



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**ALBA VALÉRIA DE OLIVEIRA BARBOSA**

**INVESTIGAÇÃO DO MECANISMO DA DEFORMAÇÃO INTERNA (FORMAÇÃO  
DE BURACOS) DE BOLOS *DIET* TIPO ESPONJA**

**FORTALEZA**

**2014**

**ALBA VALÉRIA DE OLIVEIRA BARBOSA**

**INVESTIGAÇÃO DO MECANISMO DA DEFORMAÇÃO INTERNA (FORMAÇÃO  
DE BURACOS) DE BOLOS DIET TIPO ESPONJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, para fins de obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

**Orientador: Prof. Dr. Claudio Ernani Mendes da Silva**

**FORTALEZA**

**2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- B195i      Barbosa, Alba Valéria de Oliveira.  
            Investigação da deformação interna (formação de buracos) de bolos *diet* tipo esponja / Alba Valéria de Oliveira Barbosa. – 2014.  
            87 f. : il., color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2014.  
            Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos.  
            Orientação: Prof. Dr. Claudio Ernani Mendes da Silva.
1. Bolos. 2. Alimentos – Teor calórico. 3. Alimentos – Aditivos. I. Título.

**ALBA VALÉRIA DE OLIVEIRA BARBOSA**

**Investigação do mecanismo da deformação interna (formação de buracos) de bolos diet tipo esponja**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

Alba Valéria de Oliveira Barbosa

Alba Valéria de Oliveira Barbosa

Defesa aprovada em: 24/07/2014

Banca Examinadora:

Claudio Emani Mendes da Silva

Prof<sup>o</sup>. Dr. Claudio Emani Mendes da Silva

Departamento de Engenharia de Alimentos/ UFC

Patricia Beltão Lessa Constant

Prof<sup>a</sup>. Dra. Patricia Beltão Lessa Constant

Departamento de Tecnologia de Alimentos/ UFS

Andréia Cardoso de Aquino

Prof<sup>a</sup>. Dra. Andréia Cardoso de Aquino

Departamento de Engenharia de Alimentos/ UFC

## Agradecimentos

A Deus e a Nossa Senhora das Graças, por iluminar e proteger meus caminhos durante toda a minha vida.

Aos meus pais Francisco e Normélia e aos meus irmãos Graça e Tiago pelo amor e apoio incondicional nos momentos mais difíceis e por compreenderem a minha ausência.

A minha avó Maria José, Tias Jóselia, Joselene, Francisca e Guiomar pelo apoio durante essa caminhada.

A Hosana, Edmar, Maria de Jesus e Welliton, que me acolheram e tornaram-se a minha segunda família durante essa jornada.

Aos amigos Gessica, Emanuele, Natalia, Dione, Francisco e Leandro pela disponibilidade e auxílio prestados.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Cereais pelas dicas e horas de descontração.

À Rejane Albuquerque Ribeiro de Sá Costa pelos conselhos, incentivo e ajuda.

Ao meu Professor Orientador Dr. Claudio Ernani Mendes da Silva por ter linhas de pesquisa instigantes e por sua paciência e conhecimento sempre bem repassados.

À Dr<sup>a</sup>. Anida Moraes Gomes pelo auxílio e conselhos inestimáveis e Paloma Lima da Silva pelo apoio.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Beltrão Lessa Constant pela disponibilidade e orientações.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andréa Cardoso de Aquino pelas orientações e contribuições valiosas ao trabalho.

A Natalia Pires pela contribuição no que concerne a realização da reologia do trabalho.

A Lilian Chayn Alexandre pela colaboração e comprometimento com o desenvolvimento de parte das análises térmicas (DSC).

À empresa TATE & LYLE por acreditar em meu trabalho e pela doação do adoçante sucralose.

À empresa M. Cassab por também acreditar em meu trabalho e pela doação do adoçante Acessulfame K.

A Funcap pelo apoio financeiro.

*“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”.*

*(Simone de Beauvoir)*

## RESUMO

O desenvolvimento de bolos com reduzido teor de açúcar visa atingir o mercado de pessoas com restrição ao açúcar, ou que optam por produtos mais saudáveis no entanto, o açúcar não exerce apenas a doce característica, mas também controla os principais fenômenos responsáveis pela formação estrutural dos bolos, portanto sua redução causa prejuízos a estrutura dos bolos. Objetivou-se investigar as possíveis causas da deformação interna (formação de buracos) em bolos tipo esponja com reduzido teor calórico. Para tanto desenvolveram-se sete formulações com substituições crescentes do açúcar por soluções adoçantes (sucralose/ acesulfame K) e goma xantana. Foram produzidos sem farinha de trigo farinha que foi substituída integralmente por glúten em pó para verificar se apenas o amido contribui para as deformações apresentadas. Depois foram produzidos bolos usando a farinha de trigo, objetivando avaliar os efeitos da substituição do açúcar pelas soluções dos adoçantes com goma xantana sobre as propriedades térmicas de gelatinização do amido e viscosidade aparente da massa dos bolos. Os resultados dos bolos sem farinha de trigo, demonstraram que a substituição do açúcar pelas soluções dos adoçantes e da goma xantana, interferiram negativamente nas funções das proteínas, descartando a possibilidade do amido ser o único agente a contribuir com as deformações observadas. Os resultados dos bolos produzidos com farinha de trigo revelaram que o uso dos adoçantes e goma xantana como substituto do açúcar apresentaram uma capacidade superior ao açúcar e o amido de ligar-se a água do sistema, elevando as temperaturas ( $T_0$  e  $T_p$ ) e entalpias de gelatinização resultando no decréscimo do grau de gelatinização e o surgimento de zonas escuras, que parece ter sido ocasionado pelo acúmulo de compostos da reação de *maillard*. Os resultados referentes a viscosidade demonstram que os adoçantes não interferem no desenvolvimento do comportamento viscoso da massa, sendo atribuído ao uso da goma xantana que não conseguiu suprir a ausência funcional do açúcar nos bolos, contribuindo para o baixo volume e formação dos buracos na estrutura interna dos bolos. Sugere-se um estudo mais aprofundado sobre a estabilidade das células de ar em soluções de goma e/ ou associados a outros agentes de volume como os emulsificantes.

**Palavras-Chave:** Bolos, redução calórica, adoçantes, goma xantana, deformação estrutural interna.

## ABSTRACT

The development of cakes with a reduced sugar content is to attain the market for people with restriction sugar, or who choose to healthier products however, the sugar not only exerts the characteristic sweetness, but also controls the main phenomena responsible for the formation of structural cakes, thus reducing their losses because the structure of the cakes. The objective of the study was to investigate the possible causes of internal deformation (formation of holes) in sponge cakes with reduced calorie. Seven formulations were developed with increasing substitution of sugar for sweeteners solutions (sucralose / acesulfame K) and xanthan gum. Were produced without wheat flour, which flour has been replaced entirely of gluten powder to verify that only the starch contributes to the deformations presented. Later cakes were produced using wheat flour, with the objective of evaluating the effects of replacing sugar to sweeteners for solutions of xanthan gum on the thermal properties of starch gelatinization and apparent viscosity of the dough cakes. The results of cake wheat flour without demonstrated that replacement of the sugar and sweeteners solutions of xanthan gum, negatively interfering on the functions of the proteins, ruling out the possibility that the starch is the sole agent to contribute with the observed deformations. The results of cakes produced with wheat flour indicated that the use of sweeteners and xanthan gum as a sugar substitute exhibited a higher capacity than sugar and starch to bind water system, raising the temperature ( $T_0$  and  $T_p$ ) and enthalpies gelatinization resulting in the decrease of the degree of gelatinization and the appearance of dark zones, which appears to have been caused by the the accumulation of compounds of Maillard reaction. The results of the viscosity demonstrate that the sweeteners does not interfere with the development of the viscous behavior of the mass being attributed to the use of xanthan gum was unable to maintain the function of the sugar cakes, contributing to a low volume and formation of holes in the internal structure of cakes. Further study on the stability of the air cells in solutions of gum and / or with other bulking agents such as emulsifiers is suggested.

