da amostra através do módulo G’. O módulo de armazenamento, G’, também denominado módulo de cisalhamento elástico, é a razão entre a tensão aplicada e a deformação provocada em fase; indica que a energia de tensão é armazenada temporariamente durante o teste e pode ser recuperada mais tarde (MORRIS, 1995; SCHRAMM, 2006; VALENGA, 2007).

O módulo de cisalhamento dinâmico, viscoso ou de perda, G”, que indica o caráter líquido do material é a razão entre a tensão aplicada e a deformação provocada fora de fase; faz alusão ao fato de que a energia usada para iniciar o fluxo é irreversivelmente dissipada ou perdida, sendo transformada em calor de cisalhamento (MORRIS, 1995; SCHRAMM, 2006; VALENGA, 2007).

A interação entre as partículas da amostra em teste determina se o sistema é elástico ou viscoso. Quando a amostra apresenta o módulo de cisalhamento elástico (G’) muito maior do que o módulo de cisalhamento viscoso (G”), ambos independentes da freqüência, tem-se

um material de caráter predominantemente sólido, tratando-se, portanto, de um gel forte e as deformações serão elásticas ou recuperáveis (FARIA-TISCHER, 2006; VALENGA, 2007).

Através de análise em sistema oscilatório é possível determinar também a viscosidade dinâmica complexa (η*) da amostra, obtida pela razão entre o módulo de cisalhamento dinâmico complexo (G*) e a freqüência (ω). G* representa a resistência total de uma substância contra uma deformação aplicada (VALENGA, 2007).

Segundo Weipert et al. (1993), a pequena deformação dos testes oscilatórios é uma boa ferramenta para estudar a microestrutura de sorvetes, por causa da sensibilidade para tratamento térmico e mecânico do método. Através da termo-reologia oscilatória, análises mecânicas e térmicas estão acopladas possibilitando a correlação entre as características sensoriais e as características microestruturais.

Varredura de Freqüência

A rampa de freqüência mostra como o comportamento da viscosidade e da elasticidade dos materiais muda com a taxa de aplicação da deformação ou da tensão. A freqüência é aumentada enquanto a tensão ou deformação é mantida constante. A varredura de freqüência é muito utilizada para comparar diferentes produtos ou para comparar o efeito da adição de diferentes ingredientes e /ou processos.

Mantendo-se a temperatura constante, a rampa de freqüência nos indica a estrutura do sistema com base nas curvas dos módulos de armazenamento (G') e de dissipação (G"). Por exemplo, em soluções diluídas, os valores de G" são maiores que G', por toda a faixa de freqüência, sendo que aumentando as concentrações a diferença entre os módulos tende a diminuir. Em soluções muito concentradas, as curvas G' e G" se interceptam em algum ponto conforme se aumenta a freqüência, mostrando comportamento parecido ao dos sólidos nas freqüências mais altas. Quando se trata de um gel, os valores de G' serão sempre maiores que os valores de G" (MARFIL, 2010; STEFFE, 1996).

Varredura de Temperatura

Neste tipo de teste, medimos os valores de G’ e G”, em função da temperatura, numa freqüência fixa. Este tipo de ensaio é muito comum no estudo de problemas que envolvem a temperatura como fonte de mudanças no comportamento reológio do material. Ex: aumento da consistência de produtos cárneos e de ovos devida à desnaturação protéica, gelatinização de amidos, derretimento de chocolate através da fusão da gordura, etc. (STEFFE, 1996).

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS[1]

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC n.266, de 22 de setembro de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 set. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE SORVETES. **Sorvete saudável**. Disponível em: http://www.abis.com.br. Acesso em: 24 set. 2012.

BORWANKAR, R.P. Food texture and rheology: a tutorial review. **Journal of Food Engineering**, v.16, p.1-16, 1992.

CLARKE, C. **The science of ice cream**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2004. 187p. (RSC paperbacks).

COSTA, F.F. **Efeitos de aditivos na cristalização de sorvetes**. Lavras, 2006. 60p. Dissertação de Mestrado – Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal de Lavras.

COSTA, F.F.; RESENDE, J.V.; ABREU, L.R.; GOFF, H.D. Effect of calcium chloride addition on ice cream structure and quality. **Journal of Dairy Science**, v.91, n.6, p.2165-2174, 2008.

COURTS, A.; WARD, A.G., eds. **The science and technology of gelatin**. London: Academic Press, 1977. 564p. (Food science and technology).

DAMODARAN, S. Inhibition of ice crystal growth in ice cream mix by gelatin hydrolysate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.55, p.10918-10923, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS; INSTITUTO DE LATICÍNIOS CÂNDIDO TOSTES. **Sorvete.** Juiz de Fora ILCT, [199?]. [Apostila].

[1] As referências bibliográficas estão de acordo com a norma NBR6023/2002 preconizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

FARIA-TISCHER, P.C.S. **Estrutura química, propriedades reológicas e atividade antiviral das galactanas sulfatadas das algas vermelhas *Meristiella gelidium* e *Gymnogongrus griffithsiae* (Gigartinales)**. Curitiba, 2006. 197p. Tese de Doutorado - Ciências Biológicas - Universidade Federal do Paraná.

FISCHER, P.; WINDHAB, E.J. Rheology of food materials. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v.16, n.1, p.36-40, 2011.

GOFF, D. Colloidal aspects of ice cream: a review. **International Dairy Journal**, v.7, p.363-373, 1997.

GOFF, D.H. Controlling ice-cream structure by examining fat: protein interactions. **Australian Journal of Dairy Technology**, v.55, p.78-81, 2000.

GOFF, H.D.; SPAGNUOLO, P. Effect of stabilizers on fat destabilization measurements in ice cream. **Milchwissenschaft – Milk Science International**, v.56, n.8, p.450-453, 2001.

GOFF, D. Formation and stabilization of structure in ice cream and related products**. Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v.7, p.432-437, 2002.

GOFF, D. **Ice cream manufacture**. Disponível em: http://www.uoguelph.ca/foodscience/dairy-science-and-technology/dairy-products/ice-cream/ice-cream-manufacture. Acesso em: 10 mar. 2010.

GÓMEZ-DÍAZ, D.; NAVAZA, J.M. Rheology of food stabilizers blends. **Journal of Food Engineering**, v.64, p.143-149, 2004.

GRANGER, C.; SCHOPPE, A.; LEGER, A.; BAREY, P.; CANSELL, M. Influence of formulation on thermal behavior of ice cream mix and ice cream. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v.82, p.427-431, 2005a.

HACKLEY, V.A.; FERRARIS, C.F. **The use of nomenclature in dispersion science and technology**. Washington: National Institute of Standards and Technology, 2001. 72p. (NIST Special Publication, 960, pt.3).

KLAHORST, S.J. **Ice cream**: combination chemistry. In: FOOD PRODUCT DESIGN. 1997. Disponível em: http://www.foodproductdesign.com/articles/1997/08/ice-cream--combination-chemistry.aspx. Acesso em: 12 mar. 2010.

LAL, S.N.D.; O'CONNOR, C.J.; EYRES, L. Application of emulsifiers/stabilizers in dairy products of high rheology. **Advances in Colloid and Interface Science**, v.123-126, p.433-437, 2006.

MARFIL, P.H.M. **Estudo reológico de sistemas gelatina/colágeno/amido para obtenção de géis e aplicação em gomas dietéticas de gelatina.** São José do Rio Preto, 2010. 126p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho".

MORRIS, E.R. Polysaccharide rheology and in-mouth perception. In: STEPHEN, A.M. **Food polysaccharides and their applications**. New York: Marcel Dekker, 1995. p.517-546. (Food science and technology, 67).

NARESH, L.; SHAILAJA, U. Stabilizers blend and their importance in ice cream industry: a review. **New Zealand Food Magazine**, 2006. Disponível em: http://www.lucidcolloids.com/pdf/775854685_stabilizer.pdf. Acesso em: 12 mar. 2010.

REGAND, A.; GOFF, D.H. Structure and ice recrystallization in frozen stabilized ice cream model systems. **Food Hydrocolloids**, v.17, p.95-102, 2003.

SCHRAMM, G. **Reologia e reometria**: fundamentos teóricos e práticos. São Paulo: Artiliber, 2006. p.232.

SCHRIEBER, R.; GAREIS, H. **Gelatine handbook**: theory and industrial practice. Weinheim: Wiley-VCH, 2007. 348p.

SILVA JUNIOR, E. **Formulações especiais para sorvete**. São Paulo, 2008. 133p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências Farmacêuticas – Universidade de São Paulo.

SITTIKIJYOTHIN, W.; TORRES, D.; GONÇALVES, M.P. Modelling the rheological behaviour of galactomannan aqueous solutions. **Carbohydrate Polymers**, v.59, p.339-350, 2004.

SORVETES & CASQUINHAS. Edições. Versão 2009. **Os estabilizantes em sorvetes**. p.48-54. http://www.insumos.com.br/sorvetes_e_casquinhas/materias/88.pdf. Acesso em: 12 mar. 2010

STEFFE, F.L. **Rheological methods in food processing engineering**. 2.ed. East Lansing: Freeman Press, 1996. 418p.

TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Rheology for the food industry. **Journal of Food Engineering**, v.67, p.147-156, 2005.

TIMM, F. **Fabricación de helados**. Zaragoza: Acribia, 1989. p.42-57.

VALENGA, F. **Estudos de Interação entre galactomanana e alginato e possíveis aplicações**. Curitiba, 2007. 74p. Dissertação de Mestrado – Ciências Biológicas - Universidade Federal do Paraná.

VEGA, C.; GOFF, H.D. Phase separation in soft-serve ice cream mixes: rheology and microstructure. **International Dairy Journal**, v.15, p.249–254, 2005.

WEIPERT, D.; TSCHEUSCHNER, H.D.; WINHAB, E., eds. **Rheologie der lebensmittel.** Hamburg: B. Behr's Verlag GmbH, 1993. 116 p.

Workshop – Avaliações Reológicas em Produtos Alimentícios, Aspectos Teóricos e Práticos, 2005, Campinas/SP.

Capítulo 3

Propriedades reológicas de misturas para sorvetes produzidas com diferentes estabilizantes durante tempo de maturação

RESUMO

Misturas para sorvete são emulsões alimentícias (de óleo em água) formuladas com leite, açúcares, gorduras, emulsificantes e estabilizantes. As propriedades reológicas dessas emulsões dependem das características de seus constituintes, das forças de interação entre eles e dos parâmetros de processo. Neste capítulo foram investigadas as modificações no comportamento reológico de misturas para sorvete em conseqüência dos estabilizantes empregados - Goma Guar, LBG (goma locusta) e Gelatina (aplicados isoladamente e em combinações) - e do tempo de maturação. Foram realizados ensaios de varredura de tensão e de freqüência para caracterização das formulações em relação aos parâmetros G', G", tan δ e η*. As formulações produzidas com a combinação de Gelatina com Goma Guar e Gelatina com LBG apresentaram forte relação entre tempo de maturação e propriedade reológica, o que não foi observado nas formulações contendo cada um dos estabilizantes isoladamente, o que mostra uma forte interação entre galactomananas e proteínas na formação de uma rede estável.

ABSTRACT

Ice cream mixes are food emulsions (oil in water) composed by milk, sugar, fats, emulsifiers and stabilizers. The rheological properties of emulsions depend on the characteristics of their constituents, the interaction forces between them and on the processing parameters. In this section, the changes on rheological behavior of ice cream mixes were investigated as a consequence of the stabilizers - Guar gum, LBG and Gelatin (isolated and in combinations) - and the aging time. Shear amplitude sweep and frequency sweep tests were applied to characterize the formulations in relation to the parameters G', G", tan δ and η*. The formulations produced with the combination of Gelatin + Guar gum and with Gelatin + LBG showed a strong relationship between aging time and rheological properties, which was not observed in the formulations containing each of the stabilizers alone. This behavior evidences the strong interaction between proteins and galactomannans to produce a stable network.

3.1 INTRODUÇÃO

Uma emulsão é definida como uma mistura de dois líquidos imiscíveis onde um está uniformemente distribuído em outro sem que haja separação (RAJAH, 2002). Misturas para sorvetes são emulsões de óleo em água, isto é, o óleo está disperso na fase aquosa como mostra o esquema da Figura 3.1 (CLARKE, 2004).

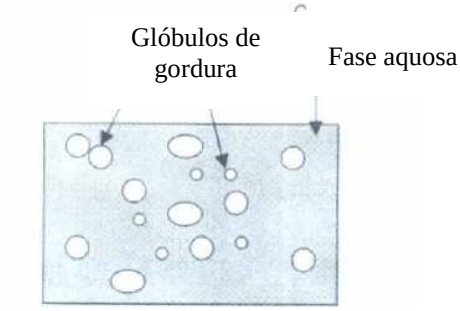


Figura 3. 1 - Esquema de emulsão óleo em água

A criação de pequenas gotículas que se distribuem pelo sistema implica em uma grande ampliação da área interfacial entre os componentes, que é conseguida graças ao consumo de enormes quantidades de energia. Essa inserção energética ligada ao preparo das emulsões resulta em uma notável instabilidade termodinâmica e, com o tempo, estas gotículas tendem a coalescer. A fim de prevenir o colapso, é preciso reter o sistema em estágios cinéticos que inviabilizem a desestabilização, minimizando as tensões interfaciais através da utilização de agentes emulsificantes e estabilizantes (SILVA JUNIOR, 2008).

Os hidrocolóides estabilizantes são adicionados às misturas para sorvete, pois além de prevenir a separação de fases durante o processamento, aumentam a viscosidade da solução, produzem uma espuma estável, retardam o crescimento de cristais de gelo e de lactose durante armazenamento, reduzem a migração de umidade do produto para a embalagem e previnem o encolhimento do produto durante vida de prateleira (BOLLIGER; GOFF; THARP, 1999).

Galactomananas são polissacarídeos extraídos de sementes de leguminosas e de algumas fontes microbiológicas, como fungos e liquens. Duas galactomananas são produzidas comercialmente em grandes quantidades: a Goma Guar e a Goma de Alfarroba, também conhecida como LBG. O comportamento sinérgico e as propriedades fisico–químicas da

galactomanana são importantes para aplicações industriais. Esses polissacarídeos podem ser usados como agentes espessantes, estabilizantes, emulsificantes, floculantes e inibidores sinérgicos, o que os fazem um material de escolha em indústrias alimentícias, cosméticas, farmacêuticas e têxteis (VALENGA, 2007).

Estabilizantes polissacarídeos, como Goma Guar e LBG, e proteínas são geralmente incompatíveis em solução acarretando na separação de fases. Para evitar esse problema, em emulsões para sorvete tipicamente se adiciona um estabilizante secundário: a k-carragena. O mecanismo pelo qual a k-carragena atua em sistemas lácteos contendo polissacarídeos, para evitar a desestabilização, não é completamente entendido. Alguns autores afirmam que a existência de uma interação eletrostática entre a k-carragena e a k-caseína leva a formação de um complexo, outros consideram a formação de um gel fraco, que mantém as micelas de caseína "aprisionadas", mantendo-as em solução, seja o fator mais relevante na atuação da carragena (VEGA; GOFF, 2005).

A gelatina foi um dos primeiros estabilizantes empregados em sorvetes, que diferentemente dos demais hidrocolóides é um ingrediente de base protéica e por isso aumenta significantemente o valor nutricional das preparações onde é empregada. O uso da gelatina nesse produto foi reduzido em função da identificação de ingredientes mais efetivos (principalmente aqueles à base de polissacarídeos) durante o processo de fabricação e, também, por razão de custo. Porém, novas tecnologias de produção oferecem agora gelatinas com qualidades especiais e granulometrias específicas fazendo com que estas voltem a ser utilizadas como ingrediente funcional, nutritivo e tecnológico em sorvetes. É conhecida por reduzir a taxa de derretimento, dar corpo e maciez ao produto. Misturas para sorvetes produzidas com gelatina possuem baixa viscosidade, o que é um atributo importante durante o processo (WARD; COURTS, 1977; SILVA JUNIOR, 2008).