**Key words:** Cakes, calorie reduction, sweeteners, xanthan gum, internal structural deformation.

## SÚMARIO

<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....</b>	<b>v</b>
<b>1.0-INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.0- OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
2.1- Geral .....	9
2.2- Específicos.....	9
<b>3.0- REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>10</b>
3.1-Panorama mundial da comercialização do bolo industrializado.....	10
3.2- Panorama da comercialização nacional de bolos .....	11
3.3- Conceito de bolos .....	11
3.3.1-Tipos de bolos .....	12
3.4- Estudos realizados para a obtenção de bolos com valor calórico reduzido e para dietas especiais .....	17
3.5- Agentes de doçura e volume usados como substituto do açúcar em formulações de bolo.....	20
<b>4.0- MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
4.1- Materiais .....	26
4.2- Métodos .....	27
4.2.1- Elaboração dos bolos .....	27
De acordo com a formulação padrão mostrada na tabela 4, fazendo-se a substituição progressiva da sacarose por uma solução de acesulfame K/goma xantana e sucralose/goma xantana, separadamente, nos níveis de substituição indicados na tabela 5, conforme procedimento descrito em (CAVALCANTE, 2012).....	27
4.2.2-Soluções de acesulfame K/goma xantana e sucralose/goma xantana.....	28
Por dissolução de 1,0 g do adoçante e 1,5 g de goma xantana em 100 mL de água destilada. ....	28

4.2.6- Efeito do uso dos adoçantes nas deformações internas dos bolos substituídos.....	29
4.2.6.1- Determinação da faixa de temperatura de gelatinização do amido ....	30
4.2.6.2- Efeito da viscosidade aparente nas deformações internas dos bolos substituídos .....	30
4.2.6.3- Efeito da densidade nas deformações internas dos bolos substituídos .....	30
4.2.6.4- Medida do grau de gelatinização em zonas internas pré-determinadas dos bolos .....	31
4.2.7- Tratamento Estatístico.....	32
<b>5.0-RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
5.1- Resultado da contagem de células (CC) e volume específico (VE) dos bolos tipo esponja com reduzido teor calórico preparados com glúten em pó .....	33
5.2- Resultado da determinação das propriedades térmicas de gelatinização do amido dos bolos tipo esponja.....	39
5.2.4-Resultado da viscosidade aparente das massas de bolos tipo esponja ....	54
5.3- Modelo proposto para explicar as possíveis causas das deformações internas apresentadas nos bolos com reduzido teor calórico .....	63
<b>6.0-CONCLUSÕES.....</b>	<b>66</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>75</b>

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Faturamento no mercado mundial de bolo industrializado .....	10
Tabela 2: Consumo mundial em toneladas de bolo industrializado.....	10
Tabela 3: Evolução do mercado nacional de bolos industrializados .....	11
Tabela 4: Formulação padrão utilizada na elaboração dos bolos .....	27
Tabela 5: Níveis de substituição da sacarose pelas soluções de acesulfame K/goma xantana e sucralose/goma xantana nas formulações ensaiadas .....	28
Tabela 6: Volume específico e contagem de células das fatias dos bolos com substituição parcial do açúcar por uma solução de sucralose e goma xantana .....	34
Tabela 7: Volume específico e contagem de células das fatias dos bolos com substituição parcial do açúcar por uma solução de acesulfame K e goma xantana	35
Tabela 9: Temperaturas iniciais ( $T_o$ ) de pico ( $T_p$ ) e final ( $T_f$ ), entalpias ( $\Delta H$ ) e $\Delta T$ ( $T_f - T_o$ ) de gelatinização das massas dos bolos tipo esponja com substituição parcial do açúcar por uma solução de sucralose e goma xantana .....	41
Tabela 10: Temperaturas iniciais ( $T_o$ ) de pico ( $T_p$ ) e final ( $T_f$ ), entalpias ( $\Delta H$ ) e $\Delta T$ ( $T_f - T_o$ ) de gelatinização da massa do bolo tipo esponja com substituição parcial do açúcar por uma solução de acesulfame K e goma xantana.....	44
Tabela 11: Grau de gelatinização do amido na zona escura da fatia dos bolos com substituição do açúcar pelas soluções de sucralose/acesulfame K e goma xantana .....	48
Tabela 12: Comparação entre os graus de gelatinização das zonas escuras e claras da fatia de bolo com substituição do açúcar pelas soluções de sucralose/acesulfame K e goma xantana .....	49
Tabela 17: Valores de coeficiente de consistência e índice de fluxo, para massas de bolos elaborados com substituição parcial do açúcar pelas soluções de sucralose/acesulfame K e goma xantana.....	56

Tabela 18: Valores de densidade específica das massas de bolo elaborados com substituição parcial do açúcar pelas soluções de sucralose/acessulfame K e goma xantana .....57

Tabela 19: Valores de volume específico dos bolos elaborados com substituição parcial do açúcar por uma solução de sucralose/acessulfame K e goma xantana ...59

**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1: Sponge cake .....	13
Figura 02: Pound cake .....	14
Figura 03: Angel cake .....	14
Figura 04: Chiffon cake .....	15
Figura 05: Síntese da sucralose.....	21
Figura 06: Estrutura do acesulfame K .....	23
Figura 07: Estrutura química da goma xantana.....	24
Figura 09: Zonas escuras formadas no bolo tipo esponja.....	31
Figura 10: Efeito da substituição do açúcar pela solução de sucralose e goma xantana na estrutura dos bolos preparados com glúten em pó.....	34
Figura 11: Efeito da substituição do açúcar pela solução de acesulfame K e goma xantana na estrutura dos bolos preparados com glúten em pó.....	36
Figura 12: Faixa de temperatura de gelatinização do amido das massas de bolo com substituição parcial do açúcar por uma solução de sucralose e goma xantana	39
Figura 13: Faixa de temperatura de gelatinização do amido das massas de bolo com substituição parcial do açúcar por uma solução de acesulfame K e goma xantana .....	42
Figura 14: Efeito da substituição do açúcar pela solução de sucralose e goma xantana na estrutura dos bolos .....	46
Figura 15: Efeito da substituição do açúcar pela solução de acesulfame K e goma xantana na estrutura dos bolos .....	46
Figura 15: Curvas de viscosidade das massas de bolo com substituição parcial do açúcar por uma solução de sucralose (A) e Acesulfame K (B) com goma xantana	55

Figura 18: Modelo explicativo das possíveis causas das deformações internas (formação de buracos circundados por zonas escuras) nos bolos tipo esponja com reduzido teor calórico .....63

## 1.0-INTRODUÇÃO

Entre os produtos de panificação, o bolo vem adquirindo crescente importância no que se refere ao consumo e comercialização no Brasil. O desenvolvimento tecnológico possibilitou mudanças nas indústrias transformando a produção de pequena para grande escala, embora não constitua alimento básico como o pão, o bolo é aceito e consumido por pessoas de qualquer idade (BORGES *et al.*, 2006).

Embora seja um alimento muito apreciado por consumidores em todo o mundo, em razão de conter altos níveis de açúcar e gordura, o mesmo é considerado um alimento muito calórico, onde estudos revelaram que a ingestão de alimentos ricos em calorias, estão ligados ao aumento do número de ocorrências de doenças crônicas como o diabetes (LEE; LIN, 1982).

A partir dessa constatação houve uma preocupação crescente por parte da população, principalmente entre obesos e diabéticos, em consumir alimentos de baixo teor energético (CAVALCANTE, 2012). Em estudo realizado pela Vigitel, entre os anos de 2006 e 2011, onde foram entrevistadas mais de 50.000 pessoas nas 26 capitais e Distrito Federal, constatou-se que a região com o maior percentual de entrevistados com diagnóstico médico referido para diabetes, foi a região Sudeste com 5,8%, seguido pelo Nordeste com 5,5%, Sul 4,3%, Norte 4,1% e o menor percentual para a região Centro Oeste com 4%. Dentre as 26 capitais e o Distrito federal, o maior percentual dos entrevistados, com diagnóstico médico referido para diabetes, foi Fortaleza com 7,3%, seguido por Vitória com 7,1%, Porto Alegre 6,3% e o menor índice foi registrado em Palmas com 2,7%.

Sob esta perspectiva, a indústria de panificação tem o desafio de produzir bolos menos calóricos, sem alterar nem modificara qualidade, visto que, o papel do açúcar vai além do fornecimento de energia e doçura, pois o mesmo age restringindo a formação do glúten, retardando as temperaturas de desnaturação proteica e a gelatinização do amido, e por consequência, contribuindo para o aumento do volume e formação da textura (FRYE; SETSER, 1991; MANISHA; SOUMYA; INDRANI, 2012; RONDA *et al*, 2005). Portanto, a redução do açúcar afeta sensorial e estruturalmente os bolos (FRYE; SETSER, 1991).

O uso de adoçantes artificiais como substituto do açúcar em formulações de bolos vem sendo exaustivamente estudado, entretanto essa substituição resulta em defeitos prontamente detectáveis em suas estruturas. O uso conjunto de um adoçante e um agente espessante, vem sendo testado com o intuito de solucionar ou minimizar os problemas relacionados da redução do açúcar nos bolos (BATTOCHIO, 2007).

Porém, em estudo realizado por Cavalcante (2012), o uso conjunto de sucralose (adoçante) e goma xantana (espessante) em substituição parcial ao açúcar de bolos tipo esponja, foi detectado um defeito (formação de buracos) na estrutura interna desses bolos, indicando que o uso do espessante não foi o suficiente para evitar o problema apresentado.

Estudos sobre a redução do açúcar em formulações de bolos datam desde a década de 80 Frye e Setser (1991), onde foram relatados problemas estruturais como redução da estabilidade e volume final dos bolos, no entanto o que teria ocasionado esses problemas não foi averiguado nos trabalhos consultados.

Diante do exposto, temos que o desenvolvimento de bolos diet, que visa atingir o mercado de produtos saudáveis e com restrição ao consumo do açúcar, vem demonstrando que a substituição de parte do açúcar da formulação por adoçantes causa prejuízos na estrutura interna dos bolos (formação de buracos). Em razão disso, esse trabalho tem como justificativa a investigação das possíveis causas responsáveis pela formação dos buracos na estrutura interna dos bolos, quando se efetua essa substituição.

## **2.0- OBJETIVOS**

### **2.1- Geral**

- Verificar a causa da deformação interna (formação de buracos) na estrutura interna de bolos tipo esponja, quando o açúcar é parcialmente substituído por uma solução conjunta de adoçante e hidrocoloide na formulação.

### **2.2- Específicos**

- Avaliar a contribuição do amido na formação dos buracos elaborando formulações de bolo sem amido com reduzido teor calórico;
- Elaborar bolos convencionais, substituindo parcialmente o açúcar por soluções conjuntas de diferentes adoçantes e um hidrocoloide;
- Observar se a presença dos adoçantes influencia negativamente a gelatinização do amido nas massas dos bolos, resultando na formação dos buracos;
- Averiguar se o comportamento da viscosidade das massas dos bolos também é afetado negativamente pela presença dos adoçantes, influenciando na formação dos buracos;
- Determinar qual adoçante é o mais adequado para a elaboração dos bolos e apontar uma possível solução para as deformações estruturais apresentadas.

### 3.0- REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1-Panorama mundial da comercialização do bolo industrializado

Segundo a ABIMA (2014a), o faturamento mundial de bolos industrializados em 2011 foi de 76,738 milhões de dólares e em 2012 foi de 78,156 milhões de dólares, o Brasil se encontra na terceira posição em relação ao consumo, com 1.662 toneladas de produto industrializado e um faturamento de 13.617 milhões de dólares no ano de 2012. A tabela 01 apresenta o dado referente ao faturamento e a tabela 02 ao consumo do produto em vários países, inclusive o Brasil.

Tabela 1: Faturamento no mercado mundial de bolo industrializado

<b>Bolo Industrializado (milhões de US\$)</b>			
<b>Global</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>World</b>	70.645,6	76.738,2	76.738,2
<b>United States</b>	12.920,9	14.300,8	14.300,8
<b>BRAZIL</b>	12.609,5	13.122,9	13.122,9
<b>Germany</b>	4.654,1	4.918,8	4.918,8
<b>Italy</b>	2.141,1	2.563,6	2.563,6
<b>Chile</b>	443,3	485,8	485,8

Fonte: (EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2014 apud ABIMA, 2014a).

Tabela 2: Consumo mundial em toneladas de bolo industrializado

<b>Bolo Industrializado (toneladas)</b>			
<b>Global</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>World</b>	9.125,5	9.293,5	9.493,4
<b>United States</b>	651,6	650,7	654,9
<b>BRAZIL</b>	1.629,6	1.641,1	1.662,9
<b>Germany</b>	425,3	430,5	435,4
<b>Italy</b>	243,9	255,4	263,9
<b>Chile</b>	86,6	89,1	91,0

Fonte: (EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2014 apud ABIMA, 2014a)

### 3.2- Panorama da comercialização nacional de bolos

Os bolos vêm adquirindo crescente importância no mercado de produtos de panificação no Brasil. Chudzikiewicz (2005) observou que bolos e tortas são a segunda categoria de produtos que motiva a compra nas padarias, depois do pão.

O consumo de bolos industrializados no Brasil aumentou juntamente com o crescimento populacional do país. Em 2011, a população brasileira era estimada em 197 milhões de habitantes e o faturamento do mercado de bolos industrializados era de 590,4 milhões de reais na venda de 299,4 toneladas. Já em 2013 com uma população estimada em 201 milhões de habitantes, esses números saltaram para 767,2 milhões de reais na venda de 377,8 toneladas (ABIMA, 2014b). A tabela 03 apresenta a evolução do mercado nacional de bolos industrializados.

Tabela 3: Evolução do mercado nacional de bolos industrializados

<b>Bolo Industrializado</b>					
<b>ABIMA</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Vendas (milhões R\$)</b>	445,4	531,2	590,4	662,8	767,2
<b>Vendas (Milhões Unidades)</b>	230,7	270,7	299,4	359,8	377,8
<b>Per capita (Unidades)</b>	1,2	1,4	1,5	1,8	1,9
<b>População Bras. (Milhões)</b>	193,5	195,5	197,4	199,2	201,0

Fonte: (ABIMA; NIELSEN, 2014b)

### 3.3- Conceito de bolos

Segundo Brasil (1978), bolo é um produto assado, preparado à base de farinhas ou amidos, açúcar, fermento químico ou biológico, podendo conter leite, ovos, manteiga, gordura e outras substâncias alimentícias que caracterizam o produto.

É uma emulsão do tipo óleo em água com células de ar aprisionadas na fase lipídica e os demais ingredientes: açúcar, leite, ovos, gordura e fermento, encontram-se dissolvidos ou dispersos na fase aquosa, que ao passar por um processo térmico (fornecimento) passará de uma emulsão para uma estrutura porosa, evento este atribuído a gelatinização do amido, juntamente com a desnaturação proteica (BENNION; BANFORD, 1997; MIZUKOSHI; KAWADA; MATSUI, 1979).

### **3.3.1-Tipos de bolos**

Definir tipos de bolos é muito difícil devido ao fato de que existe uma gama muito variada. Eles se diferenciam por adição, substituição parcial ou redução de determinados ingredientes como a farinha, gordura e açúcar, que sofrem alterações produzindo bolos distintos.

#### **3.3.1.1- Tipos de bolos conforme a incorporação de ar a massa**

Hoseney (1994) e Perales (2011) classificaram os bolos em três diferentes tipos, dependendo de como o ar é incorporado na massa. O primeiro tipo é feito obtendo-se a massa com três fases de mistura. Este procedimento inicia-se com a elaboração de um creme, formado pela mistura de gordura e açúcar, que tem por finalidade incorporar ar à mistura. Em seguida, os líquidos e a farinha são incorporados à massa final. Nesse tipo, um grande número de células de ar são formadas, pois as mesmas são aprisionadas a fase lipídica da massa, resultando em uma textura macia.

O segundo tipo é feito com uma massa obtida a partir de apenas uma única fase de mistura. Nesse tipo, os líquidos e os sólidos são misturados de uma só vez, assim o ar é incorporado diretamente na fase aquosa. Isso pode ser conseguido porque a mistura contém surfactantes que reduzem a tensão interfacial e permitem que o ar seja incorporado diretamente. O propileno glicol monoesterase é um surfactante comum utilizado para este fim. No terceiro tipo, o ar é incorporado diretamente na fase aquosa por meios mecânicos (utilizando uma batedeira), ao invés da adição de surfactantes, resultando em bolos bastante delicados, pouco convenientes para serem transportados (HOSENEY ,1994; PERALES, 2011)

Quando o ar é incorporado diretamente na fase aquosa por meios mecânicos (sponge cake), a estabilidade é menor em relação a massa elaborada a partir da formação do creme (pound cake) (HOSENEY,1994; PERALES, 2011).

**a) Bolo tipo esponja (sponge cake)**

É um bolo constituído por ovos, açúcar, farinha, líquidos e quantidades menores de gordura, sua estrutura e volume são dependentes principalmente das propriedades que os ovos apresentam de aeração e formação de espuma. (CAVALCANTE, 2012; PERALES, 2011).

Figura 1: Sponge cake



Fonte: (Nestlé, 2010)

**b) Pound cake**

No *Pound cake*, os ingredientes são batidos um por vez. Primeiro o açúcar e a manteiga, seguidos dos ovos, até a formação de uma massa bem espessa, depois é adicionado o restante dos ingredientes, como a farinha de trigo que deve ser peneirada, o sal e o aroma de baunilha ou limão (opcional) (PARKE e ARKANSAS, 2012). Na fórmula original para o *pound cake*, o peso de cada ingrediente (farinha, manteiga, ovos e açúcar), era equivalente a 0,45Kg, o que deixa o bolo pesado, muito calórico e de alto custo. A fórmula adaptada, permitiu desenvolver bolos mais leves, com menos calorias, sem perder a qualidade desejada (HOSENEY, 1994).

Figura 02: Pound cake



Fonte: (NESTLEHNER, 2004)

### c) Bolo suspiro (*angel cake*)

É um bolo sem gordura, no qual se utilizam claras de ovo e açúcar, que conferem maciez à massa. As claras e o açúcar são batidos juntamente com o sal e o cremor tártaro (bitartarato de potássio) para incorporar ar. Além disso, o cremor tártaro melhora a cor do bolo, produz uma textura macia, estabiliza a espuma (atua como regulador de acidez) para que ela não se desestrua no forno antes da temperatura de desnaturação proteica ser atingida e impede a contração acentuada da espuma durante a última etapa do forneamento, bem como durante o resfriamento. (CAVALCANTE, 2012).

Figura 03: Angel cake



Fonte: (THE PREPARED PANTRY, 2007)

#### **d) Bolo chiffon (*Chiffon cake*)**

Esse tipo de bolo combina os processos de fabricação do bolo suspiro (*angel cake*) e do bolo esponja (*sponge cake*). Inicialmente, as claras dos ovos são separadas e batidas até ficar com aspecto de “claras em neve”. Em outro recipiente, adicionam-se farinha, sal, fermento químico e açúcar até a formação de uma mistura homogênea. Em seguida, acrescentam-se água, óleo e gemas de ovos, misturando-os até completa homogeneização. Por último, faz-se a adição das claras batidas à massa homogeneizada obtida na etapa anterior (CAVALCANTE, 2012).