Medidas reológicas vêm sendo utilizadas para avaliar a estabilidade de emulsões. As propriedades reológicas de emulsões para sorvetes antes do batimento têm mostrado relação com o comportamento do produto durante o processo e a vida de prateleira. A evolução das características viscoelásticas das emulsões para sorvetes também tem sido utilizadas para predizer características de qualidade do produto final, como crescimento dos cristais de gelo. A reologia das emulsões lácteas vai variar de acordo com os ingredientes empregados (principalmente composição da gordura e tipo de estabilizante), parâmetros de processo

(etapas de homogeneização, pasteurização e maturação) e temperatura de estocagem (BRAZMI et al., 2008).

Emulsões alimentícias pertencem à categoria de materiais fluidos ou semissólidos. As características reológicas de emulsões óleo-em-agua exibem um valor de tensão-limite, isto é, necessitam de uma quantidade definida de energia para iniciarem o fluxo e reagem como sistemas viscoelásticos mostrando relação entre a tensão imposta e a conseqüente deformação observada (SILVA JUNIOR, 2008). Segundo Pal (2010), o estudo e o entendimento da reologia de emulsões fornecem informações muito úteis sobre a estabilidade e a estrutura da mesma. A reologia de misturas para o preparo de sorvetes é de grande interesse, devido à formação de cristais e modificações moleculares que ocorrem durante a maturação.

Os ensaios reológicos oscilatórios contribuem para a avaliação da estabilidade de emulsões, uma vez que fornecem parâmetros associados ao comportamento estrutural do material, pois neste tipo de ensaio, são utilizadas baixas taxas de deformação. Como respostas destes ensaios, são obtidos os módulos elástico (G') e viscoso (G"), que são analisados em função da freqüência (SATO; CUNHA, 2007).

Diversos fatores podem afetar a reologia de misturas para sorvetes, sendo que estudos vêm sendo conduzidos a fim de se verificar o efeito da adição de ingredientes. Soukoulis, Lebesi e Tzia (2009) estudaram os efeitos de quatro fontes de fibras (aveia, trigo, maçã e inulina) nas propriedades reológicas e térmicas de soluções de sacarose e polissacarídeos e de misturas para sorvetes. A adição de fibra alimentar afetou significativamente o comportamento reológico das misturas, promovendo o desenvolvimento e fortalecimento da viscosidade. Alguns fatores que podem afetar a reologia da amostra, devido à sua complexidade são: a presença dos componentes e sua concentração (por exemplo, gordura, polissacarídeos e proteínas), os fenômenos de hidratação que ocorrem durante a maturação, a agregação de proteínas, a cristalização da gordura, a coalescência das gotículas de gordura ou floculação, etc.

Outro estudo conduzido por Soukoulis, Chandrinosa e Tzia (2008), mostrou que a adição de hidrocolóides reforçou significativamente o comportamento pseudoplástico de sorvetes, especialmente no caso do alginato de sódio, da goma xantana e da k- carragena, o que foi atribuído ao fenômenos de gelificação. O alginato de sódio alcançou o melhor efeito estabilizador melhorando a qualidade de textura e aceitação dos sorvetes, mesmo após 16

semanas de armazenamento, enquanto que a presença da k-carragena mostrou ser um fator crucial para o crioproteção. A goma xantana também foi avaliada como efetivo agente de estabilização, indicando que hidrocolóides gelificantes podem alterar consideravelmente a vida de prateleira de sorvetes.

O processo de fabricação de sorvetes é complexo e cada etapa tem sua importância para assegurar que o produto final chegue ao consumidor de acordo com os aspectos relacionados à qualidade e à segurança alimentar. Portanto, tanto na fabricação como na distribuição, todos os cuidados devem ser tomados para não prejudicar as características do sorvete.

As misturas para sorvete, após pasteurização e homogeneização, são mantidas em tanques refrigerados, com temperatura inferior a 5ºC, com agitação lenta durante certo período de tempo conhecido como maturação da calda. O período de maturação pode variar segundo as matérias primas utilizadas, mas usualmente não é inferior a 2 horas. Durante este período são criadas estruturas fundamentais para a produção de um sorvete de boa qualidade. (CLARKE, 2008; DEPARTAMENTO TÉCNICO DA TERCER SABOR, 2007).

Uma das principais funcionalidades da maturação é a completa hidratação das proteínas do leite resultando no aumento da viscosidade da mistura. A água livre, quando congelada, durante o batimento e congelamento do sorvete na produtora, cristaliza-se rapidamente, já quando está hidratando um sólido, cristaliza-se mais lentamente formando cristais mais finos e menores. (BRAZMI, 2008; DEPARTAMENTO TÉCNICO DA TERCER SABOR, 2007). Neste período ocorre também a substituição das proteínas da superfície dos glóbulos de gordura pelo emulsificante o que permite uma redução na estabilização desses glóbulos favorecendo a coalescência das gorduras (CLARKE, 2004).

O tempo de maturação permite a completa cristalização da gordura, essencial para uma maior incorporação e estabilização do ar durante o batimento (BRAZMI, 2008; THARP & YOUNG, 2010; GOFF, 2002). Durante a pasteurização, a temperatura da mistura é elevada e as gorduras passam do estado sólido para o estado líquido e, depois, com o resfriamento percorrem o caminho inverso. Quando a mistura é congelada sem o tempo mínimo de maturação, as gorduras não terminam de solidificar e tendem a produção de manteiga (TECHNICAL DEPARTMENT OF TERCER SABOR, 2007).

O tempo de maturação também deve ser suficiente para a hidratação completa do estabilizante empregado. Estabilizantes que se dissolvem lentamente em água continuam a se hidratar e intumescer durante a maturação potencializando suas funcionalidades. Alguns estabilizantes podem formar complexos com outros ingredientes da formulação (CLARKE, 2004; KLAHORST, 1997).

O objetivo deste capítulo foi investigar modificações no comportamento reológico de misturas para sorvetes, durante etapa de maturação, em decorrência da utilização dos diferentes hidrocolóides: Goma Guar, LBG e Gelatina, isoladamente e em combinação.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Preparo das misturas

As misturas para sorvetes foram preparadas com 8,5% de leite em pó desnatado (ELEGÊ), 10,0% de gordura vegetal (BUNGE PRÓ LT 450), 12,5% de açúcar (UNIÃO), 6,0% de xarope de glucose 42 DE (CORN PRODUCTS), 0,88% de emulsificante, sendo: 0,85% éster de propileno glicol (GRINSTED® PGMS 70-B, Danisco) e 0,03% polissorbato 80 (ALKEST TW80 K, Oxiteno) e 0,215% de estabilizantes, sendo: 0,035% k-carragena (GRINSTED® Carrageenan CL 110, Danisco) e 0,18% das variações de combinações entre LBG (GRINSTED® LBG 246, Danisco), Goma Guar (GRINSTED® GUAR 250, Danisco) e Gelatina (GELITA® Gel Lac 130, Gelita) como mostra a Tabela 3.1:

Tabela 3. 1 - Estabilizantes empregados nas formulações

	Teste 1 (T1)	**Teste 2 (T2)**	**Teste 3 (T3)**	**Teste 4 (T4)**	**Teste 5 (T5)**	**Teste 6 (T6)**
K-carragena (%)	*0,035*	*0,035*	*0,035*	*0,035*	*0,035*	*0,035*
Goma Guar (%)	0,18	*	*	0,09	*	0,09
LBG (%)	*	0,18	*	0,09	0,09	*
Gelatina (%)	*	*	0,18	*	0,09	0,09

Nesse estudo, a funcionalidade da k-carragena foi desconsiderada já que está presente em todas as formulações, na mesma concentração, como estabilizante secundário.

As misturas para sorvetes foram processadas da seguinte forma:

- A água da formulação foi aquecida a 30ºC em uma panela e então o leite em pó foi adicionado sob agitação (Agitador Fisatom, Mod. 713D, Brasil).

- A 40ºC os estabilizantes, previamente misturados com o açúcar da fórmula, foram adicionados ao leite já reconstituído;

- A 45ºC adicionou-se a gordura e o xarope de glucose;

- A 60ºC os emulsificantes foram finalmente adicionados;

- As misturas foram pasteurizadas a 72ºC por 10 min, em fogão doméstico.

- As misturas foram homogeneizadas a 250 kgf/cm2 (Homogenizador Artepeças APLAB-10, Brasil).

- Logo após a homogeneização as misturas foram resfriadas até 4ºC, em banho de gelo, e mantidas nessa temperatura, em geladeira, durante 24 horas.

Durante este período, conhecido como maturação, o comportamento reológico das misturas foi analisado.

Avaliação das misturas

As características reológicas das misturas para sorvete preparadas conforme descrição foram determinadas através de testes oscilatórios, em Reômetro MARS Haake, com programa RheoWin3 para análise de dados (*Thermo Electron Corporation*, Alemanha) (Figura 3.2), à temperatura de 4 ºC, controlada por um banho refrigerado, com sensor cone - placa (C35/1 Ti polido), em triplicata.

Figura 3. 2 - Reômetro MARS, Haake

Primeiramente, foram realizadas varreduras de tensão, de 0,01 a 100 Pa, para a determinação do intervalo de viscoelasticidade linear. Estabelecido o valor de tensão fixo, dentro do intervalo linear, varreduras de freqüência, de 0,01 a 10 Hz, foram efetuadas para a obtenção do espectro mecânico. O comportamento dos módulos elástico (G') e viscoso (G''), assim como a relação entre eles (tan δ) e a viscosidade complexa (η^*) foram avaliados em função da freqüência.

As misturas foram avaliadas logo após homogeneização e resfriamento (t0), após 2, 4, 6 e 24 horas de maturação (t2h, t4h, t6h e t24h, respectivamente) a 4ºC.

Análise dos dados

Os resultados obtidos nas análises, quando pertinente, foram avaliados por ANOVA (comparação de Tuckey, $p \leq 0,05$) através de software MINITAB (Minitab, Estados Unidos).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para ensaios reológicos oscilatórios, inicialmente se realiza uma varredura em deformação crescente para verificação da região de viscoelasticidade linear, mantendo-se a freqüência de oscilação constante. A varredura de tensão é fundamental para a avaliação do intervalo de viscoelasticidade linear, permitindo mensurar o valor máximo de tensão no qual não há quebra nem alterações na estrutura da amostra. A região viscoelástica é conhecida por ser a região onde a estrutura do gel é preservada, ou seja, os módulos de armazenamento ou elástico (G') e de perda ou viscoso (G'') são independentes da freqüência (SATO, 2007; HAMINIUK, 2009; MARFIL, 2010).

A varredura de tensão das amostras foi conduzida logo após o resfriamento da calda (t0) e após 2 horas (t2h), 4 horas (t4h), 6 horas (t6h) e 24 horas (t24h) a 4ºC. A Figura 3.3 apresenta os resultados obtidos:

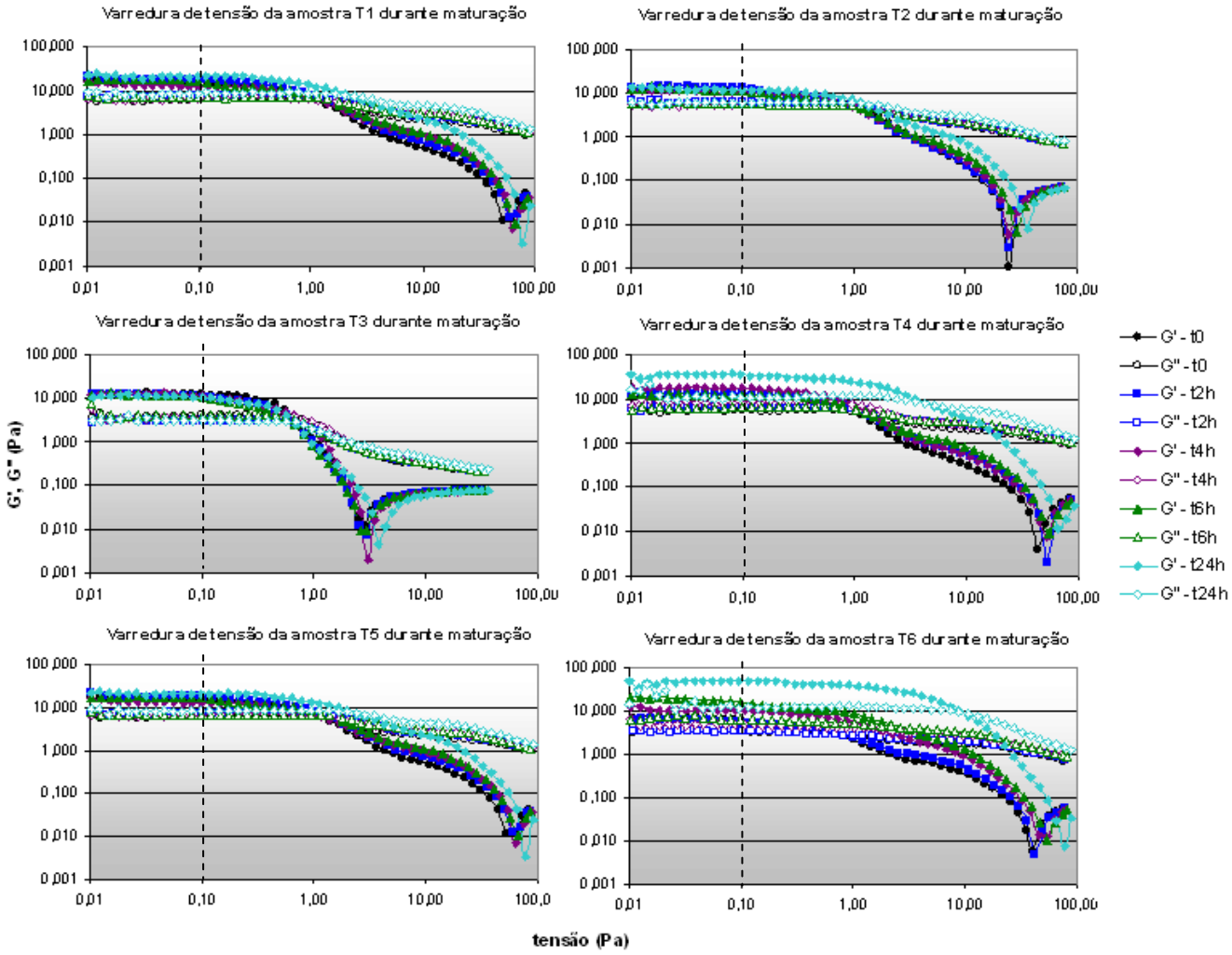


Figura 3. 3 - Varredura de tensão das amostras T1, T2, T3, T4, T5 e T6 para determinação da região viscoelástica

Através da interpretação da Figura 3.1, a região viscoelástica das amostras foi determinada. A tensão escolhida para o ensaio subseqüente, varredura de freqüência, foi de 0,1 Pa, já que nessa tensão todas as misturas, independentemente do tempo de maturação, se encontram na região de viscoelasticidade linear.

Todas as misturas apresentaram predominância de resposta elástica em baixas tensões (G' > G"). Embora uma estrutura estável seja bastante desejável, a elasticidade de um material pode dificultar algumas etapas do processamento, como operações de dosagem (SILVA JUNIOR, 2008). Com a saída da região de viscoelasticidade linear o módulo viscoso sobressaiu, indicando ocorrência de modificação estrutural.

O comportamento reológico de emulsões permite identificar a estabilidade das mesmas em uma determinada de freqüência (GRANGER et al., 2005).

Na Figura 3.4 encontram-se representados os espectros mecânicos da mistura produzida com Goma Guar (T1), obtidos com valores de tensão dentro do intervalo linear (0,1 Pa), em que se pode observar o comportamento dos módulos de armazenamento (G') e perda (G") em função da freqüência, nos diferentes tempos de maturação avaliados.