Figura 04: Chiffon cake



Fonte: (CALVALCANTE, 2012)

### **3.3.2- Métodos de preparação de massa do bolo**

#### **a) Método convencional**

Durante muitos anos o método convencional foi usado no preparo de bolo. É o método mais indicado por produzir a qualidade mais apreciada no bolo, que é uma textura leve e macia. Nesse método, primeiramente, são batidos a gordura e o açúcar até formar um creme. Os ovos são batidos um de cada vez, as claras são reservadas e batidas separadamente e os ingredientes secos como farinha de trigo, fermento em pó e sal são adicionados depois, de forma alternada, com o leite, batendo o suficiente apenas para misturar os ingredientes. Se batido vigorosamente, após cada adição da farinha, o glúten pode se desenvolver excessivamente e causar escapamento do dióxido de carbono formado pela hidratação do fermento em pó. As claras reservadas são as últimas a serem batidas de forma que o ar presente nelas não escape. O uso de batedeiras elétricas facilita o trabalho, sendo recomendado bater apenas a gordura, o açúcar e os ovos. Já os ingredientes secos e o leite, é recomendado que sejam batidos manualmente para evitar o escape do dióxido de carbono (CRAWFORD, 1985).

## **b) Método rápido**

Nesse método, combinam-se todos os ingredientes numa única fase, adicionando os líquidos aos ingredientes secos de uma só vez ou acrescentando os líquidos aos ingredientes secos em duas etapas. Os agentes de aeração dessas massas são o fermento químico e o vapor produzido durante o forneamento (CRAWFORD, 1985).

### **3.3.3- Modificações físicas e químicas durante o processo de forneamento da massa do bolo**

O forneamento, é uma técnica de processamento de alimentos amplamente utilizada, é um processo complexo que produz mudanças químicas, físicas e bioquímicas no produto. Geralmente é modelado como transferência simultânea de calor e de umidade (SAKIN; KAYMAK-ERTEKIN; ILICALI, 2007).

Esse parâmetro é importante para a obtenção da qualidade final dos bolos, principalmente durante o processo de mistura da massa. O efeito da temperatura sobre a viscosidade da massa afetará tanto a aeração como a estabilidade (PYLER, 1988; SAMPAIO, 2006 apud MAIA, 2007). A temperatura empregada para o forneamento de bolos depende da quantidade de massa a ser assada, variando entre 175°C e 190°C.

Durante o forneamento, a massa do bolo passa de uma emulsão para uma estrutura porosa, fato este atribuído a gelatinização do amido em conjunto com a desnaturação proteica, fenômenos que ocorrem durante a elevação da temperatura. Essa mesma elevação de temperatura proporciona liberação de vapor de água e dióxido de carbono proveniente da adição do fermento, que auxiliam na difusão das células de ar, contribuindo para a expansão da massa e resultando em bolos estruturalmente adequados (KOCER *et al.*, 2007).

### **3.4- Estudos realizados para a obtenção de bolos com valor calórico reduzido e para dietas especiais**

Estudos para avaliar fatores que interferem na boa formação da estrutura de bolos datam da década de 60, porém somente a partir da década de 80, com a demanda por alimentos saudáveis e menos calóricos pelo consumidor, iniciam-se estudos com redução do açúcar, visto que a substituição desses componentes interfere na qualidade do produto final (FRYE; SETSER, 1991).

Nesses estudos, têm-se demonstrado que a redução substancial de açúcar pode ser feita em formulações tradicionais usando uma combinação de um adoçante de alta intensidade e um espessante de baixa caloria (BENNION; BAMFORD, 1997).

Kim e Walker (1992) desenvolveram formulações de bolos substituindo a farinha de trigo por amido de batata e amido de milho e 50% do açúcar da formulação por mistura de dextrose, lactose e polisorbato 60. Os bolos com amido de batata obtiveram maior aceitação em relação aos elaborados com amido de milho, que tiveram seu volume e textura melhorados pela adição de dextrose á formulação. O uso combinado de lactose e polisorbato 60 conferiu aumento na viscosidade das massas de bolo com amido de batata, efeito este não observado nas massas de bolo de amido de milho. Os autores concluíram que o aumento na viscosidade ajuda na incorporação de ar a massa, proporcionando maiores volumes aos bolos, e que a adição de emulsificantes ajuda no aumento do volume dos bolos.

Attia, Shehata e Askar (1993) propuseram fórmulas usando o aspartame e/ou o acessulfame-K como adoçantes, além de uma fórmula com frutose como substituto do açúcar e polidextrose como espessante, e observaram que o uso de qualquer adoçante como substituto de açúcar, promoveu perda da qualidade e aceitabilidade dos bolos. A formulação envolvendo frutose e polidextrose tiveram aceitabilidade similar ao bolo padrão.

Pateras, Howells e Rosenthal (1994) analisaram o efeito da substituição de açúcar por polidextrose nas propriedades de espuma em massas de bolo, observando que a polidextrose causou um aumento no tamanho das células de ar e uma grande variação na distribuição delas na massa.

Baeva, Panchev e Terzieva (2000) estudaram os efeitos da substituição total de açúcar por aspartame microencapsulado e agentes espessantes, como sorbitol, amido e gérmen de trigo em relação as características físicas e sensoriais em bolos, encontrando grandes diferenças de porosidade, elasticidade e volume entre o bolo padrão e o isento de açúcar.

Hicsasmaz *et al.* (2003) encontraram resultados similares em amostras de bolo convencional e bolos com 100% de substituição de açúcar por polidextrose em relação à formação de células, apesar de notarem uma diminuição de volume proporcional a uma maior substituição.

Lin, Hwang e Yeh (2003) avaliaram o efeito da substituição de açúcar (parcial e total) por eritritol. Em relação ao volume, não houve diferença significativa entre os bolos. Os autores relataram que os bolos contendo açúcar ou eritritol tenham a mesma habilidade de reter ar.

Ronda, *et al* (2005) estudaram o efeito da substituição total de açúcar pelos edulcorantes maltitol, manitol, xilitol, isomaltose, sorbitol, oligofrutose e pelo espessante polidextrose em relação a textura e o volume específico de bolo recém-preparado e com quatro dias de armazenamento. Bolos livres de açúcar apresentaram volume específico menor que o bolo-controle para todas as formulações. Diferenças sobre a firmeza foram relatadas entre os bolos que continham edulcorantes e o bolo controle que continha o açúcar, com textura mais leve para os bolos livres de açúcar, e entre bolos frescos e armazenados, a firmeza aumentou com o passar dos dias.

Lin e Lee (2005), que estudaram bolos com substituição de açúcar por sucralose e dextrina, ressaltaram que, para obter uma boa massa de bolo, a viscosidade deve ser suficiente para evitar que as células de ar migrem para a superfície e desapareçam com início do aquecimento. A formulação com maior substituição de açúcar por sucralose e dextrina teve uma temperatura de gelatinização mais elevada que as formulações com baixo teor de substituição e apontou para um bolo com baixo volume, má formação de estrutura aerada e baixa viscosidade. Os autores concluíram que é possível fazer bolos com redução menor ou igual a 50% de açúcar com características físico-químicas e qualidade sensorial similar ao convencional.

Sampaio (2006), ao substituir açúcar por lactitol e sucralose, obteve redução de volume específico em comparação ao bolo padrão. Resultado semelhante foi encontrado por Ronda *et al.* (2005), que fizeram substituições do açúcar por xilitol, manitol, sorbitol e oligofrutose, obtendo volumes específicos menores que o controle. Ronda *et al.* (2005) e Hicsasmaz *et al.* (2003) afirmam que essa diminuição deve-se a dois fatores principais: a perda gradativa da estabilidade da massa durante o aquecimento, haja vista que a viscosidade da massa diminuiu e o tamanho das células aumentou, e as mudanças térmicas com alterações entre agentes de corpo, amido e proteínas da massa, que afetam a temperatura de gelatinização do amido e de desnaturação proteica. A diminuição nessas temperaturas é esperada por causar mudanças na matriz proteica e amilácea, que deve começar na crosta devido ao contato direto com o meio de aquecimento, diminuindo a taxa de transferência e produzindo um acúmulo de pressão de vapor, causando a expansão inadequada das células de ar.

Como as massas de bolo são sistemas complexos de emulsões de macromoléculas, suas propriedades físicas têm um papel importante na determinação das características dos bolos. Destas, as que mais interessam são a densidade, definida como a quantidade de células de ar que ficam retidas na massa durante sua mistura, e as propriedades reológicas. Mudanças na viscosidade aparente da massa podem estar associadas a variações no volume dos bolos (GÓMEZ *et al.*, 2008).

Psimouli e Oreopoulou (2011) estudaram o efeito do uso de diferentes poliois, frutose, oligofrutose e polidextrose como substituto do açúcar sobre as propriedades reológicas, térmicas e sensoriais por meio instrumental de massas de bolo antes e depois de serem assadas. Os melhores resultados foram obtidos usando oligofrutose, lactitol ou maltitol como substitutos do açúcar, que apresentaram comportamento reológico e a elevação da temperatura de gelatinização do amido foram semelhantes ao bolo padrão preparado com 100% de açúcar. Já o uso da frutose e manitol, de acordo com as medições instrumentais e avaliação sensorial, levaram a redução das características físicas e sensoriais dos bolos, resultando em produtos de baixa qualidade.