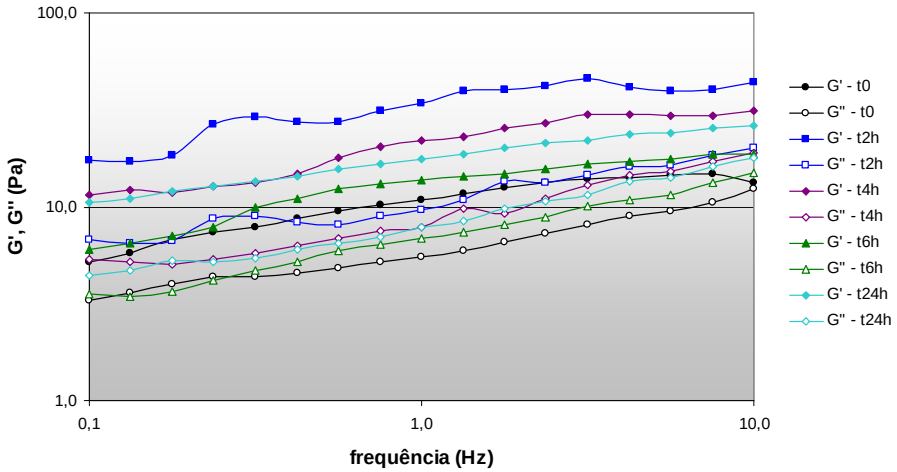


Figura 3. 4 - Varredura de freqüência da amostra T1 (Goma Guar) durante maturação a 4ºC

Foi observado um comportamento predominantemente elástico, ou seja, os valores de G' foram superiores a G", para todos os valores de freqüência aplicados e durante toda a maturação, isso mostra que a mistura não sofreu grandes alterações estruturais mesmo em altas freqüências de oscilação. Emulsões estáveis são caracterizadas por apresentarem valor de G' superior ao G" durante toda varredura de freqüência e indicam comportamento de gel (GRANGER et al., 2005). Foi observado também uma pequena dependência dos valores de G' e G" com a freqüência, indicativo de comportamento tipicamente viscoelástico (VALENGA, 2007).

As Figuras 3.5 e 3.6 abaixo representam os espectros das amostras produzidas com a combinação de Goma Guar com LBG (T4) e Goma Guar com Gelatina (T6).

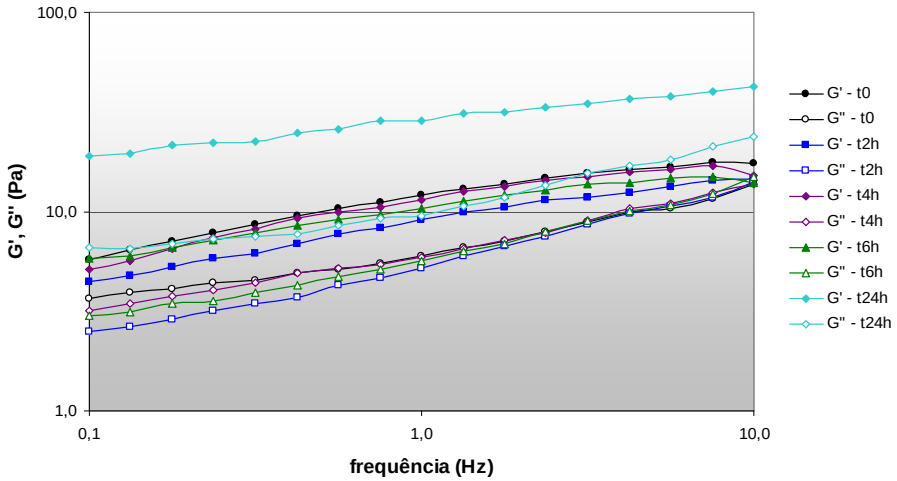


Figura 3. 5 - Varredura de freqüência da amostra T4 (Goma Guar + LBG) durante maturação a 4ºC

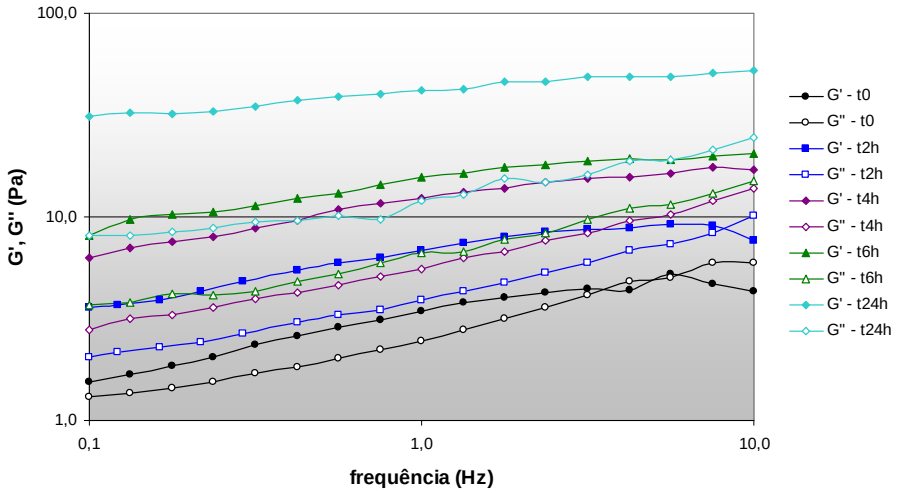


Figura 3. 6 - Varredura de freqüência da amostra T6 (Goma Guar + Gelatina) durante maturação a 4ºC

Quando misturamos Goma Guar com LBG (T4), o modo elástico (G') se mantém superior ao viscoso (G") nos valores de freqüência varridos, mas percebe-se que com até 6 horas de maturação parece haver inversão do comportamento logo após 10 Hz. O comportamento da amostra produzida com Goma Guar e Gelatina (T6) sofreu alterações estruturais com o aumento da freqüência no início da maturação (t0 e t2h), onde com o aumento da freqüência os módulos dinâmicos sofreram inversão, portanto para obtenção de uma emulsão estável nota-se a necessidade de um maior tempo de maturação.

Estes resultados mostram que o tempo de maturação necessário para atendimento das características desejadas varia de acordo com a combinação dos estabilizantes utilizados. A

mistura para sorvete produzida com Goma Guar apresenta comportamento reológico semelhante durante todo o tempo de maturação analisado. Quando misturamos Goma Guar com LBG, a amostra produzida apresenta, após 24 horas, um comportamento diferenciado daquele com poucas horas de maturação. Já, o comportamento reológico da amostra produzida com Goma Guar + Gelatina é fortemente afetado pelo tempo de maturação.

O comportamento reológico de dispersões de partículas líquidas deformáveis cobertas com algum aditivo (surfactante, polímeros) é dependente das características reológicas do filme formado pelo aditivo. Por exemplo, se o filme interfacial é de natureza puramente viscosa, com a não elasticidade da forma ou área, sua presença tem um efeito muito diferente no comportamento reológico da emulsão se comparado a quando o filme interfacial é de natureza puramente elástica.

A determinação do valor de tan δ (G" / G'), fator de perda ou tangente do ângulo de perda, é importante porque quando relacionamos os dois módulos é possível caracterizar o comportamento da amostra, ou seja: se apresenta caráter mais elástico ou mais viscoso. Quanto mais baixo o valor de tan δ maior é a característica de gel (VALENGA, 2007) .

A tabela 3.2 abaixo apresenta os valores de tan δ para as amostras T1, T4 e T6 na freqüência de 1 Hz durante maturação:

Tabela 3. 2 - Valores de tan δ (tangente do ângulo de perda) para as amostras T1, T4 e T6, freqüência de 1 Hz

	tan δ		
Tempo (h)	**Guar (T1)**	**Guar + LBG (T4)**	**Guar + Gelatina (T6)**
0	$0,508 \pm 0,006^{aA}$	$0,502 \pm 0,064^{aA}$	$0,722 \pm 0,025^{aB}$
2	$0,288 \pm 0,039^{bA}$	$0,577 \pm 0,043^{aB}$	$0,568 \pm 0,006^{bB}$
4	$0,399 \pm 0,101^{abA}$	$0,520 \pm 0,037^{aA}$	$0,448 \pm 0,027^{cA}$
6	$0,504 \pm 0,059^{aAB}$	$0,543 \pm 0,003^{aA}$	$0,427 \pm 0,024^{cB}$
24	$0,446 \pm 0,005^{aA}$	$0,343 \pm 0,024^{bB}$	$0,282 \pm 0,007^{dC}$

*letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa, $p \leq 0,05$, entre os diferentes tempos de maturação da amostra (coluna) e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa, $p \leq 0,05$, entre as diferentes amostras no mesmo tempo de maturação (linhas)

Podemos observar que a amostra T6, produzida com Goma Guar e Gelatina, antes da maturação (t0) apresenta o caráter mais viscoso entre as misturas e após 24 horas de maturação é a mistura que apresenta o caráter de gel mais forte.

As Figuras 3.7 e 3.8 apresentam os espectros das misturas produzidas com LBG (T2) e com Gelatina (T3), respectivamente:

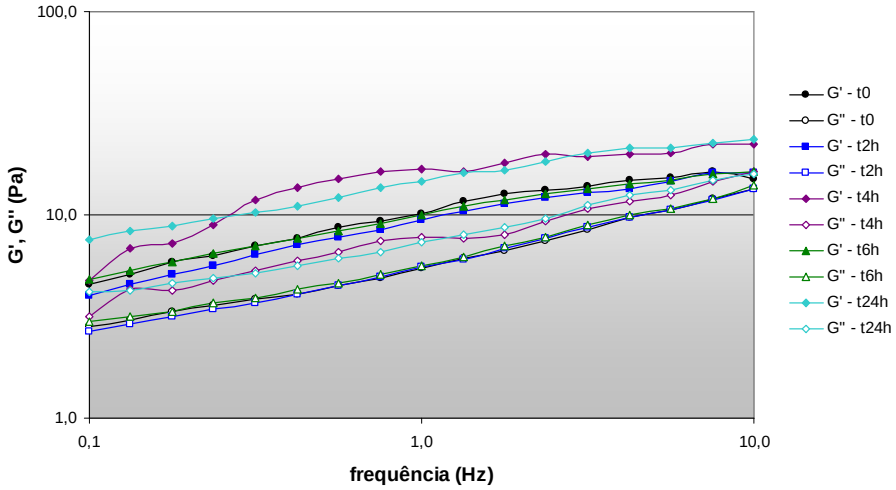


Figura 3. 7 - Varredura de freqüência da amostra T2 (LBG) durante maturação a 4ºC

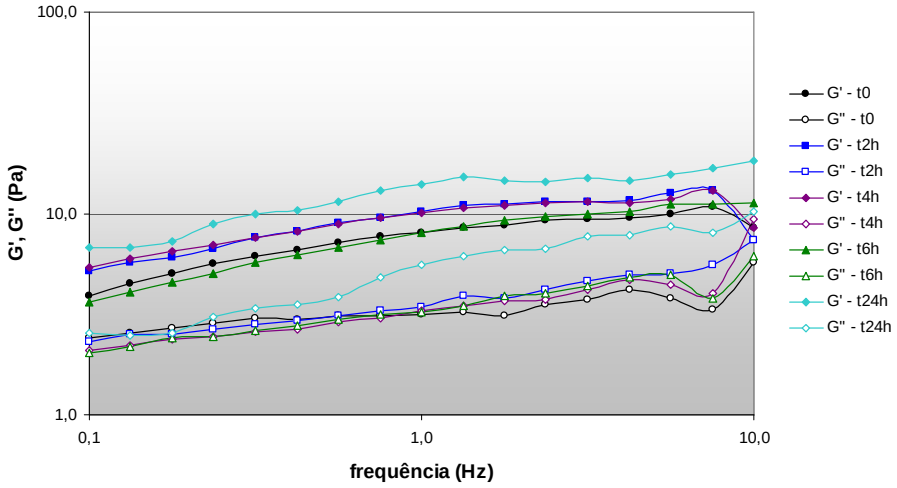


Figura 3. 8 - Varredura de freqüência da amostra T3 (Gelatina) durante maturação a 4ºC

Foi observado comportamento predominantemente elástico em todos os valores de freqüência aplicados e durante toda a maturação tanto para as misturas produzidas com LBG (T2) quanto para as misturas produzidas com Gelatina (T3), mostrando que essas misturas não sofreram grandes alterações estruturais mesmo em altas freqüências de oscilação. Para a amostra produzida com Gelatina, no início da maturação (t0, t2 e t4), parece haver inversão do comportamento logo após 10 Hz. Foi observada também uma pequena dependência dos valores de G' e G'' com a freqüência para as 2 amostras.

A Figura 3.9 mostra o comportamento da mistura para sorvete produzido com a combinação de LBG e Gelatina durante maturação de 24h:

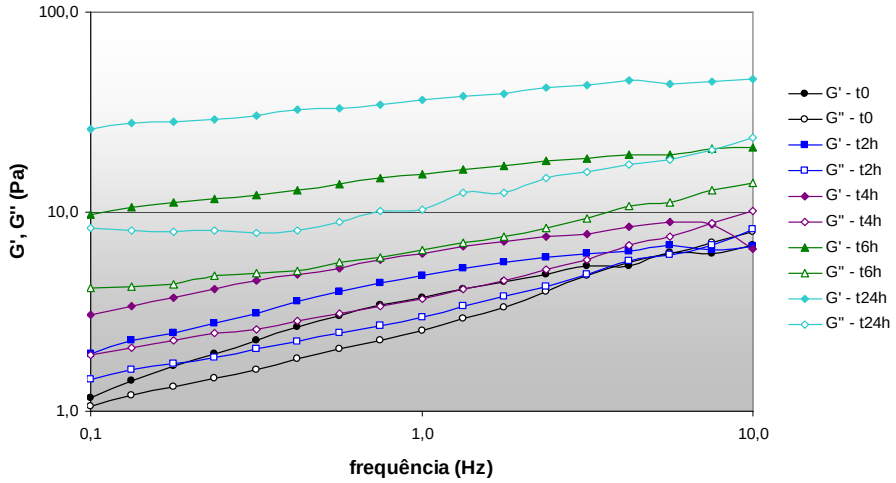


Figura 3. 9 - Varredura de freqüência da amostra T5 (LBG + Gelatina) durante maturação a 4ºC

Quando misturamos LBG com Gelatina (T5), o comportamento da mistura mostra alterações estruturais com o aumento da freqüência no início de maturação (t0, t2h e t4h), onde com o aumento da freqüência o modo elástico se tornou inferior ao viscoso. Esse comportamento mostra a necessidade de um maior tempo de maturação para obtenção de uma emulsão estável.

A Tabela 3.3 apresenta os valores de tan δ para as amostras produzidas com LBG (T2), Gelatina (T3) e com a mistura dessas gomas (T5) na freqüência de 1 Hz durante maturação:

Tabela 3. 3 - Valores de tan δ (tangente do ângulo de perda) para as amostras T2, T3 e T5em f = 1 Hz*

	tan δ		
Tempo (h)	LBG (T2)	Gelatina (T3)	LBG + Gelatina (T5)
0	0,541 ± 0,049aA	0,392 ± 0,016aB	0,696 ± 0,058aC
2	0,584 ± 0,003aA	0,337 ± 0,020aB	0,631 ± 0,033abC
4	0,492 ± 0,079aA	0,338 ± 0,066aB	0,595 ± 0,028bA
6	0,563 ± 0,013aA	0,412 ± 0,073aB	0,419 ± 0,021cB
24	0,505 ± 0,007aA	0,371 ± 0,044aB	0,294 ± 0,021dC

*letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa, p≤0,05, entre os diferentes tempos de maturação da amostra (coluna) e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa, p≤0,05, entre as diferentes amostras no mesmo tempo de maturação (linhas).

Assim como aconteceu quando misturamos Guar e Gelatina, aqui também observamos um aumento da força do gel com o tempo de maturação para a amostra produzida com LBG e Gelatina (T5). Já as amostras produzidas somente com Gelatina (T3) e somente com LBG (T2) não apresentaram esse comportamento.

O comportamento observado pode estar relacionado com a agregação dos estabilizantes que, para atingir certo grau de ordem resultando na formação de uma rede contínua, precisa de um maior tempo de maturação (GRANGER et al., 2005). Já é sabido que as galactomananas possuem a característica de reagirem sinergeticamente com outros hidrocolóides fazendo com que sejam convenientemente aplicados em formulações que envolvam formação de gel, estabilização e emulsificação (SCHRIEBER; GAREIS, 2007)

A viscosidade é a grandeza que mede o atrito entre camadas consecutivas de líquido. Assim, fluidos viscosos necessitam de mais força para se mover que aqueles menos viscosos. A viscosidade complexa (η*) nos dá a relação direta entre a viscosidade obtida em função da freqüência.

A Figura 3.10 e a Tabela 3.4 mostram a viscosidade complexa, quando f = 0,1 Hz, para as amostras T1, T2 e T3.

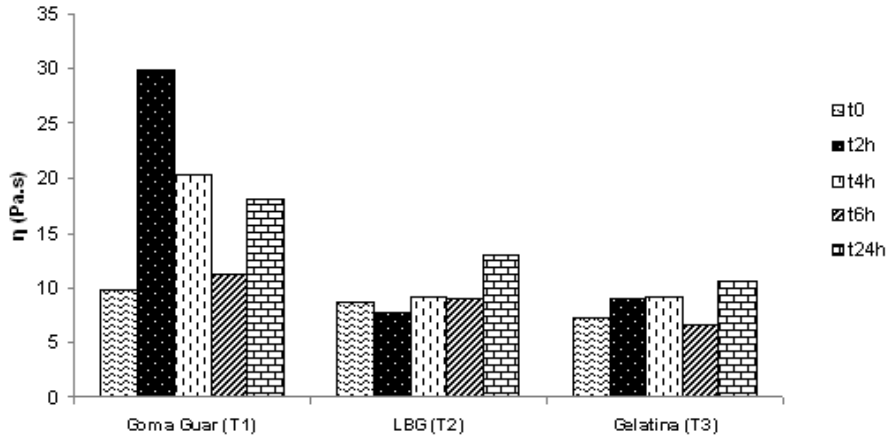


Figura 3. 10 - η*(viscosidade complexa) em Pa.s, na freqüência 0,1 Hz, nos tempos t0, t 2h, t 4h, t 6h e t24h

Tabela 3. 4 - Valores de η* (viscosidade complexa) em Pa.s, na freqüência 0,1 Hz, nos tempos t0, t2h, t4h, t6h e t24h.

	η* (Pa.s)		
Tempo (h)	**Guar (T1)**	**LBG (T2)**	**Gelatina (T3)**
0	$9{,}769 \pm 0{,}136^{aA}$	$8{,}558 \pm 0{,}543^{aB}$	$7{,}295 \pm 1{,}580^{aB}$
2	$29{,}835 \pm 16{,}625^{aA}$	$7{,}707 \pm 0{,}027^{aA}$	$8{,}982 \pm 1{,}23^{aA}$
4	$20{,}365 \pm 8{,}075^{aA}$	$9{,}105 \pm 1{,}162^{aA}$	$9{,}168 \pm 3{,}148^{aA}$
6	$11{,}139 \pm 1{,}769^{aA}$	$9{,}006 \pm 0{,}674^{aAB}$	$6{,}652 \pm 1{,}941^{aB}$
24	$18{,}055 \pm 1{,}325^{aA}$	$12{,}887 \pm 1{,}558^{bB}$	$10{,}498 \pm 2{,}489^{aB}$

*letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa, $p \leq 0{,}05$, entre os diferentes tempos de maturação da amostra (coluna) e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa, $p \leq 0{,}05$, entre as diferentes amostras no mesmo tempo de maturação (linhas).

As misturas produzidas com Goma Guar (T1) e com Gelatina (T3) não apresentaram relação entre viscosidade complexa e o tempo de maturação. A amostra produzida com LBG (T2) apresentou aumento significativo de viscosidade após 24 horas de maturação.

Na Figura 3.11 e na Tabela 3.5 se encontra representado o comportamento da viscosidade complexa para as misturas, durante maturação, produzidas com as combinações desses hidrocolóides quando f = 0,1 Hz.

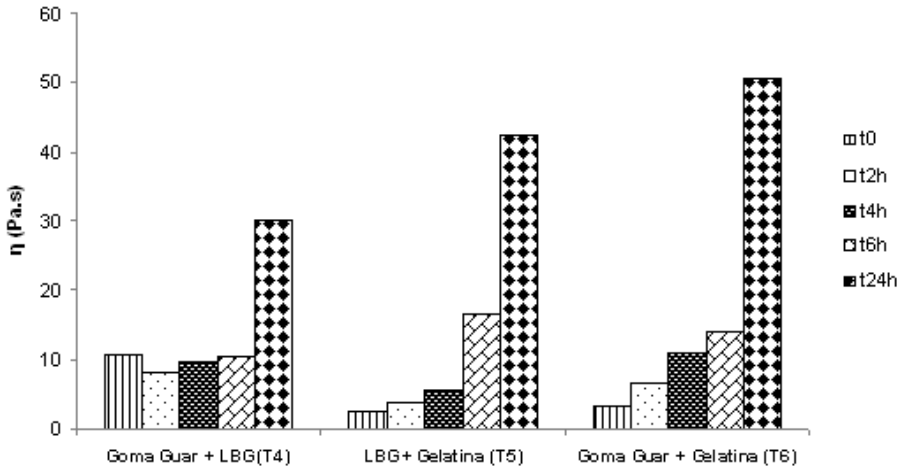


Figura 3. 11 - η*(viscosidade complexa) em Pa.s, na freqüência 0,1 Hz, nos tempos t0, t 2h, t 4h, t 6h e t24h

Tabela 3. 5 - Valores de η* (viscosidade complexa) em Pa.s, na freqüência 0,1 Hz, nos tempos t0, t2h, t4h, t6h e t24h

	η* (Pa.s)		
Tempo (h)	**Guar + LBG (T4)**	**LBG + Gelatina (T5)**	**Guar + Gelatina (T6)**
0	$10,811 \pm 3,062^{aA}$	$2,513 \pm 0,637^{aB}$	$3,232 \pm 0,200^{aB}$
2	$8,122 \pm 1,631^{aA}$	$3,849 \pm 0,177^{abB}$	$6,674 \pm 0,761^{abA}$
4	$9,628 \pm 0,351^{aA}$	$5,701 \pm 0,641^{bB}$	$10,977 \pm 2,370^{bcA}$
6	$10,423 \pm 0,204^{aA}$	$16,723 \pm 1,370^{cB}$	$14,053 \pm 4,268^{cA}$
24	$30,293 \pm 6,123^{bB}$	$42,290 \pm 2,813^{dC}$	$50,597 \pm 4,617^{dC}$

*letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa, $p \leq 0,05$, entre os diferentes tempos de maturação da amostra (coluna) e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa, $p \leq 0,05$, entre as diferentes amostras no mesmo tempo de maturação (linhas).

A mistura produzida com a combinação Goma Guar e LBG (T4) apresentou aumento de viscosidade expressivo somente após 24 horas de maturação. Já as misturas produzidas com Gelatina e LBG (T5) e Gelatina e Goma Guar (T6) apresentaram forte relação entre viscosidade complexa e o tempo de maturação.

Durante maturação em baixas temperaturas as propriedades físicas das emulsões são alteradas, devido em parte à hidratação dos estabilizantes, resultando no aumento da viscosidade. Patmore, Goff e Fernandes (2003) demonstraram que os estabilizantes presentes em emulsões para sorvete alteram as propriedades reológicas das mesmas. Os estabilizantes que estão na fase não congelada dos sorvetes interagem entre si afetando significantemente as propriedades reológicas e de textura do produto. A presença de polissacarídeos que não

formam gel, como Goma Locusta e Goma Guar, resultam num aumento da propriedade viscosa do sistema muito maior do que quando utilizamos somente gelatina.

Com o aumento da freqüência todas as amostras apresentaram redução expressiva na viscosidade complexa (não apresentado) o que pode ser explicado pela desagregação das partículas de gordura presentes na emulsão. Como podemos ver, a viscosidade apresentada pelas misturas depende do tipo de hidrocolóides aplicado à formulação, bem como do tamanho de partículas do sistema.

3.4 CONCLUSÃO

As formulações produzidas com a combinação de Gelatina com Goma Guar e Gelatina com LBG apresentaram forte relação entre tempo de maturação e propriedade reológica, o que não foi observado nas formulações contendo cada um dos estabilizantes isoladamente, e nem na formulação contendo a mistura de LBG com Goma Guar. Isso mostra a existência de uma interação forte entre gelatina e galactomananas e que a maturação dessa mistura é essencial para a formação de uma rede contínua e estável.

O efeito sinérgico da gelatina com outro estabilizante em misturas para sorvete pode ser manipulado para que se alcancem as características desejadas de acordo com os parâmetros do processo e também a qualidade do produto final.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS[2]

BOLLIGER, S.; GOFF, H.D.; THARP, B.W. Correlation between colloidal properties of ice cream mix and ice cream. **International Dairy Journal**, v.10, p.303-309, 1999.

BRAZMI, A.; LAUNAY, B.; CUVELIER, G.; RELKIN, P. Impact of crystalline milk fat on rheological properties of ice cream mix emulsions during aging time at 4ºC. **Journal of Texture Studies**, v.39, n.4, p.309-325, 2008.

CLARKE, C. **The science of ice cream**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2004. 187p. (RSC paperbacks).

DEPARTAMENTO TÉCNICO DA TERCER SABOR - ARGENTINA. A importância da maturação: efeitos, vantagens e cuidados em sua implementação. **Sorveteria Confeitaria Brasileira**, n.176, p.24, 2007. Disponível em: http://www.publitecbrasil.com.br/pdf/176e.pdf. Acesso em: 12 mar. 2010.

GOFF, D. Formation and stabilization of structure in ice cream and related products**. Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v.7, p.432-437, 2002.

GRANGER, C.; BAREY, P.; VESCHAMBRE, P.; CANSELL, M. Physicochemical behavior of oil-in-water emulsions: influence of milk protein mixtures, glycerol ester mixtures and fat characteristics. **Colloids and Surfaces, B: Biointerfaces**, v.42, p.235-243, 2005.

HAMINIUK, C.W.I.; SIERAKOWSKI, M.R.; IZIDORO, D.R.; MACIEL, G.M.; SCHEER, A.P.; MASSON, M.L. Rheological behavior of pectic systems of red fruit pulps. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, p.225-231, 2009.

KLAHORST, S.J. **Ice cream**: combination chemistry. In: FOOD PRODUCT DESIGN. 1997. Disponível em: http://www.foodproductdesign.com/articles/1997/08/ice-cream--combination-chemistry.aspx. Acesso em: 12 mar. 2010.

[2] As referências bibliográficas estão de acordo com a norma NBR6023/2002 preconizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

MARFIL, P.H.M. **Estudo reológico de sistemas gelatina/colágeno/amido para obtenção de géis e aplicação em gomas dietéticas de gelatina.** São José do Rio Preto, 2010. 126p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho".

PAL, R. Rheology of simple and multiple emulsions. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v.16, n.1, p.41-60, 2010.

PATMORE, J.V.; GOFF, H.D.; FERNANDES, S. Cryo-gelation of galactomannans in ice cream model systems. **Food Hydrocolloids**, v.17, p.161-169, 2003.

RAJAH, K.K., ed. **Fats in food technology**. Sheffield: Sheffield Academic Press, 2002. p.70. (Sheffield food technology).

SATO, A.K.; CUNHA, R.L. Influence of temperature on the rheological behavior of jaboticaba pulp. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, p.890-896, 2007.

SCHRIEBER, R.; GAREIS, H. **Gelatin handbook**: theory and industrial practice. Weinheim: Wiley-VCH, 2007. 334p.

SILVA JUNIOR, E. **Formulações especiais para sorvete**. São Paulo, 2008. 133p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Universidade de São Paulo.

SOUKOULIS, C.; LEBESI, D.; TZIA, C. Enrichment of ice cream with dietary fibre: effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. **Food Chemistry**, v.115, p.665-671, 2009.

SOUKOULIS, C.; CHANDRINOS, I.; TZIA, C. Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with κ-carrageenan on storage quality of vanilla ice cream. **Food Science and Technology**, v.41, p.1816-1827, 2008.

THARP & YOUNG "ON ICE CREAM". "On Ice Cream" Technical Q&A. Mix Processing Variables. **Mix processing variables**: effect on eating quality. Disponível em: http://www.onicecream.com/qa_mix_processing.htm. Acesso em: 12 mar. 2010.

VALENGA, F. **Estudos de Interação entre galactomanana e alginato e possíveis aplicações**. Curitiba, 2007. 74p. Dissertação de Mestrado – Ciências Biológicas - Universidade Federal do Paraná.

VEGA, C.; GOFF, H.D. Phase separation in soft-serve ice cream mixes: rheology and microstructure. **International Dairy Journal**, v.15, p.249–254, 2005.

WARD, A.G.; COURTS, A. **The science and technology of gelatin**. London: Academic Press, 1977. 564p. (Food science and technology).

Capítulo 4

Características de processo de sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes – *OverRun*, Textura & Curva de Congelamento

RESUMO

Seis formulações de sorvete foram produzidas com variações nos agentes estabilizantes. Os estabilizantes testados, isoladamente e em combinação, foram: Goma Guar, Goma Locusta (LBG) e Gelatina. Todos os sorvetes foram formulados para conter o mesmo teor de sólidos totais e a mesma porcentagem de água congelada. A curva de congelamento dos sorvetes foi plotada e também foram medidos o percentual de incorporação de ar - *overrrun* (OR) - e a força máxima requerida à extrusão dos sorvetes logo após batimento, a -5ºC. A maior incorporação de ar se deu nos sorvetes produzidos com LBG e nos sorvetes produzidos com Gelatina, e o menor OR foi obtido para o sorvete produzido com Goma Guar + LBG. O sorvete que requereu maior força à extrusão foi o formulado com Goma Guar e para todas as formulações onde os estabilizantes foram mesclados a força para extrusão foi similar.

ABSTRACT

Six ice creams were produced with variations in the stabilizing agents. The stabilizers tested, alone and in combination, were Guar gum, Locust bean gum (LBG) and Gelatin. All ice creams were formulated to contain the same total solids and the same percentage of ice water. The freezing curve was plotted and the measurements of air incorporation - overrun (OR) - and the maximum force required to extrusion after beating, at -5 ° C, were performed. The greater incorporation of air was obtained for the ice cream produced with Gelatin and for the ice cream produced with LBG and the lowest OR was obtained for the ice cream produced with Guar gum + LBG. The ice cream that required higher force to extrusion was formulated with Guar gum and the extrusion force was very similar for the formulations which the stabilizers were mixed.

4.1 INTRODUÇÃO

Sorvetes e outras sobremesas aeradas e congeladas são sistemas coloidais complexos compostos, no estado congelado, por: cristais de gelo, bolhas de ar e glóbulos de gordura parcialmente coalescidos; todos imersos em uma matriz de açúcar, polissacarídeos, proteínas, sais e água. A aeração e o congelamento durante o processamento dos sorvetes envolvem diversas mudanças físicas como: a ação de proteínas e surfactantes na formação e estabilização da espuma, coalescência parcial da emulsão e a concentração da solução através da remoção de água durante a formação de gelo (GOFF, 2002).

O ar em sorvetes, além de promover textura agradável ao produto, também influencia as propriedades físicas de derretimento e dureza. Porém, não é só quantidade de ar incorporado, mas também a distribuição do tamanho das células de ar que irão influenciar estas propriedades, além de outros fatores. O ar está distribuído em forma de pequenas bolhas, com tamanho entre 20 e 50 μm (GOFF, 2002). Novas células de ar que serão formadas durante o congelamento dos sorvetes precisam estar estabilizadas para não coalescer. A presença de cristais de gelo, a gordura e a viscosidade da matriz auxiliam na estabilidade do sistema. (SOFJAN; HARTEL, 2004).