Manisha, Soumya e Indrani (2012) estudaram a substituição do açúcar por esteviosídeo e sorbitol líquido (SO) como agentes de doçura isolados ou em associação com os hidrocolóides (goma xantana) e emulsionantes (polisorbato 60)

como agentes de volume, além da inclusão alternada do pó da semente de feno grego na proporção de 10%, avaliando as características reológicas, microestruturais e a qualidade dos bolos desenvolvidos. Os dados experimentais demonstraram que o uso isolado dos adoçantes provocou a redução da viscosidade, porém, quando associados com os agentes de volume (goma xantana e polisorbato 60) conferiu-se um aumento da viscosidade e, com isso, uma melhor distribuição das células de ar, melhorando a qualidade final dos bolos e a adição do pó de semente de feno grego, que proporcionou melhorias na qualidade funcional dos bolos, no entanto, deixou um indesejável sabor residual de feno grego.

Martínez-Cervera, Salvador e Sanz (2014), em seu trabalho objetivaram comparar a adequação de diferentes polióis (sorbitol, maltitol, isomalte e eritritol) como substitutos total de açúcar em muffins. As propriedades térmicas e reológicas das massas, características físicas e aceitabilidade do consumidor. Assim como o açúcar, todos os polióis elevaram a temperatura de gelatinização do amido, embora tenham sido relatadas diferenças entre eles foram, onde o eritritol apresentou as maiores disparidades em relação ao açúcar, inclusive nas propriedades reológicas da massa em comparação com outros polióis. No que concerne as características físicas, todos os muffins preparados com polióis obtiveram resultados inferiores ao bolo padrão com perdas na altura e textura dos produtos. Referindo-se as características sensoriais apenas os muffins preparados com sorbitol e maltitol não mostraram diferença significativa em relação a amostra padrão.

### **3.5- Agentes de doçura e volume usados como substituto do açúcar em formulações de bolo**

#### **3.5.1- Adoçantes selecionados, no desenvolvimento de bolos com reduzido teor calórico**

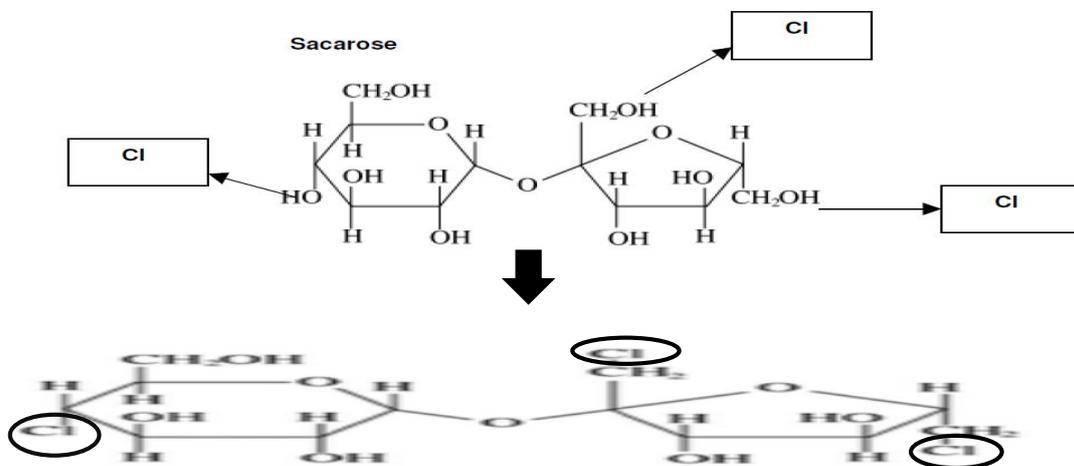
Os adoçantes sintéticos de baixa caloria, aprovados pelo Food and Drug Administration (FDA), são sacarina, aspartame, acessulfame K e sucralose (TOZETTO, 2005).

Os adoçantes sucralose e acessulfame K vem sendo amplamente usados como substitutos do açúcar em alimentos dietéticos, devido a sua estabilidade sob altas temperaturas empregadas no processo alimentício, como o fornecimento de produtos de panificação como bolos, tortas e biscoitos (ATTIA, SHEHATA; ASKAR, 1993; LIN; LEE, 2005; MARTINEZ-CEVERA *et al.*, 2012)

### a) Sucralose

A sucralose é um adoçante sintético não metabolizado descoberto em 1976, ocasionalmente por pesquisadores da Universidade de Londres. É sintetizado a partir do açúcar, onde os grupos hidroxilas das posições 4, 1 e 6 são substituídos por 3 átomos de cloro resultando no composto 1,6-dicloro-1,6 dideoxi-β-D-fructofuranosil-4-Cloro-4-deoxi-α-D-galactopiranosil, muitas vezes abreviado em nomenclatura química como 4,1,6-triclorogalactoaçúcar (RODERO; RODERO; AZOUBEL, 2009), tem poder adoçante 600 vezes superior ao açúcar (BARNDT; UACKSON, 1990; TOZETTO, 2005). A figura abaixo mostra o processo químico de síntese da sucralose:

Figura 05: Síntese da sucralose



Fonte: (BARNDT; UACKSON, 1990; RODERO; RODERO; AZOUBEL, 2009)

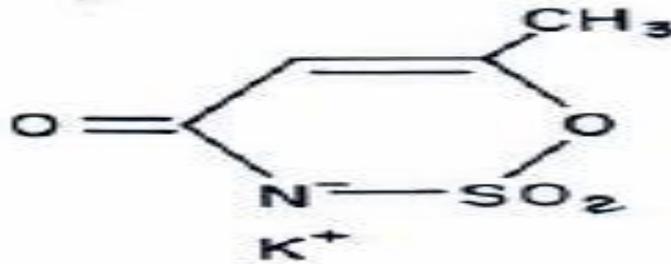
Estudos toxicológicos demonstraram que a sucralose não é um composto tóxico, portanto seu uso foi considerado seguro e regulamentado pelo Food and Drug Administration (FDA) em 1998. De acordo com estudos sensoriais esse adoçante não apresenta sabor residual amargo característico de outros adoçantes, por ser estável pois é a altas temperaturas e a acidez elevada, mantendo sua doçura durante o cozimento. Seu uso como substituto do açúcar é recomendado em produtos de panificação, porém apenas como agente de doçura. Embora seja sintetizada a partir do açúcar, a sucralose não possui a mesma capacidade, de contribuir para a formação estrutural de produtos de panificação como os bolos durante o cozimento (LIN; LEE, 2005; MARTINEZ-CEVERA *et al.*, 2012)

Martinez e Cevera (2012) estudaram o efeito da substituição do açúcar em níveis de 25-100% por uma mistura de sucralose e polidextrose sobre as características estruturais e sensoriais de muffins. Os resultados mostraram que a substituição do açúcar pela mistura de sucralose e polidextrose diminuiu a viscosidade da massa e o número de células de ar formadas em relação a amostra controle com 0% de substituição para parâmetros sensoriais avaliados de cor, sabor, textura, doçura e aceitação global. Para a amostra com 50% de substituição de açúcar os resultados dos parâmetros foram semelhantes aos da amostra controle, já os bolos com 100% de substituição, foram significativamente menos aceitáveis. A substituição do açúcar por polidextrose resultou em uma massa menos estável, devido o comportamento interfacial da polidextrose e os componentes da massa do bolo (SCHIRMER *et al.*, 2012).

#### **b) Acesulfame K**

Acesulfame K (C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>N<sub>0</sub>O<sub>4</sub>KS) ou sal de potássio (6-metil-1,2,3-oxatiazina-4(3H)-ona-2,2-dióxido) é um adoçante sintético não calórico e não metabolizado pelo organismo, foi descoberto em 1967 por pesquisadores alemães da Hoechst de Frankfurt. É um pó cristalino branco praticamente inodoro, solúvel em soluções aquosas e com capacidade adoçante 180-200 vezes superior ao açúcar, sendo que em grandes doses deixa um leve sabor residual amargo (CAMPOS, 2007; FILHO *et al.*, 1996). Sua estrutura é apresentada na figura a seguir:

Figura 06: Estrutura do acessulfame K



Fonte: (FILHO *et al.*, 1996)

É o adoçante sintético de maior resistência ao armazenamento prolongado e a diferentes temperaturas. Foi descoberto que as variações do posicionamento dos substituintes no anel causam forte influência em sua doçura, concluindo-se que o sal de potássio é o mais adequado para aplicações em alimentos que incluem em seu processamento, etapas de pasteurização, esterilização e/ou aquecimento a temperaturas elevadas. Sendo assim, é utilizado como substituto do açúcar. Como agente de doçura isolado ou associado a outro adoçante, no desenvolvimento de produtos de panificação como bolos, tortas e biscoitos (CAMPOS, 2007; FILHO *et al.*, 1996; CARVALHO, 2007; ATTIA, SHEHATA; ASKAR, 1993).

Attia, Shehata e Askar (1993) desenvolveram formulações de bolo tipo esponja, usando diferentes adoçantes, entre eles o acessulfame-K, como substituto do açúcar e polidextrose como espessante, e observaram que o uso de qualquer adoçante como substituto de açúcar promoveu a redução do volume específico, perda da qualidade e aceitabilidade dos bolos.