No trabalho de Sofjan e Hartel (2004) foi demonstrado que sorvetes com 80% de *overrun* derretem mais rapidamente que sorvetes com *overrun* acima de 100%. A explicação dada para esta constatação é de que existe uma diferença na transferência de calor devido à presença de ar. O ar é um bom isolante térmico e reduz a taxa de transferência de calor para os sorvetes que apresentavam maior quantidade de ar (maior *overrun*).

Segundo Arbuckle (1977), a quantidade de ar incorporado durante batimento e congelamento afeta o tamanho dos cristais de gelo, sendo que para baixos *overruns* é esperado cristais de gelo maiores. Alguns trabalhos são contraditórios na correlação entre quantidade de ar incorporada e dureza dos sorvetes, pois a dureza está relacionada também com outros fatores, como o tamanho dos cristais de gelo e de gordura, por exemplo (SOFJAN; HARTEL, 2004).

A dureza de sorvetes é medida como a resistência à deformação quando uma força externa é aplicada. A dureza pode ser afetada por diversos fatores como incorporação de ar,

tamanho dos cristais de gelo, volume da fase congelada, desestabilização da gordura, etc. (CLARKE, 2004).

Instrumentos de análise de perfil de textura (TPA) têm sido utilizados por muitos anos para a medida das propriedades de textura dos alimentos e seus resultados têm sido correlacionados com características sensoriais e de processo.

O estudo dos fatores que afetam a dureza, a aeração, o congelamento e o derretimento dos sorvetes é difícil de ser realizado porque é difícil alterar uma única propriedade. A mudança de um aspecto da formulação ou do processo de produção afeta diversos aspectos estruturais dos sorvetes (MUSE; HARTEL, 2004).

A depressão no ponto de congelamento é a diferença entre 0ºC (temperatura de congelamento da água) e a temperatura que a mistura para sorvete começa a congelar. Para calcular a depressão no ponto de congelamento das misturas é necessário somar a contribuição de todos os componentes da formulação que impactam na depressão do ponto de congelamento. A combinação dos agentes dulçores (mono e dissacarídeos) e os ingredientes lácteos (lactose e sais) empregados na formulação são os grandes contribuintes. Gordura, proteína, carboidratos de alto peso molecular, estabilizantes e emulsificantes não contribuem para abaixamento do ponto de congelamento, isso porque a gordura é imiscível na fase aquosa, e as proteínas e polissacarídeos são moléculas muito grandes. Entretanto, se essas substâncias são aumentadas na fórmula haverá menos água no sistema, onde os solutos possam se dissolver, então a presença desses componentes irá influenciar indiretamente na depressão do ponto de congelamento (MARSHALL; GOFF; HARTEL, 2003).

O objetivo deste capítulo foi avaliar algumas propriedades físicas – Curva de Congelamento, *Overrun* e Força máxima requerida para extrusão – que impactam o processamento de sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Produção dos sorvetes

As seis formulações descritas no Capítulo 3, contendo diferentes estabilizantes: formulação T1 = Goma Guar, formulação T2 = LBG, formulação T3 = Gelatina, formulação T4 = Goma Guar + LBG, formulação T5 = LBG + Gelatina e formulação T6 = Gelatina + Goma Guar, foram processadas em bateladas de seis litros, preparadas conforme descrito no Capítulo 3. O tempo de maturação estabelecido foi de 24 horas (temperatura entre 3 e 5ºC). A produtora de sorvetes (CONSERVEX/SKYSEN, Brasil) utilizada se encontra no Laboratório do Departamento de Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica (Figura 4.1). A temperatura do banho refrigerante no qual o tambor de batimento estava imerso era de aproximadamente -25ºC. A temperatura de -5ºC foi utilizada como parâmetro sinalizador do término do processamento dos sorvetes.

Figura 4. 1 - Produtora de sorvete

Medida de Overrun

A medida da quantidade de ar incorporado nos sorvetes foi realizada, em triplicata, da seguinte forma:

- Tomou-se o peso de uma embalagem padronizada;

- A embalagem foi completada com a mistura para sorvete (antes do batimento) e anotou-se o peso, descontando o peso da embalagem;

- Após batimento, preencheu-se a embalagem com o sorvete pronto. A massa do sorvete, descontando a embalagem foi anotada.

- A porcentagem de *Overrun* foi calculada a través da Equação 4.1:

$$\textbf{\% } \textbf{\textit{overrun}} \textbf{ = } (m_{mistura} - m_{sorvete}) / m_{sorvete} \qquad \textbf{(Equação 4.1)}$$

Análise de Textura

Um analisador de textura TA-XT2 (*Stable Micro System,* Reino Unido) foi utilizado para medir a força máxima requerida à extrusão dos sorvetes logo após batimento, a -5ºC. Para cada formulação foram analisadas 3 amostras, utilizando o probe AB/E *back extrusion* (Figura 4.2).

O volume do copo foi preenchido com sorvete até ocupar aproximadamente 2/3 do volume total. A velocidade de penetração do probe nas amostras foi de 1 mm/s assim como a velocidade de pré e pós teste. A distância percorrida pelo probe após alcançar a massa de sorvete no copo foi de 25 mm. O pico máximo de força foi avaliado como a força máxima requerida à extrusão. Os resultados foram analisados com o auxílio do software *Texture Expert (Stable Micro Systems, Reino Unido).*

Figura 4. 2 - Probe back extrusion

Curva de congelamento

Para determinação da curva de congelamento dos sorvetes, utilizou-se o método proposto por Marshall, Goff e Hartel (2003):

Primeiramente calculou-se o Equivalente em sacarose na mistura (SE), segundo Equação 4.2:

SE = (0,545 x SNGL) + (0,765 x SS) + S + (0,2 x XG 10DE) + (0,6 x XG 36DE) + (0,8 x XG 42DE) + (1,2 x XG 62DE) + (1,8 x XF) + (1,9 x F) **(Equação 4.2**)

onde SNGL = sólidos não gordurosos do leite; SS = sólidos provenientes do soro de leite; S = conteúdo de sacarose; XG = xarope de glicose em cada uma das sua respectivas DE (dextrose equivalente) utilizada; XF = xarope de frutose; F = frutose cristalina.

Após, foi calculado o equivalente de sacarose (SE) em água (g/100g água), dividindo o SE encontrado através da Equação 4.2 pelo conteúdo de água empregado na formulação.

g sacarose / 100 g água = SE x 100 / % água da formulação **(Equação 4.3)**

É necessário obter a depressão no ponto de congelamento (DPC_{SE}) correspondente à concentração de sacarose calculada. A Tabela 4.1 apresenta esses dados:

Tabela 4. 1 - Depressão no ponto de congelamento (DPC) para soluções de sacarose a diferentes concentrações

g sacarose / 100 g água	DPC (ºC)	g sacarose / 100 g água	DPC (ºC)	g sacarose / 100 g água	DPC (ºC)
3,00	0,18	63,00	4,10	123,00	9,19
6,00	0,35	66,00	4,33	126,00	9,45
9,00	0,53	69,00	4,54	129,00	9,71
12,00	0,72	72,00	4,77	132,00	9,96
15,00	0,90	75,00	5,00	135,00	10,22
18,00	1,10	78,00	5,26	138,00	10,47
21,00	1,29	81,00	5,53	141,00	10,72
24,00	1,47	84,00	5,77	144,00	10,97
27,00	1,67	87,00	5,99	147,00	11,19
30,00	1,86	90,00	6,23	150,00	11,41
33,00	2,03	93,00	6,50	153,00	11,63
36,00	2,21	96,00	6,80	156,00	11,88
39,00	2,40	99,00	7,04	159,00	12,14
42,00	2,60	102,00	7,32	162,00	12,40
45,00	2,78	105,00	7,56	165,00	12,67
48,00	2,99	108,00	7,80	168,00	12,88
51,00	3,20	111,00	8,04	171,00	13,08
54,00	3,42	114,00	8,33	174,00	13,28

57,00	3,53	117,00	8,62	177,00	13,48
60,00	3,85	120,00	8,92	180,00	13,68

Os sais minerais presentes na composição dos sólidos não gordurosos de Leite (SNGL) e/ou sólidos do soro de leite (SS), também têm efeito sobre a depressão da temperatura de congelamento (DPC_{sais}). Esse efeito foi calculado a partir da Equação 4.4:

$$\mathbf{DPC_{sais} = (SNGL + SS) \times 2{,}37 / \%\ água\ na\ formulação} \qquad \textbf{(Equação 4.4)}$$

Finalmente, para obtenção da depressão total no ponto de congelamento (DPC_{total}), as contribuições relativas aos açúcares e aos sais foram somadas, através da Equação 4.5:

$$\mathbf{DPC_{total} = DPC_{SE} + DPC_{sais}} \qquad \textbf{(Equação 4.5)}$$

Foi plotada uma curva de % de água congelada, de 0 a 80%, pela temperatura.

Análise dos dados

Os resultados obtidos nas análises de *Overrun* e Textura foram avaliados por ANOVA (comparação de Tuckey, $p<0,05$) através de software MINITAB (Minitab, Estados Unidos).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Medida de Overrun

O processo de aeração e congelamento envolve inúmeras mudanças físicas incluindo a ação das proteínas e dos surfactantes na formação e estabilização da espuma, a coalescência parcial da gordura da emulsão e a concentração da solução devido ao congelamento da água líquida (GOFF, 2002).

As formulações elaboradas apresentaram valores de *overrun*, calculados conforme Equação 4.1, entre 33 e 65%, aproximadamente. Os resultados estão apresentados na Figura 4.3:

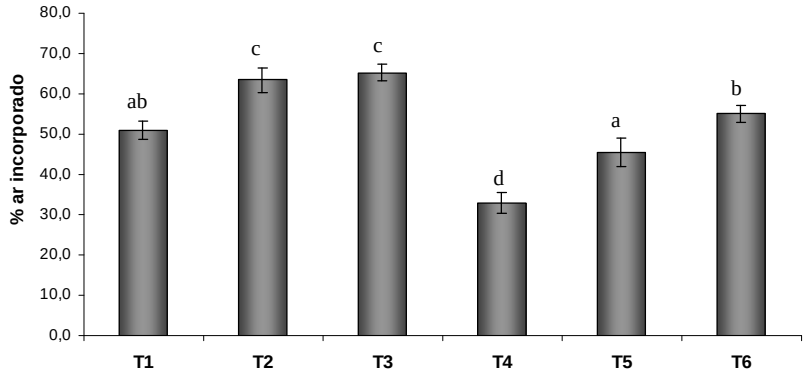


Figura 4. 3 - % de ar incorporado nos sorvetes. T1 – Goma Guar, T2 – LBG, T3 – Gelatina, T4 – Goma Guar + LBG, T5 – LBG + Gelatina e T6 – Gelatina + Goma Guar

*Letras diferentes significam diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$)

A formulação T2, produzida com LBG, e a formulação T3, produzida com Gelatina foram as que apresentaram maior incorporação de ar, em torno de 65%. Já a formulação T5, produzida pela combinação desses dois hidrocolóides apresentou *overrun* inferior. A combinação de Goma Guar com LBG (T4) levou ao menor *overrun* entre as amostras, sendo que as formulações produzidas com cada um desses hidrocolóides separadamente, T1 e T2, apresentaram *overrun* bem superiores.

Esse comportamento pode ser explicado pelo aumento da viscosidade do sistema quando combinamos dois hidrocolóides dificultando a incorporação de ar, podendo ser

observados nos resultados de viscosidade obtidos no Capítulo 3, assim como através dos resultados encontrados por Udabage et al. (2005).

As células de ar da estrutura dos sorvetes são essencialmente esféricas, porém existem algumas distorções devido à formação da rede de gordura e dos cristais de gelo. O material que circunda as células de ar é um fluido não newtoniano contendo partículas de gordura e pequenos cristais de gelo (AIME et al., 2001). Assim, a adição de diferentes hidrocolóides afetará as características do fluido e, portanto, a conformação dos cristais de gelo e da rede de gordura formada e consequentemente as células de ar.

Em linhas industriais o sistema de produção de sorvetes conta com bombas de injeção de quantidades pré-estabelecidas de ar ou nitrogênio gasoso, de modo que se pode expandir facilmente o alimento (SILVA JUNIOR, 2008).

Análise de Textura

Os valores para a força média necessária para extrusão das amostras estão apresentados na Figura 4.4:

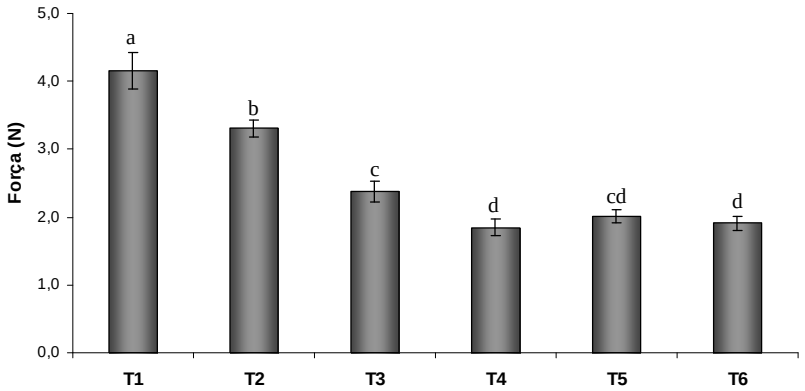


Figura 4. 4 - Força máxima necessária para extrusão dos sorvetes. T1 – Goma Guar, T2 – LBG, T3 – Gelatina, T4 – Goma Guar + LBG, T5 – LBG + Gelatina e T6 – Gelatina + Goma Guar

*Letras diferentes significam diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$)

Os sorvetes produzidos com as misturas dos hidrocolóides apresentaram menor força necessária para a extrusão do que os sorvetes produzidos com os estabilizantes isoladamente.

Os elementos estruturais dos sorvetes contribuem significativamente para a formação da textura do produto. A determinação da textura pode ser realizada pela determinação das propriedades relacionadas aos aspectos coloidais dos sorvetes como a microestrutura, a viscoelasticidade, as características das emulsões e as propriedades térmicas (SOUKOULIS; LYRONI; TZIA, 2010). Assim como no trabalho de Soukoulis et al. (2010), não foi encontrada correlação entre textura analítica e *overrun* dos sorvetes, isto devido aos efeitos secundários, como cristais de gelo, por exemplo. Tanto o tamanho dos cristais de gelo quanto o volume da fase congelada contribuem para aumento da dureza dos sorvetes. Apesar de não existir correlação direta entre *overrun* e força de extrusão para as amostras analisadas, pôde ser percebida uma tendência de maior força necessária para extrusão para sorvetes com maior incorporação de ar.

Os resultados de viscosidade complexa (η*) da mistura após 24 horas de maturação, obtidos no Capítulo 3, pode ser correlacionado com a força de extrusão. Percebemos que quanto maior a viscosidade da mistura (formulações T4, T5 e T6), menor força foi necessária para extrusão do sorvete após batimento. Quando comparamos a viscosidade complexa da mistura após 24horas de maturação com o *overrun* percebemos que as formulações que apresentaram menores viscosidades (T1, T2 e T3) apresentaram maior incorporação de ar (*overrun*). Isso porque, segundo Udabage (2005), as misturas de baixa viscosidade contribuem para facilitar o processo de aeração. A aeração é afetada pela tendência dos glóbulos de gordura de coalescer sob as condições de agitação e congelamento e pela habilidade da mistura em estabilizar as células de ar.

Curva de congelamento

Como todos os sorvetes foram formulados com igual teor de sólidos totais, igual teor de SNGL (sólidos não gordurosos de leite) e mesmo teor e tipo de açúcares, a curva de congelamento para as formulações é a mesma.

Os resultados obtidos através das Equações 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 e da Tabela 4.1 se encontram na Tabela 4.2, onde SE é o equivalente em sacarose da mistura, DPCse é o ponto de congelamento correspondente a concentração de sacarose calculada, DPCsais é o ponto de

congelamento correspondente a concentração de sais e DPC total é o ponto de congelamento devido a combinação de DPCse e DPCsais

Tabela 4. 2 - Dados para obtenção da curva de congelamento das formulações T1, T2, T3, T4, T5 e T6.

		Equação 4.2	***Equação 4.3***	***Tabela 1***	***Equação 4.4***	***Equação 4.5***
		SE	g sacarose / 100 g água	DPC_{se} (ºC)	DPC_{sais} (ºC)	DPC_{total} (ºC)
% água congelada	0	21,93	34,82	2,14	0,32	2,46
	20	21,93	43,53	2,69	0,40	3,09
	40	21,93	58,04	3,59	0,53	4,13
	60	21,93	87,05	5,99	0,80	6,79
	80	21,93	174,11	13,29	1,60	14,89

A Figura 4.5 mostra o abaixamento da temperatura de congelamento (ºC) em função do % de água congelada durante o processamento das formulações.

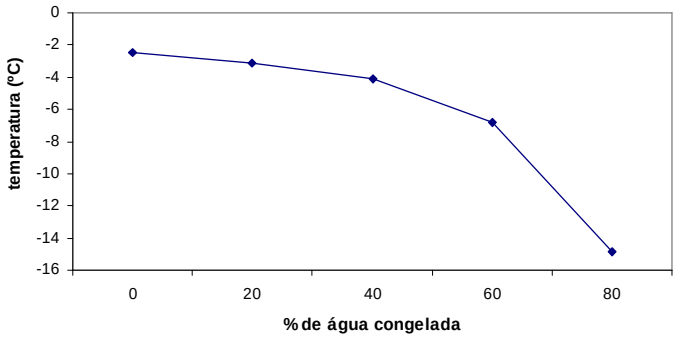


Figura 4. 5 - Curva de congelamento para as formulações

As curvas de congelamento são úteis durante processamento, na medida em que ajudam a prever a quantidade de água congelada em função da temperatura. Os equipamentos podem então ser regulados para temperaturas nas quais níveis adequados de firmeza e fluidez possam ser alcançados.

Como o sorvete está congelado, o percentual de congelamento aumenta ao longo da curva de equilíbrio. Esta curva não está mensurada para baixa temperatura e alto percentual de congelamento. O ponto máximo da curva está calculado nas considerações de equilíbrio.

No final do batimento, quando os sorvetes atingiram -5ºC e foram embalados, observamos que aproximadamente 46% da água se encontravam no estado congelado. O

endurecimento se refere ao congelamento desta água restante, lembrando-se que: o congelamento acontece de fora para dentro, sendo o centro do produto o último a congelar; para um bom padrão de endurecimento, deve-se avaliar o tempo gasto para alcançar a temperatura de -18° C no centro do produto.

O menor ponto de congelamento da mistura resulta em uma menor temperatura do produto na saída da produtora e uma subseqüente cristalização mais rápida, o que acarreta sorvetes com cristais de gelo de menor tamanho e, portanto, de melhor qualidade (TRGO; KOXHOLT; KESSLER, 1999).

No caso de sorvetes o objetivo do congelamento é criar um produto congelado com uma textura suave pela formação de pequenos cristais de gelo, prevenindo o crescimento de maiores. Isto pode ser obtido pelo controle de taxas relativas de nucleação e crescimento. Em temperaturas abaixo do ponto de congelamento, as taxas de nucleação e crescimento são baixas, porém aumentam substancialmente com o abaixamento da temperatura. Um aumento da viscosidade é causado por nucleação e crescimento cristalino, quando a temperatura é muito baixa a transição vítrea é alcançada e nucleação e cristalização cessam.

A curva de congelamento estabelece a quantidade de gelo à dada temperatura, que é função da depressão do ponto de congelamento e dos solutos (concentração de açúcar, etc). Não prevê informações sobre o tamanho do cristal de gelo. O que prevê o tamanho de cristal de gelo é a taxa de congelamento – quanto mais rápida, mais nucleação é promovida e maior o número de cristais de pequeno tamanho resultante. Isto é muito importante em termos da estrutura do sorvete (HARTEL, 1996).

4.4 CONCLUSÃO

Os resultados da incorporação de ar e textura não mostraram correlação direta, assim como verificado por outros autores. Os sorvetes que apresentaram melhor incorporação de ar foram os formulados com LBG e Gelatina, aplicados como estabilizantes isoladamente. Esse comportamento pode ser explicado pelo aumento da viscosidade do sistema quando combinamos dois hidrocolóides, dificultando a incorporação de ar. Já em relação à força necessária para extrusão dos sorvetes, todas as formulações produzidas com a mistura dos estabilizantes apresentaram menor força de extrusão quando comparados com os estabilizantes aplicados sozinhos. Pôde ser percebida também uma tendência de maior força necessária para extrusão para sorvetes com maior incorporação de ar. Tanto o tamanho dos cristais de gelo quanto o volume da fase congelada podem ter contribuído para aumento da dureza dos sorvetes.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS[3]

AIME, D.B.; ARNTFIELD, S.D.; MALCOLMSON, L.J.; RYLAND, D. Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products. **Food Research International**, v.34, p.237-246, 2001.

ARBUCKLE, W.S. **Ice cream**. 3.ed. Westport: Avi Publisher, 1977. 517p.

CLARKE, C. **The science of ice cream**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2004. 187p. (RSC paperbacks).

GOFF, H.D. Formation and stabilisation of structure in ice-cream and related products. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v.7, p.432-437, 2002.

HARTEL, R.W. Ice crystallization during the manufacture of ice cream. **Trends in Food Science & Technology**, v.7, p.315-321, 1996.

MARSHALL, R.T.; GOFF, H.D.; HARTEL, R.W. **Ice cream**. 6.ed. New York: Kluwer Academic, Plenum Press, 2003. p.139-143.

MUSE, M.R.; HARTEL, R.W. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. **Journal of Dairy Science**, v.87, p.1-10, 2004.

SILVA JUNIOR, E. **Formulações especiais para sorvete**. São Paulo, 2008. 133p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Universidade de São Paulo.

SOFJAN, R.P.; HARTEL, R.W. Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. **International Dairy Journal**, v.14, p.255-262, 2004.

[3] As referências bibliográficas estão de acordo com a norma NBR6023/2002 preconizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

SOUKOULIS, C.; LYRONI, E.; TZIA, C. Contribution of thermal, rheological and physical measurements to the determination of sensorially perceived quality of ice cream containing bulk sweeteners. **Journal of Food Engineering**, v.10, p.634-641, 2010.

TRGO, C.; KOXHOLT, M.; KESSLER, G. Effect of freezing point and texture regulation parameters on the initial ice crystal growth in ice cream. **Journal of Dairy Science**, v.82, n.3, p.460-465, 1999.

UDABAGE, P.; AUGUSTIN, M.; CHENG, L.; WILLIAMS, R. Physical behaviour of dairy ingredients during ice cream processing. **Lait**, v.85, p.383-394, 2005.

Capítulo 5

Características reológicas de sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes

RESUMO

O efeito dos hidrocolóides Gomas Guar, Goma Locusta (LBG) e Gelatina, bem como de suas misturas, nas características reológicas de sorvetes foi avaliado. Foi realizada uma varredura de freqüência, em baixa temperatura, para avaliação do comportamento dos módulos elástico (G') e viscoso (G"), assim como a relação entre eles (tan δ), em função da freqüência. Os sorvetes produzidos com Gelatina e com a mistura LBG + Gelatina apresentaram maiores valores de G' o que é um indicativo da presença de cristais de gelo maiores e também maior rigidez. A reologia termo-oscilatória foi utilizada para correlacionar propriedades reológicas com características de qualidade dos sorvetes. Uma varredura de temperatura, de -10 a 5ºC, foi conduzida para avaliação das modificações nas estruturas dos produtos e sua possível relação com as propriedades sensoriais. Entre -10ºC e -1ºC é observado, para todas as formulações, um grande declínio nos módulos elástico e viscoso devido a perda das interações cooperativas entre os cristais de gelo, associada com o seu derretimento. Após derretimento, as formulações não variaram muito em relação ao parâmetro G'', que se relaciona com a cremosidade dos sorvetes durante consumo, porém observamos que o sorvete produzido com Goma Guar apresentou ligeira vantagem em relação a este atributo e os sorvetes produzidos com Gelatina e com a mistura de Goma Guar com LBG apresentaram valores mais baixos para este parâmetro.

ABSTRACT

The effect of the hydrocolloids Guar Gum, Locust Bean Gum (LBG) and Gelatin, as well their mixtures, on the rheological characteristics of ice creams was evaluated. A frequency sweep test was performed to evaluate, at low-temperature, the behavior of the elastic (G') and viscous modulus (G") as the ratio between them (tan δ) in function of frequency. Ice creams produced with Gelatin and with Gelatin + LBG presented higher values of G', which is an indicative of the presence of larger ice crystals and higher rigidity. The thermo-oscillatory rheometry was used to correlate the rheological properties with the quality

of ice creams. A temperature sweep test, from -10 to 5ºC was performed to evaluate changes in the structures of the products and their possible relationship to the sensory properties. From -10°C to -1ºC it was observed, for all formulations, a large decline in elastic and viscous modulus due to the loss of cooperative interactions between ice crystals, associated with its melting. After melting, the formulations did not present big differences with respect to the parameter G", which is related to the creaminess of ice cream during consumption, but it was observed that ice creams produced with Guar Gum showed a slight advantage in relation to this attribute and ice cream produced with Gelatin and Guar Gum + LBG showed lower values for this parameter.

5.1 INTRODUÇÃO

A estrutura aerada dos sorvetes é estabilizada através da ação combinada da rede de gordura, dos cristais de gelo, dos estabilizantes e emulsificantes adicionados e da matriz viscosa onde estão imersos. Obviamente, para obtenção de um produto de qualidade deve-se focar a atenção em alguns fatores como o número e o tamanho das bolhas de ar, o número e o tamanho dos cristais de gelo e dos glóbulos de gordura, além das propriedades reológicas da fase aquosa (STANLEY; GOFF; SMITH, 1996).

A estrutura dos sorvetes determina alguns importantes parâmetros sensoriais do produto como rigidez, resistência ao derretimento e textura. A construção da estrutura dos sorvetes se inicia a partir do processo de produção que inclui aquecimento, homogeneização, pasteurização, maturação, batimento e congelamento, além dos componentes utilizados na formulação. A interação entre os diferentes componentes torna ainda mais difícil predizer a rede estrutural dos sorvetes tomando como base apenas os ingredientes isoladamente (GRANGER et al., 2005).

A reologia clássica se inicia com a consideração de dois materiais ideais: o sólido elástico e o líquido viscoso. O sólido elástico é definido como o material com forma definida que quando deformado até certo limite por uma força externa, retorna ao estado original quando a força é removida. O líquido viscoso, ao contrário, não possui forma definida e deformará irreversivelmente quando aplicada uma força. Os alimentos possuem características reológicas entre esses dois modelos e são classificados como viscoelásticos (STANLEY; GOFF; SMITH, 1996).

A determinação da viscosidade de produtos congelados não é uma tarefa fácil, porém novas técnicas e metodologias têm sido utilizadas (STANLEY; GOFF; SMITH, 1996). O desenvolvimento de equipamentos capazes de aplicar tensões baixas e dinâmicas tornou possível a obtenção de um maior conhecimento sobre o comportamento viscoelástico dos alimentos. A pequena deformação dos testes oscilatórios é uma boa ferramenta para estudar a microestrutura de sorvetes, por causa da sensibilidade ao tratamento térmico e mecânico do

método (WINDHAB, 1993), além de manter a instável microestrutura da amostra durante as medições (WILDMOSER; SCHEIWILLER; WINHAB, 2004).

Quando nos referimos às análises em sistemas oscilatórios uma das técnicas mais importantes é a análise em sistemas viscoelásticos lineares, onde uma tensão oscilatória é aplicada à amostra, a resistência à deformação é medida e mostra-se independente da tensão. Geralmente, assumem-se como ideais deformações abaixo de 10% (FARIA-TISCHER, 2006).

O módulo de armazenamento, G', também denominado módulo de cisalhamento elástico, é a razão entre a tensão aplicada e a deformação provocada em fase; indica que a energia de tensão é armazenada temporariamente durante o teste e pode ser recuperada mais tarde (MORRIS, 1995; SCHRAMM, 2006).

O módulo de perda, G", também denominado módulo de cisalhamento viscoso, é a razão entre a tensão aplicada e a deformação provocada fora de fase; faz alusão ao fato de que a energia usada para iniciar o fluxo é irreversivelmente dissipada ou perdida, sendo transformada em calor de cisalhamento (MORRIS, 1995; SCHRAMM, 2006).

A interação entre as partículas da amostra em teste determina se o sistema é elástico ou viscoso. Medidas dos módulos G'e G'' em função da freqüência oscilatória sob uma tensão constante na faixa viscoelástica linear, fornecem um entendimento destas interações (FARIA-TISCHER, 2006).

As propriedades reológicas dos hidrocolóides são, particularmente, importantes quando aplicadas em formulações alimentícias pelo seu efeito na textura e nos atributos sensoriais dos produtos. O comportamento reológico de alimentos fluidos ou semi-sólidos deve ser observado cuidadosamente e levado em consideração para o correto delineamento e modelagem dos diferentes processos na Indústria de Alimentos. Além de que, essas características são medidas e avaliadas como indicador da qualidade dos produtos (BAHRAMPARVAR et al, 2010).

Segundo Ikhu-Omoregbe (2009), a caracterização das propriedades reológicas termo-dependentes dos sorvetes é importante para estabelecer a relação entre a estrutura e o escoamento e correlacionar os parâmetros físicos com a avaliação sensorial. A reologia termo-oscilatória pode ser efetivamente utilizada como ferramenta para avaliação sensorial da

qualidade dos sorvetes. Em termo-reometria oscilatória as análises mecânicas e térmicas estão acopladas e assim é possível correlacionar a microestrutura com os atributos sensoriais do produto.

O comportamento de derretimento dos sorvetes é indicativo do desenvolvimento das interações entre os diversos ingredientes da fórmula e da existência de diversas estruturas, isto é, os glóbulos de gordura coalescidos, a fase aerada estabilizada e a matriz protéica. Esses diferentes fatores contribuem para formação da estrutura global dos sorvetes, não somente durante o congelamento e batimento, mas também durante variações da temperatura de estocagem (MUSE; HARTEL, 2004).

O objetivo deste capítulo foi avaliar as características reológicas dos sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes através de dois testes oscilatórios: Varredura de freqüência e Varredura de temperatura.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os sorvetes após, saída da produtora, com temperatura aproximada de -5ºC, preparados conforme descrito nos Capítulos 3 e 4, foram armazenados em freezer doméstico com temperatura de -20ºC para término do congelamento. As análises não foram realizadas com menos de 5 dias de armazenagem, para garantir a formação dos cristais de gelo.

As medidas reológicas dos sorvetes foram determinadas através de testes oscilatórios, em Reômetro MARS Haake, com programa RheoWin3 para análise de dados *(Thermo Electron Corporation*, Alemanha), com sensor cone - placa (C35/2 Ti), no mínimo em triplicata. A temperatura das amostras, durante a análise, foi controlada por uma placa Peltier.

Inicialmente, realizou-se uma varredura de tensão, a -8ºC, de 0,1 a 1000 Pa, na freqüência de 0,5 Hz para verificação da faixa de viscoelasticidade linear e seleção da tensão ou deformação que seria empregada nas análises seguintes, varredura de freqüência e de temperatura, de modo a preservar a estrutura da amostra.

Estabelecido o valor de tensão fixo dentro do intervalo linear, uma varredura de freqüência foi conduzida, na temperatura de -8ºC, de 0,1 a 10 Hz. O comportamento dos módulos elástico (G') e viscoso (G''), assim como a relação entre eles (tan δ) foi avaliado em função da freqüência.

A varredura de temperatura também foi conduzida dentro da faixa de viscoelasticidade linear, em uma freqüência de 1,592 Hz (freqüência angular $\omega = 10\ s^{-1}$), onde a temperatura foi elevada desde -10ºC até 5ºC (taxa de 0,25ºC/min) e os espectros mecânicos foram obtidos.