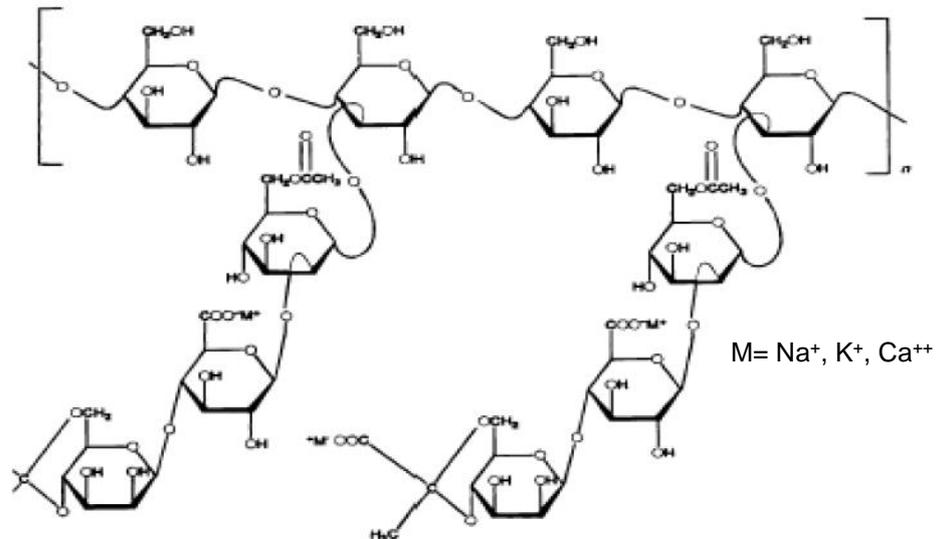
### 3.5.2- Agente de volume (goma xantana) usado em formulação de bolos com reduzido teor calórico

Hidrocolóides ou gomas são polissacarídeos de elevado peso molecular, solúveis em água e utilizados para controlar a viscosidade em diversos sistemas alimentares. As gomas são obtidas a partir de várias fontes e exibem uma vasta gama de propriedades (MILLER; HOSENEY, 1993).

Goma xantana, nome trivial dado ao polissacarídeo secretado pela bactéria do gênero *Xantomonas*, é utilizada em diversos setores industriais, devido as suas excelentes propriedades reológicas. Quanto à composição química, é um

heteropolissacarídeo de alto peso molecular, composto por um esqueleto linear celulósico, contendo unidades pentassacarídicas repetidas de D-glucose unidas entre si por ligações -1,4, com resíduos alternados de D-manose e ácido D-glicurônico, tendo ainda grupos acetal pirúvico e D-acetil (ARAUJO, 2011; PREICHARDT, 2009) como mostra a figura abaixo:

Figura 07: Estrutura química da goma xantana



Fonte: (PREICHARDT, 2009)

A goma xantana interage sinergisticamente com diversos polissacarídeos, melhorando as características de viscosidade e de gelificação. Frequentemente, é utilizada em emulsões conjuntamente com as galactomananas, como goma guar e locusta, tem sido aplicada em vários tipos de alimentos por apresentar propriedades importantes de estabilização de emulsão, estabilidade térmica, compatibilidade com diversos ingredientes de alimentos e propriedades reológicas pseudoplásticas (diminuição da viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento) (ARAUJO, 2011; PREICHARDT, 2009).

O principal efeito produzido pela xantana sobre o amido é o retardo da retrogradação da amilose. Um aumento da viscosidade de soluções de amido é observado pela incorporação deste hidrocolóide, que modifica as propriedades reológicas da solução. Por este motivo, a goma xantana tem sido utilizada para melhorar as características reológicas das massas de produtos como pães e bolos, aumentando o volume específico, adiando o endurecimento, prolongando a vida de prateleira e aumentando a qualidade global desses produtos (PREICHARDT, 2009).

Zambrano *et al.* (2005) observaram que a utilização de goma xantana como substituto parcial de gordura em bolos, apresentaram bons resultados por provocar um aumento no volume do produto por meio do aumento da viscosidade aparente da massa, sendo esta característica muito importante em bolos com baixo teor de gordura, pelo fato desses apresentarem baixo volume. Quanto à estrutura celular do bolo, encontraram bons resultados para todas as formulações, embora os produzidos com goma xantana tivessem sua estrutura um pouco mais frágil do que a estrutura do bolo padrão. Segundo eles, pelo fato da goma xantana, em particular, ter uma estrutura molecular, que em solução é bem estável e armada devido às suas interações, forma uma estrutura rígida. Sem o rompimento das moléculas, estas interagem rearranjando-se na forma de gel, resultando em alta viscosidade a baixas concentrações de goma. Os autores verificaram que o menor volume específico foi relacionado com a maior quantidade de goma utilizada e que uma maior quantidade de emulsificante (gordura) foi relacionada com o maior volume. Segundo os autores, isso se deve ao fato do emulsificante promover a aeração da massa, formando e estabilizando a espuma e, conseqüentemente, obtendo um bolo de volume maior.

Ronda *et al.* (2005) estudaram o efeito do uso de diferentes hidrocolóides sobre a estabilidade de bolos em camadas e relataram que o uso da goma xantana proporcionou a manutenção das características físicas dos bolos durante todo o período de armazenamento.

Em vista disso pode-se prever que a composição dos adoçantes e das gomas usados nas formulações de bolo com reduzido teor calórico podem interferir nos parâmetros reológicos no que concerne a viscosidade da massa e na gelatinização do amido influenciando negativamente na formação estrutural dos bolos ocasionando a formação de buracos.

## **4.0- MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1- Materiais**

#### **4.1.1- Equipamentos**

- Centrifuga Modelo EEQ-9004/B, marca Edutec;
- Estufa de circulação forçada de ar marca Quimis;
- Calorímetro diferencial exploratório DSC, modelo 200F3, marca Netzsch;
- Reômetro modelo AR 550, marca TA instruments;
- Espectrofotômetro, modelo SP22, marca Biospectro;
- Batedeira marca Mallory, modelo Giromax .
- Assadeiras tipo W, 7 cm de diâmetro;

#### **4.1.3- Ingredientes**

- Farinha de trigo, tipo 1 (Dona Benta, Fortaleza-Ce);
- Leite em pó (Itambé, Sete Lagoas-MG);
- Margarina sem sal (Qualy, São Paulo-SP);
- Ovos tipo branco e tamanho médio;
- Açúcar cristal (Humaitá, Manaus-Amazonas);
- Fermento químico (Dona Benta, Fortaleza-Ce);
- Goma xantana (Gastronomy lab, Brasília-DF)
- Sucralose Splenda® (TATE & LYLE São Paulo - Brasil);
- ACESSULFAME DE POTÁSSIO (M. Cassab, São Paulo-SP).

## 4.2- Métodos

### 4.2.1- Elaboração dos bolos

De acordo com a formulação padrão mostrada na tabela 4, fazendo-se a substituição progressiva da sacarose por uma solução de acessulfame K/goma xantana e sucralose/goma xantana, separadamente, nos níveis de substituição indicados na tabela 5, conforme procedimento descrito em (CAVALCANTE, 2012).

Tabela 4: Formulação padrão utilizada na elaboração dos bolos

<b>Ingredientes</b>	<b>Partes</b>
Farinha de trigo	100
Açúcar	155,88
Margarina	28,78
Leite em pó	6,79
Ovos	46,96
Fermento químico	1,00
Água	59,59

Tabela 5: Níveis de substituição da sacarose pelas soluções de acesulfame K/goma xantana e sucralose/goma xantana nas formulações ensaiadas

<b>Formulação</b>	<b>Nível de substituição Do açúcar (partes )</b>	<b>Sacarose residual na formulação (partes )</b>
F0 (Controle)	0,00	155,88
F10	10,00	140,28
F19	19,00	126,27
F27	27,10	113,64
F34	34,39	102,28
F40	40,95	92,05
F46	46,86	82,83
F52	52,17	74,56

#### **4.2.2-Soluções de acesulfame K/goma xantana e sucralose/goma xantana**

Por dissolução de 1,0 g do adoçante e 1,5 g de goma xantana em 100 mL de água destilada.

#### **4.2.3- Efeito do amido de trigo nas deformações internas dos bolos substituídos**

Para avaliar a contribuição do amido nas deformações observadas na estrutura interna (formação de buracos) dos bolos substituídos, a farinha de trigo da formulação padrão foi totalmente substituída por glúten em pó, permanecendo todos os ingredientes nas proporções indicadas na tabela 1. Após o forneamento, foi feita a determinação dos volumes específicos e a contagem total de células deformadas (buracos) na estrutura interna dos bolos.

#### **4.2.4-Determinação do volume específico**

Medido por deslocamento da semente de painço, conforme metodologia descrita pela AACCC (2000). Análise feita com cinco repetições.

#### **4.2.5-Contagem de células**

Fatias de bolo de 11,0 mm de espessura de cada formulação foram escaneadas e efetuada a contagem de células formadas após o forneamento num quadrado de 5,0 x 5,0 cm, localizado no centro da fatia examinada, de acordo com a metodologia adaptada de Wilderjans *et al* (2008). Análise feita em 5 repetições. Para isso foi usado o Software ImageJ.

Para melhor entendimento dos resultados obtidos as formulações de bolo receberam uma nomenclatura específica de acordo com o adoçante utilizado:

**GSG:** Bolo tipo esponja com substituição parcial do açúcar por sucralose e goma xantana e glúten em pó.

**GAG:** Bolo tipo esponja preparado com substituição parcial do açúcar por acessulfame K e goma xantana e glúten em pó.

#### **4.2.6- Efeito do uso dos adoçantes nas deformações internas dos bolos substituídos**

O desenvolvimento desses bolos visou averiguar os efeitos da substituição parcial do açúcar pelas soluções dos adoçantes (sucralose/ acessulfame K) e goma xantana, sobre a gelatinização do amido, viscosidade aparente das massas dos bolos e as características físicas antes (densidade específica) e depois de serem assadas (volume específico e grau de gelatinização).