Análise estatística

Os resultados obtidos nas análises reológicas foram avaliados por ANOVA (comparação de Tuckey, $p<0,05$) através de software MINITAB (Minitab, Estados Unidos), quando pertinente.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Varredura de tensão

Em ensaios de varredura de tensão, os módulos são medidos como uma função do aumento da tensão (ou deformação), em freqüência constante, com o objetivo de determinar o limite máximo dentro do qual as propriedades viscoelásticas de um material permanecem independentes da força aplicada. A região viscoelástica é conhecida por ser a região onde a estrutura do gel é preservada, ou seja, os módulos de armazenamento (G') e de perda (G'') são independentes da freqüência (SCHRAMM, 2006; SATO, 2007; HAMINIUK, 2009).

Qualquer teste dinâmico para amostras desconhecidas deve começar com uma varredura de tensão, onde poderá ser determinada a amplitude que mantém a região de viscoelasticidade linear para a amostra, e assim podem-se proceder outros testes reológicos para verificar o comportamento da amostra (SCHRAMM, 2006).

Na Figura 5.1 encontram-se as varreduras de tensão para as seis formulações produzidas:

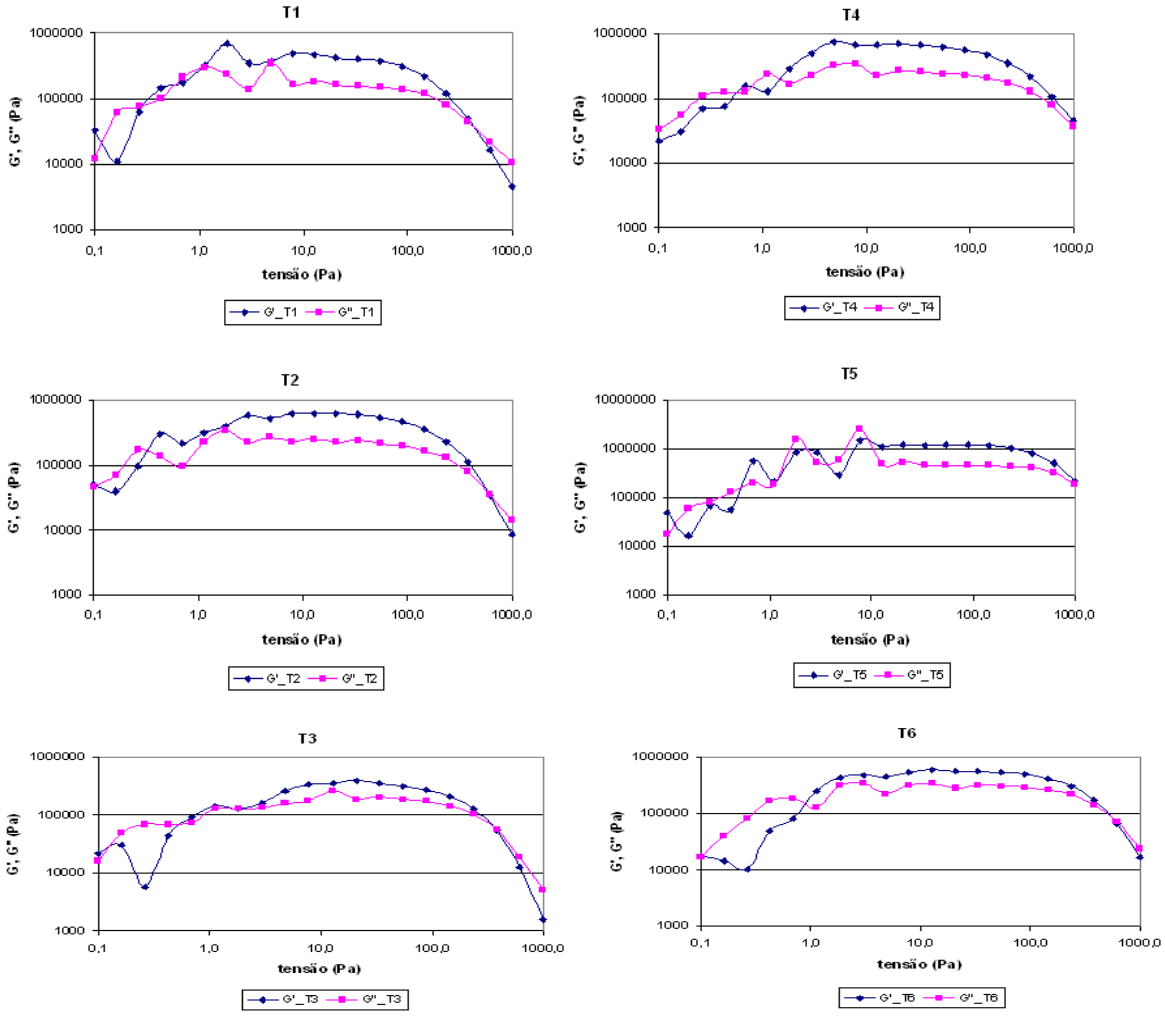


Figura 5. 1 - Varredura de tensão para os sorvetes produzidos com Goma Guar (T1), LBG (T2), Gelatina (T3), Goma Guar + LBG (T4), LBG + Gelatina (T5) e Goma Guar + Gelatina (T6)

Observando os gráficos apresentados na Figura 5.1 identificamos que as amostras se encontram na região de viscoelasticidade linear entre 10 e 100 Pa, assim a tensão de 30 Pa foi a escolhida para as análises subseqüentes.

Varredura de frequência

Os módulos de armazenamento (G') e de perda (G") foram obtidos através de varredura de freqüência, de 0,1 a 10 Hz, a -8ºC, com valor de tensão dentro do intervalo linear (30 Pa).

Em baixas temperaturas, o comportamento reológico dos sorvetes é influenciado principalmente pela fração de gelo e pela microestrutura. O módulo de armazenamento, G', se correlaciona bem com a dureza/rigidez do sorvete, já que representa o comportamento sólido da amostra em teste. Em termos de características sensoriais, o valor de G' em baixas temperaturas, pode ser correlacionado com a facilidade de boleamento do sorvete, característica importante quando se trata do manuseamento do produto no ponto de venda (IKHU-OMOREGBE, 2009; ADAPA et al., 2000; WILDMOSER, 2004).

Na Figura 5.2 podemos observar o módulo de armazenamento dos sorvetes produzidos com Goma Guar (T1) e com a mistura desta goma com LBG (T4) e Gelatina (T6).

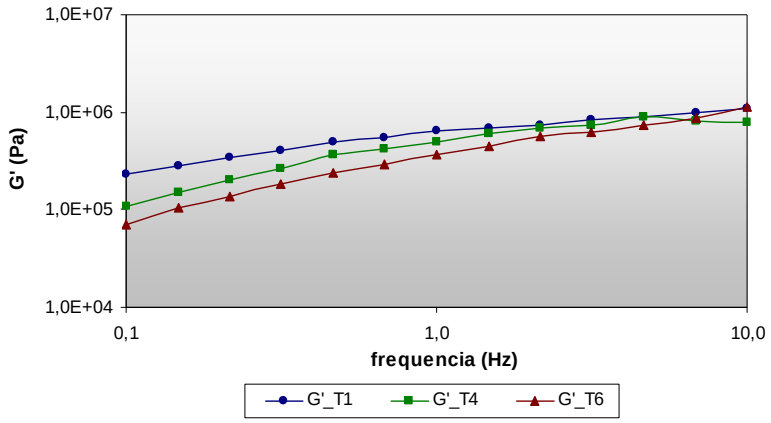


Figura 5. 2 - Módulo de armazenamento (G') em função da frequência para as amostras produzidas com Goma Guar (T1), Goma Guar + LBG (T4) e Goma Guar + Gelatina (T6).

Em baixas freqüências de oscilação o sorvete produzido apenas com a Goma Guar (T1) apresenta maior rigidez do que os sorvetes produzidos com Goma Guar + LBG (T4) e Goma Guar + Gelatina (T6). Com o aumento da freqüência a diferença entre os produtos se torna mínima.

O módulo de perda (G") em sorvetes se relaciona com o comportamento viscoso e com a fluidez dos produtos. Na Figura 5.3 estão apresentados os comportamentos viscosos dos sorvetes produzidos com Goma Guar (T1), Goma Guar + LBG (T4) e Goma Guar + Gelatina (T6).

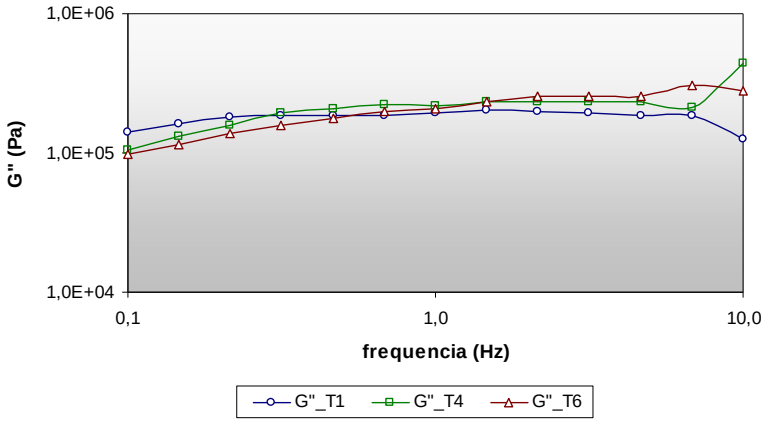


Figura 5. 3 - Módulo de perda (G”) em função da frequência para as amostras produzidas com Goma Guar (T1), Goma Guar + LBG (T4) e Goma Guar + Gelatina (T6)

Os sorvetes produzidos com os diferentes estabilizantes pouco diferiram em relação ao módulo G’’. O módulo de perda (ou viscoso) se mostrou praticamente independente da freqüência, o que caracteriza o comportamento de géis.

A Figura 5.4 apresenta os espectros das misturas produzidas com LBG (T2), Gelatina (T3) e com a mistura desses estabilizantes (T5):

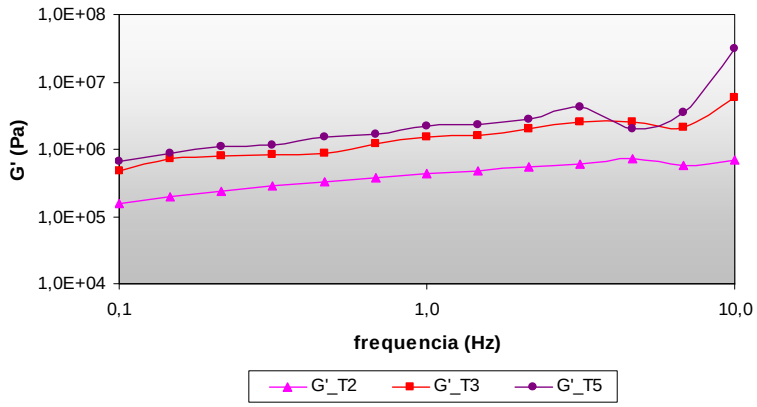


Figura 5. 4 - Módulo de armazenamento (G’) em função da frequência para as amostras com LBG (T2), Gelatina (T4) e LBG + Gelatina (T5)

O sorvete produzido com LBG (T2) apresentou a menor rigidez entre as amostras, portanto pode ser considerado o mais fácil para bolear. O sorvete produzido com LBG + Gelatina (T5) se assemelha ao sorvete produzido apenas com Gelatina (T3).

Na Figura 5.5 estão representados os comportamentos viscosos dos sorvetes produzidos com LBG (T2), Gelatina (T3) e LBG + Gelatina (T5).

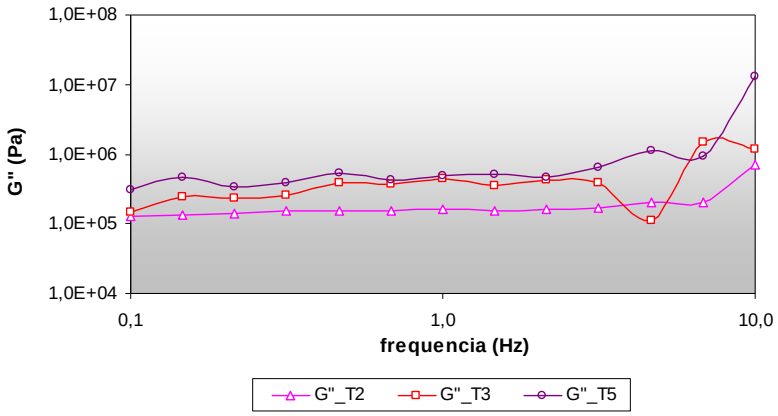


Figura 5. 5 - Módulo de perda (G”) em função da frequência para as amostras produzidas com LBG (T2), Gelatina (T4) e LBG + Gelatina (T5)

O módulo de perda (ou viscoso) se mostrou praticamente independente da freqüência. A formulação T2 apresentou G’’ inferior ao das outras duas fórmulas, indicando que a utilização da Goma Locusta como estabilizante produz sorvetes com maior facilidade de escoamento, sendo este fator interessante para o bombeamento da massa após sua produção.

A Tabela 5.1 compara estatisticamente ($p \leq 0,05$) os valores de G’, G’’ e tan δ das seis formulações avaliadas. O fator de perda, tan δ (G’’/G’), descreve a razão entre a energia perdida e a energia armazenada por ciclo, durante o teste oscilatório. O valor de tan δ será mais alto quando a estrutura for mais viscosa e mais baixo quando a estrutura for mais sólida (ou elástica). A medida em f = 1 Hz foi escolhida para garantir que possíveis distorções ocorrentes no início e final da varredura não afetem as comparações.

Tabela 5. 1 - Efeito dos estabilizantes nas características reológicas de sorvetes em f = 1 Hz

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
G'(kPa)	646,9 ± 382,25^{b}	436,0 ± 161,69^{b}	1531,5 ± 700,04^{a}	494,7 ± 99,60^{b}	2240,3 ± 297,77^{a}	368,8 ± 126,20^{b}
G"(kPa)	193,6 ± 39,02^{b}	160,0 ± 54,51^{b}	439,1 ± 28,36^{ab}	215,8 ± 80,92^{b}	482,6 ± 168,43^{a}	209,1 ± 91,43^{b}
tanδ	0,34 ± 0,111^{ab}	0,37 ± 0,065^{ab}	0,29 ± 0,005^{ab}	0,44 ± 0,116^{ab}	0,21 ± 0,057^{b}	0,55 ± 0,109^{a}

^{a,b}Letras iguais na mesma linha significa que as amostras não diferem significantemente ($p \leq 0,05$). Formulações T1 = Goma Guar; T2 = LBG; T3 = Gelatina; T4 = Goma Guar + LBG; T5 = LBG + Gelatina; T6 = Goma Guar + Gelatina

Wildmoser, Scheiwiller e Windhab (2004) correlacionaram o tamanho dos cristais de gelo, medidos por microscopia, com o módulo G’ e verificou que formulações com menores

cristais de gelo apresentam valores de G' inferiores. Assim, podemos dizer que os sorvetes produzidos com os estabilizantes Gelatina (T3) e com LBG + Gelatina (T5) apresentam cristais de gelo maiores e são também os sorvetes mais rígidos entre as formulações. Observando os valores de tan δ, podemos concluir que a formulação produzida com Goma Guar + Gelatina (T6) apresenta a estrutura mais viscosa e as formulações produzidas com Gelatina (T3) e com LBG + Gelatina (T5) as mais sólidas.

Varredura de temperatura

Quando os sorvetes estão completamente congelados, é esperado um módulo de armazenamento (G') máximo devido à fração máxima de sólidos. O módulo de perda (G'') tende a aumentar com a redução da temperatura devido ao aumento da fração de gelo e da viscosidade, assim, a capacidade de escoamento dos sorvetes será reduzida (GRANGER et al., 2004).

O comportamento reológico dos sorvetes produzidos com Goma Guar (T1), Goma Guar + LBG (T4) e Goma Guar + Gelatina (T6) em função da temperatura pode ser observado na Figura 5.6.