Seguiu-se as mesmas condições de preparo adotadas na primeira etapa sendo que usou-se farinha de trigo ao invés de glúten em pó. Antes do forneamento, amostras da massa de bolo de cada formulação substituída, foram coletadas para analisar o comportamento da gelatinização do amido por calorimetria diferencial exploratória (DSC), viscosidade aparente e densidade específica.

#### **4.2.6.1- Determinação da faixa de temperatura de gelatinização do amido**

Por calorimetria diferencial exploratória. Amostras de massa de bolo de 8 mg foram colocadas e seladas em panelas de alumínio especiais e submetidas a análise térmica nas seguintes condições operacionais: Temperatura inicial= 25 °C; Velocidade de aquecimento= 10°C/minuto; Temperatura final 250 ° C. As análises foram realizadas com três repetições.

#### **4.2.6.2- Efeito da viscosidade aparente nas deformações internas dos bolos substituídos**

Para investigar o efeito da viscosidade nas deformações internas dos bolos, amostras de 18,0 g das massas elaboradas foram obtidas e submetidas a medidas de viscosidade segundo metodologia descrita por Psimouli e Oreopoulou (2012), com as seguintes condições operacionais: Temperatura das massas= 25,0° C; Taxa de cisalhamento de 0,2 a 1,0 s<sup>-1</sup>. A viscosidade aparente foi medida em função da taxa de cisalhamento e os dados foram ajustados ao Modelo de Ostwald-de Waele (Lei da potência, equação 01). Onde  $\mu$  é a viscosidade aparente (Pa.s), K é o coeficiente de consistência (Pa s<sup>n</sup>) e  $\gamma$  é a taxa de cisalhamento (s<sup>-1</sup>) e n é o índice de fluxo. Para o ajuste dos dados foi utilizado o software TA Advantage Data Analysis, versão 5.0.38, do próprio equipamento. Análise foi feita com três repetições.

$$\mu = K \times \gamma^n \text{ ( equação 01)}$$

Onde:  $\mu$ : Viscosidade aparente (Pa s);

K: Coeficiente de consistência (Pa s<sup>n</sup>);

$\gamma$ : Taxa de cisalhamento (s<sup>-1</sup>);

n: Índice de fluxo ou escoamento.

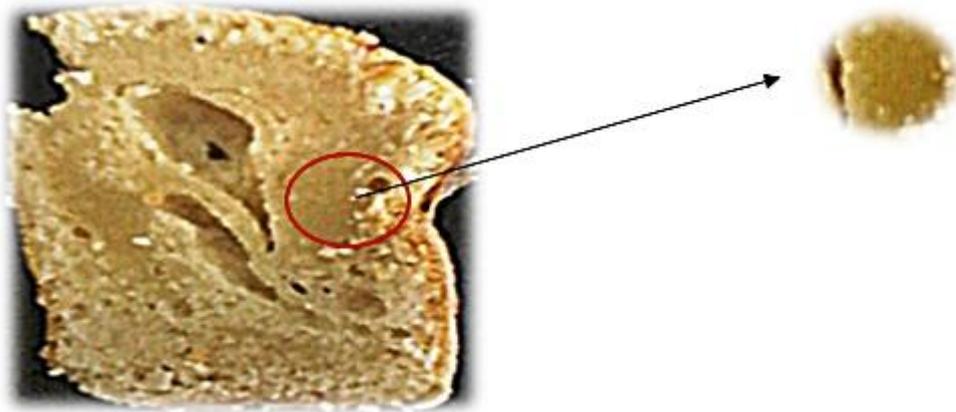
#### **4.2.6.3- Efeito da densidade nas deformações internas dos bolos substituídos**

Foi determinado, gravimetricamente pela razão entre um recipiente padrão contendo (100 mL) de massa e o peso do mesmo recipiente padrão contendo (100 mL) de água (FREY; SETSER, 1991; LIN; LEE, 2005). Análise feita com cinco repetições.

#### 4.2.6.4- Medida do grau de gelatinização em zonas internas pré-determinadas dos bolos

Nas zonas escuras da estrutura interna dos bolos (ver figura 9) foi determinado o grau de gelatinização segundo metodologia adaptada de Birch & Priestley (1975) das amostras constituintes dessas zonas, com a finalidade de saber se em torno das deformações, onde elas se situavam, haveria uma gelatinização mais intensa do amido presente. Para efeito de comparação, foi também determinado o grau de gelatinização do material coletado nas zonas claras.

Figura 09: Zonas escuras formadas no bolo tipo esponja



##### a) Determinação do grau de gelatinização (GG) do amido de trigo em zonas pré-determinadas da estrutura interna dos bolos.

Amido de trigo completamente gelatinizado (amostra de referência) foi obtido da seguinte maneira: Uma suspensão de amido em água (10g/100mL), foi autoclavada a 1 atm por aproximadamente 30 minutos, resfriada, seca durante 12 horas em estufa com circulação forçada de ar 60-85°C (~12,0% de umidade) e pulverizada a 200 mesh. Para a determinação do grau de gelatinização, as amostras colhidas sofreram o seguinte tratamento: 2,0 g da amostra, 2,0 mL da solução de KOH 10 M e 98,0 mL de água foram misturados, homogeneizados, centrifugados à 2000 x g durante 5,0 minutos. Aliquotas de 1,0 mL do sobrenadante foram adicionadas de 0,4 mL de HCL 0,5M; 10,0 mL de água destilada e 0,1 mL de solução de reagente de iodo (1g de iodo, 4 g de Iodeto de potássio em 100ml de água destilada). Após esse procedimento a absorbância foi lida a 600nm em um espectrofotômetro contra um branco de reagente (95mL de água destilada, 5,0 mL da solução de KOH 10M e 1,0

mL de HCl 0,5M. As análises foram feitas com 5 repetições. O resultado obtido foi calculado através da fórmula descrita abaixo:

$$GG = \frac{\text{Absorbância da amostra de bolo} \times 100}{\text{Absorbância da amostra de amido totalmente gelatinizado}} \quad (\text{equação 02})$$

Para melhor entendimento dos resultados obtidos as formulações de bolo receberam uma nomenclatura específica de acordo com o adoçante utilizado:

**TSG:** Bolo tipo esponja com substituição parcial do açúcar por sucralose e goma xantana e farinha de trigo.

**TAG:** Bolo tipo esponja com substituição parcial do açúcar por acessulfame K e goma xantana e farinha de trigo.

#### 4.2.7- Tratamento Estatístico

Os resultados foram submetidos à análise estatística, usando-se o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Foram feitas análises de variância (ANOVA), cálculo do desvio das médias com posterior comparação das diferenças entre elas pelo teste de Tukey a um nível de significância de  $p < 0,05$ , utilizando o programa estatístico Statistica versão 8.

## **5.0-RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1- Resultado da contagem de células (CC) e volume específico (VE) dos bolos tipo esponja com reduzido teor calórico preparados com glúten em pó**

Os valores para volume específico dos bolos tipo esponja com substituição do açúcar pela solução de sucralose e goma xantana (GSG) (tabela 06) variaram de 1,07-1,90 cm<sup>3</sup>/g. As formulações F10 a F40, não diferiram significativamente de F0 (controle). Já as formulações F46 e F52, figuraram com os maiores valores nesse parâmetro diferindo significativamente de F0.

Na contagem de células os valores variaram de 164-242cel/cm<sup>2</sup> (tabela 06 pag. 39), mostraram-se todos superiores a F0, onde as formulações F34 e F46 obtiveram os maiores resultados de 229 e 242cel/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

Embora os resultados referentes ao volume específico não diferirem significativamente entre si excetuando F46 e F52, a figura 11 mostra que a partir da formulação F27 percebe-se o surgimento de deformações tanto internas (formação de buracos em sua estrutura) como externas (aumento excessivo do tamanho da fatia do bolo).