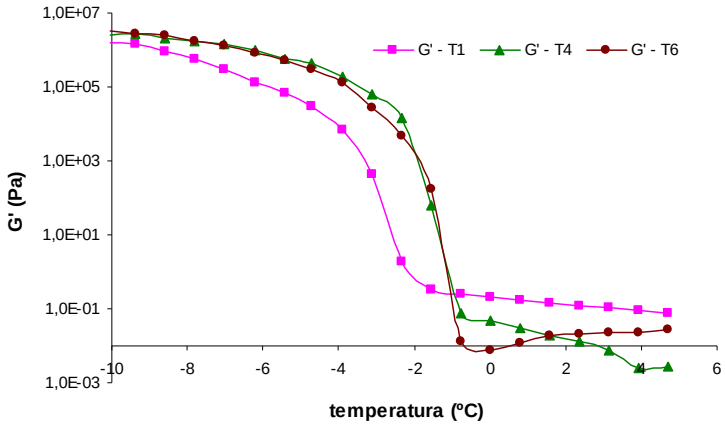


Figura 5. 6 - Módulo de armazenamento (G') de sorvetes produzidos com Goma Guar (T1), Goma Guar + Gelatina (T4) e Goma Guar + LBG (T6) em função da temperatura

Um alto valor de G' a -10ºC caracteriza um produto rígido e bem estruturado. Entre -10ºC e 0ºC é observado, para todas as formulações, um grande declínio no módulo de

armazenamento. Nessa faixa de temperatura, variações em G' estão correlacionadas com: a perda das interações cooperativas entre os cristais de gelo, associadas com o seu derretimento, acarretando em um produto de menor rigidez; diluição da fase não congelada e modificação no rearranjo da microestrutura (GRANGER et al., 2004, 2005). Sensorialmente, uma curva de maior inclinação indica que o sorvete fornecerá uma maior sensação de gelado durante consumo (WILDMOSER; SCHEIWILLER; WINDHAB, 2004).

Em torno de 0ºC, G' atinge um platô. Todo o gelo está derretido, portanto somente o ar, a gordura, as proteínas e os estabilizantes impactarão nas características reológicas e de qualidade do sorvete. A gordura vegetal *low trans* utilizada nas formulações possui cristais na forma β', que possuem tamanhos pequenos e contribuem para a textura mais suave dos sorvetes. Quando comparamos o comportamento reológico das formulações em testes nas temperaturas acima de 0ºC, a magnitude do módulo G' da formulação T1 (Goma Guar) em comparação aos sorvetes T4 (Goma Guar + LBG) e T6 (Goma Guar + Gelatina), caracteriza claramente um produto mais estruturado. Wildmoser et al. (2004) também correlacionaram maiores valores de G' a sorvetes com menor tamanho das células de ar e com maior grau de agregação dos glóbulos de gordura. A análise de *overrun* após batimento e congelamento das misturas (Capítulo 4), mostrou que a formulação T1 apresentou maior incorporação de ar que as formulações T4 e T6.

Acima de 0ºC, o módulo de perda, que descreve o comportamento viscoso e o escoamento dos sorvetes, pode ser correlacionado com a sensação de cremosidade dos produtos (WILDMOSER; SCHEIWILLER; WINDHAB, 2004). Na Figura 5.7 estão apresentadas as curvas G'' das formulações T1, T4 e T6 em função da temperatura.

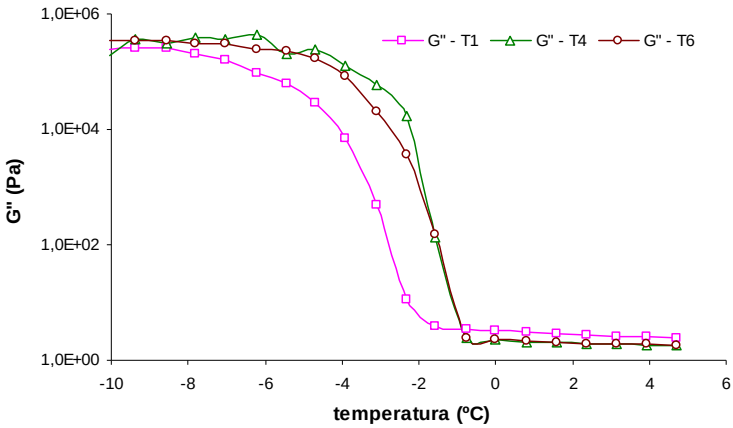


Figura 5. 7 - Módulo de perda (G”) de sorvetes produzidos com Goma Guar (T1), Goma Guar + Gelatina (T4) e Goma Guar + LBG (T6) em função da temperatura

Observando a Figura 5.7 podemos concluir que o sorvete produzido apenas com Goma Guar (T1) como estabilizante apresentou cremosidade ligeiramente superior às outras duas formulações. A formulação T1 foi a fórmula que a presentou maior força necessária para extrusão logo após batimento e congelamento (Capítulo 4).

As Figuras 5.8 e 5.9 apresentam as curvas dos módulos G’ e G’’ em função da temperatura para os sorvetes formulados com os estabilizantes LBG (T2), Gelatina (T3) e LBG + Gelatina (T5).

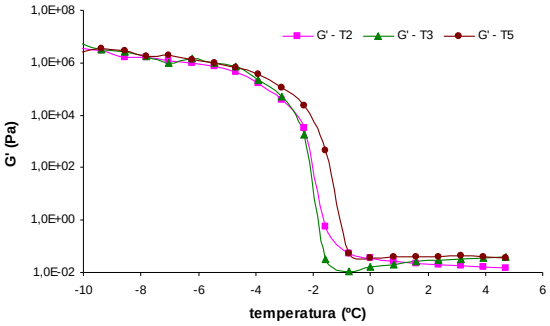


Figura 5. 9 - Módulo de armazenamento (G') de sorvetes produzidos com LBG (T2), Gelatina (T3) e LBG + Gelatina (T5) em função da temperatura

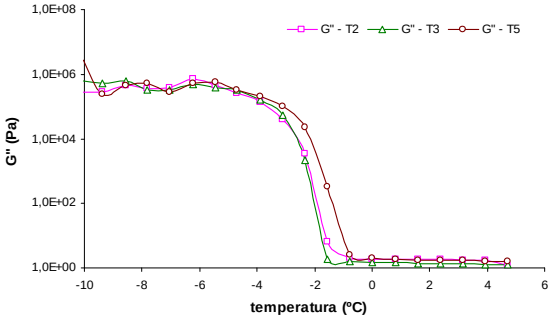


Figura 5. 8 - Módulo de perda (G") de sorvetes produzidos com LBG (T2), Gelatina (T3) e LBG + Gelatina (T5) em função da temperatura

Em temperaturas muito negativas, os parâmetros reológicos estão influenciados principalmente pelos cristais de gelo presentes, assim pouca variação nos parâmetros G' e G'' das formulações foram observadas até -4°C. Os sorvetes produzidos com estes estabilizantes apresentaram comportamento reológico muito similar.

Como mencionado anteriormente, o valor de G'' em temperaturas acima da temperatura de derretimento se correlaciona com a sensação de cremosidade do produto. A Tabela 5.2 apresenta os valores de G'', a 4ºC, para comparação da cremosidade das seis formulas testadas.

Tabela 5. 2 - Valores de G'' a 4ºC para as formulações

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
G'' a 4ºC (Pa)	2,52 ± 0,295^{a}	1,78 ± 0,068^{ab}	1,29 ± 0,055^{b}	1,85 ± 0,029^{ab}	1,64 ± 0,174^{ab}	1,30 ± 0,963^{b}

^{a,b}Letras iguais na mesma linha significa que as amostras não diferem significantemente ($p \leq 0,05$). Formulações T1 = Goma Guar; T2 = LBG; T3 = Gelatina; T4 = Goma Guar + LBG; T5 = LBG + Gelatina; T6 = Goma Guar + Gelatina

As formulações não variaram muito em relação a este atributo, porém podemos observar que o sorvete produzido com Goma Guar (T1) apresenta valor de G" ligeiramente superior às demais formulações, tendendo a ser o sorvete mais cremoso. Os sorvetes produzidos com Gelatina (T3) e com a mistura de Goma Guar + LBG (T6) apresentaram valores mais baixo para este parâmetro.

5.4 CONCLUSÃO

Através da varredura de freqüência realizada a -8ºC verificou-se que os sorvetes produzidos com Gelatina e com a mistura LBG + Gelatina apresentaram maiores valores de G’ o que é um indicativo da presença de cristais de gelo maiores e também maior rigidez.

Através da reologia termo-oscilatória, na faixa de temperatura de -10 a 5ºC, foi possível avaliar as modificações nas estruturas dos produtos e sua relação com as propriedades sensoriais. Entre -10ºC e -1ºC foi observado, para todas as formulações, um grande declínio nos módulos elástico e viscoso devido à perda das interações cooperativas entre os cristais de gelo, associada com o seu derretimento. Após derretimento, as formulações não variaram muito em relação ao parâmetro G’’, que pode ser relacionado com a cremosidade dos sorvetes durante consumo, porém observamos que o sorvete produzido com Goma Guar apresentou ligeira vantagem em relação ao atributo cremosidade e os sorvetes produzidos com Gelatina e com a mistura de Goma Guar + LBG apresentaram valores mais baixos para este parâmetro.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS[4]

ADAPA, S.; DINGELDEIN, H.; SCHIMIDT, K.A.; HERALD, T.J. Rheological properties of ice cream mixes and frozen ice creams containing fat and fat replacers. **Journal of Dairy Science**, v.83, p.2224-2229, 2000.

BAHRAMPARVAR, M.; RAZAVI, S.M.A.; KHODAPARAST, M.H.H. Rheological characterization and sensory evaluation of a typical soft ice cream made with selected food hydrocolloids. **Food Science and Technology International**, v.16, p.79-88, 2010.

FARIA-TISCHER, P.C.S. **Estrutura química, propriedades reológicas e atividade antiviral das galactanas sulfatadas das algas vermelhas *Meristiella gelidium* e *Gymnogongrus griffithsiae* (Gigartinales)**. Curitiba, 2006. 197p. Tese de Doutorado - Ciências Biológicas - Universidade Federal do Paraná.

GRANGER, C.; LANGERDORFF, V.; RENOUF, N.; BAREY, P.; CANSELL, M. Short communication: impact of formulation on ice cream microstructures: an oscillation thermo-rheometry study. **Journal of Dairy Science,** v.87, p.810-812, 2004.

GRANGER, C.; LEGER, A.; BAREY, P.; LANGENDORFF, V.; CANSELL, M. Influence of formulation on the structural networks in ice cream. **International Dairy Journal**, v.15, p.255-262, 2005.

HAMINIUK, C.W.I.; SIERAKOWSKI, M.R.; IZIDORO, D.R.; MACIEL, G.M.; SCHEER, A.P.; MASSON, M.L. Rheological behavior of pectic systems of red fruit pulps. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, p.225-231, 2009.

IKHU-OMOREGBE, D. Comparison of sensory qualities of ice cream from rheological characterization. In: WORLD CONGRESS OF CHEMICAL ENGINEERING (WCCE8), 8, Montréal, 2009. Montréal, 2009.

[4] As referências bibliográficas estão de acordo com a norma NBR6023/2002 preconizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

MORRIS, E.R. Polysaccharide rheology and in-mouth perception. In: STEPHEN, A.M. **Food polysaccharides and their applications**. New York: Marcel Dekker, 1995. p.517-546. (Food science and technology, 67).

MUSE, M.R.; HARTEL, R.W. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness **Journal of Dairy Science**, v.87, p.1-10, 2004.

SATO, A.K.; CUNHA, R.L. Influence of temperature on the rheological behavior of jaboticaba pulp. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, p.890-896, 2007.

SCHRAMM, G. **Reologia e reometria**: fundamentos teóricos e práticos. São Paulo: Artliber, 2006. 233p.

STANLEY, D.W.; GOFF, H.D.; SMITH, A.K. Texture-structure relationships in foamed dairy emulsions. **Food Research International**, v.29, p.1-13, 1996.

WILDMOSER, H.; SCHEIWILLER, J.; WINDHAB, E.J. Impact of disperse microestructure on rheology and quality aspects of ice cream. **Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie**, v.37, p.881-891, 2004.

WINHAB, E. J. Feinkost und speiseeis. In: WEIPERT, D.; TESCHEUSCHNER, H.-D.; WINHAB, E.J., eds. **Rheologie der Lebensmittel**. Hamburg: Behr´s Verlag, 1993.

Capítulo 6

Conclusões

6.1 CONCLUSÕES

- As análises reológicas conduzidas durante a maturação das misturas para sorvetes mostraram que as formulações produzidas com a combinação de Gelatina + Goma Guar e Gelatina + LBG apresentaram forte relação entre o tempo de maturação e propriedade reológica (valores de G', G'' e η* aumentando gradativamente com o passar das horas). Essa relação não foi clara para as formulações contendo cada um dos estabilizantes isoladamente, e nem na formulação contendo a mistura LBG + Goma Guar. Isso mostra a existência de uma interação forte entre gelatina e galactomananas e que a maturação dessa mistura é essencial para a formação de rede contínua e estável, já que para as misturas de Gelatina com outro hidrocolóide há inversão de comportamento em altas freqüências (G" passa a ser maior que G') em curtos tempos de maturação.
- Os sorvetes que apresentaram melhor incorporação de ar foram os formulados com LBG e Gelatina, aplicados como estabilizantes isoladamente. Este comportamento pode ser explicado pelo aumento da viscosidade do sistema quando combinamos dois hidrocolóides, dificultando a incorporação de ar.
- Em relação à força necessária para extrusão dos sorvetes, todas as formulações produzidas com a mistura dos estabilizantes apresentaram menor força de extrusão quando comparados com os estabilizantes aplicados sozinhos.
- Apesar de que os resultados da incorporação de ar e textura não mostraram correlação direta pôde ser percebida também uma tendência de maior força necessária para extrusão para sorvetes com maior incorporação de ar. Tanto o tamanho dos cristais de gelo quanto o volume da fase congelada podem ter contribuído para aumento da dureza dos sorvetes.
- A varredura de freqüência realizada a -8ºC, para análise dos sorvetes após congelamento total, mostrou que os sorvetes produzidos com Gelatina e com a mistura LBG + Gelatina apresentaram maiores valores de G' o que é um indicativo da presença de cristais de gelo maiores e também maior rigidez.

- Entre -10ºC e -1ºC foi observado, para todas as formulações, um grande declínio nos módulos elástico e viscoso devido à perda das interações cooperativas entre os cristais de gelo, associada com o seu derretimento.
- Após derretimento (temperatura acima de -1ºC), as formulações não variaram muito em relação ao parâmetro G'', que se relaciona com a cremosidade dos sorvetes durante consumo, porém observamos que o sorvete produzido com Goma Guar, apresentou ligeira vantagem em relação à cremosidade enquanto os sorvetes produzidos com Gelatina e com a mistura de Goma Guar + LBG apresentaram valores mais baixos.

A tabela 6.1 abaixo apresenta um resumo desses resultados.

Tabela 6. 1 - Conclusão dos resultados

		Goma Guar (T1)	Goma locusta (LBG) (T2)	Gelatina (T3)	Goma Guar + LBG (T4)	LBG + Gelatina (T5)	Gelatina + Goma Guar (T6)
MISTURAS	*Estabilidade durante a maturação (24h)*	sim	sim	sim	sim	após 4h	após 2h
	Viscosidade em t0 (4°C / 0,1Hz) - Pa.s	9,77	8,56	7,30	10,81	2,51	3,23
	Viscosidade após 24h (4°C / 0,1Hz) - Pa.s	18,06	12,89	10,50	30,29	42,29	50,60
PROCESSO	*OverRun*		maior	maior	menor		
	Força para extrusão	maior			menor	menor	menor
SORVETES	*Firmeza - **Varredura de Frequência** (G' a -8°C / 1Hz)*					maior	menor
	*Fluidez - **Varredura de Frequência** (G" a -8°C/ 1Hz)*		maior			menor	
	*Estrutura - **Varredura de Temperatura** (G', tpt>0°C)*	mais			menos		
	*Cremosidade - **Varredura de Temperatura** (G", tpt>°C)*	mais		menos			