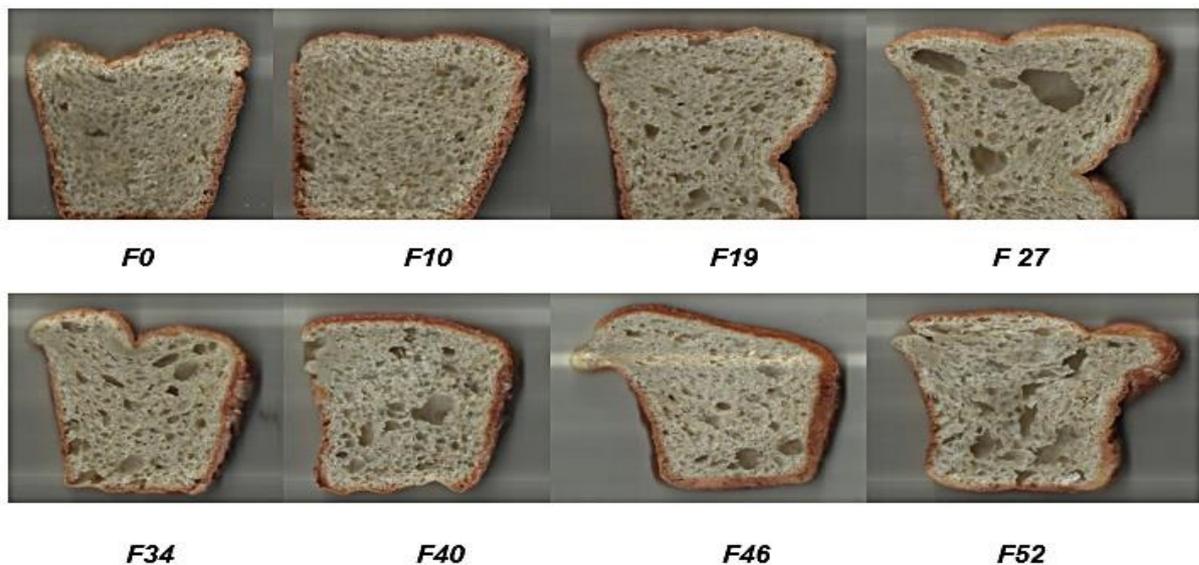
Sugere-se que houve uma expansão estrutural demasiada das fatias de bolo, conforme efetuou-se a substituição do açúcar pela solução de sucralose e goma xantana.

Tabela 6: Volume específico e contagem de células das fatias dos bolos com substituição parcial do açúcar por uma solução de sucralose e goma xantana

Formulações	Sucralose	
	Volume Especifico ( $\text{cm}^3/\text{g}^{-1}$ )	Contagem de células ( $\text{cel}/\text{cm}^2$ )
F0 (controle)	$1,18^{\text{cd}} \pm 0,39$	$110^{\text{c}} \pm 8,86$
F10	$1,07^{\text{d}} \pm 0,08$	$164^{\text{ab}} \pm 12,08$
F19	$1,23^{\text{cd}} \pm 0,02$	$179^{\text{ab}} \pm 2,94$
F27	$1,43^{\text{bcd}} \pm 0,03$	$184^{\text{ab}} \pm 21,98$
F34	$1,12^{\text{cd}} \pm 0,08$	$229^{\text{a}} \pm 8,37$
F40	$1,51^{\text{abc}} \pm 0,01$	$162^{\text{ab}} \pm 24,58$
F46	$1,79^{\text{ab}} \pm 0,00$	$242^{\text{a}} \pm 13,09$
F52	$1,90^{\text{a}} \pm 0,06$	$176^{\text{ab}} \pm 4,24$

Os resultados são apresentados como valores médios  $\pm$  desvio padrão. Valores seguidos por letras sobrescritas diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ) onde  $a > b > c > d$

Figura 10: Efeito da substituição do açúcar pela solução de sucralose e goma xantana na estrutura dos bolos preparados com glúten em pó



A mesma tendência foi observada com as formulações de bolo contendo a solução de acessulfame K e goma xantana (GAG), com valores de volume específico variando entre 1,07-2,13 cm<sup>3</sup>/g (tabela 07). As formulações F10 e F19 apresentaram valores iguais a amostra controle e as demais formulações foram superiores ao controle.

Na contagem de células os valores obtidos variaram de 219-342 cel/cm<sup>2</sup> (tabela 07), resultados esses superiores a F0, indicando também que houve uma expansão estrutural demasiada das fatias de bolo, conforme efetuou-se a substituição do açúcar pela solução de acessulfame K e goma xantana. Observando a figura 12, a partir da formulação F27, constata-se também o surgimento dessas deformações tanto internas (formação de buracos em sua estrutura) como externas (aumento excessivo do tamanho da fatia do bolo), semelhantes as formulações de BGS.

Tabela 7: Volume específico e contagem de células das fatias dos bolos com substituição parcial do açúcar por uma solução de acessulfame K e goma xantana

Formulação	Acessulfame K	
	Volume Específico (cm <sup>3</sup> /g <sup>-1</sup> )	Contagem de células (cel/cm <sup>2</sup> )
F0 (controle)	1,18 <sup>b</sup> ± 0,39	110 <sup>e</sup> ± 8,86
F10	1,07 <sup>b</sup> ± 0,01	219 <sup>cd</sup> ± 0,81
F19	1,23 <sup>b</sup> ± 0,07	220 <sup>cd</sup> ± 7,25
F27	1,93 <sup>a</sup> ± 0,03	245 <sup>c</sup> ± 4,76
F34	1,83 <sup>a</sup> ± 0,05	304 <sup>b</sup> ± 14,32
F40	1,95 <sup>a</sup> ± 0,03	318 <sup>ab</sup> ± 6,74
F46	2,09 <sup>a</sup> ± 0,02	342 <sup>a</sup> ± 13,78
F52	2,13 <sup>a</sup> ± 0,02	309 <sup>ab</sup> ± 5,65

Os resultados são apresentados como valores médios ± desvio padrão. Valores seguidos por letras sobrescritas diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes (P <0,05) onde a> b> c>d>e

Figura 11: Efeito da substituição do açúcar pela solução de acesulfame K e goma xantana na estrutura dos bolos preparados com glúten em pó



Donelson e Wilson (1960) atribuíram uma importância maior a proteína do que ao amido na formação estrutural dos bolos, desempenhando assim a proteína, um papel importante no processo de manufatura de bolos, uma vez que ela é responsável pela formação estrutural da massa (GOESAERT *et al.*, 2005). O amido exerce a função de agente selante, pois durante o aquecimento na presença de água os grânulos de amido incham, ocorrendo a gelatinização do amido, que mantém as células de ar presas a matriz proteica, impedindo seu escape e dando forma aos bolos que passam de uma emulsão para uma estrutura porosa (WILDERJANS *et al.*, 2010).

O complexo de glúten é composto por dois grupos de proteínas: Gliadina (não oferece resistência a extensão) e glutenina (dá a massa sua propriedade de resistência a extensão) (HOSENEY, 1994). Durante a mistura dos ingredientes elas absorvem água, sendo parcialmente desdobradas. Esse desdobramento parcial facilita as interações hidrofóbicas, resultando na formação de polímeros em forma de fio (rede de glúten) capaz de reter o gás originário da fermentação e do vapor da água produzido pelo aquecimento (FENNEMA, 2010) permitindo assim, a expansão da massa durante o forneamento (DONELSON; WILSON, 1960).

Na elaboração de bolos, segundo Donelson e Wilson (1960), o pleno desenvolvimento do glúten não é necessário, pois esse atua mais como um agente de ligação em vez de elemento estrutural, como nos pães, isso deve-se as altas proporções do açúcar na formulação de bolos, que restringe sua expansão, pois o açúcar compete com as proteínas do glúten pela água do sistema impedindo a completa hidratação dessas proteínas durante a mistura e limitando o desenvolvimento da rede do glúten nos bolos.

Mesmo com o seu desenvolvimento limitado, isso não implica que o glúten é funcionalmente inerte, especialmente durante o forneamento, onde as interações proteicas podem-se tornar importantes para o desenvolvimento dos bolos (WILDERJANS *et al.*, 2008).

As proteínas do ovo possuem a propriedade de produzir espuma, que é uma dispersão de células de ar dentro de uma fase continua líquida ou sólida. Uma das propriedades mais importantes conferidas a espuma consiste na estabilidade das células de ar incorporadas durante a mistura dos ingredientes da massa (SCHIRMER; ARENDT; BECKER, 2012).

As proteínas funcionam como surfactantes por adsorção da interface ar/água recém formados durante a constituição das células de ar. Isso reduz a tensão da adsorção interfacial, o que promove a formação das células. As interações proteína-proteína podem resultar na formação da rede que promove a estabilidade das células incorporadas durante a mistura. (DAVIS; FOEGEDING, 2007). O açúcar contribui para a funcionalidade das propriedades de espuma, melhorando a sua estabilidade principalmente pela capacidade de elevar a viscosidade da solução.

Portanto, a proporção correta do açúcar na formulação propicia o desenvolvimento desejado do glúten e a formação de espuma, permitindo que os gases permaneçam estabilizados dentro da matriz proteica da massa, ocorrendo assim a sua expansão e conferindo ao produto volume e textura desejados (WILDERJANS *et al.*, 2008; WILDERJANS *et al.*, 2010; SCHIRMER; ARENDT; BECKER, 2012).

Ao que parece, a solução dos adoçantes (sucralose/ acessulfame K) e goma xantana não apresentaram a mesma capacidade conferida ao açúcar de competir pela água do sistema, dessa forma aconteceu uma hidratação maior das proteínas do glúten, pois mais água estava disponível, ocasionando seu desenvolvimento demasiado e resultando no aumento do volume específico de bolos, onde o açúcar foi substituído pelos adoçantes e goma xantana.

Uma possível diminuição na estabilidade das espumas provocada pela redução do açúcar pode ter proporcionado a instabilidade das células de ar, nessas condições as células de ar incorporadas tendem a escapar para a superfície e coalescem, originando os buracos observados na estrutura das fatias de bolo.

As proteínas assim como o amido apresentam funções complementares no desenvolvimento dos bolos. O açúcar presente na formulação exerce papel fundamental controlando o comportamento desses durante o forneamento, portanto a redução do açúcar, afeta negativamente o comportamento das proteínas e da gelatinização do amido, acarretando em prejuízos na estrutura dos bolos (FRYE; SETSER, 1991).

Dessa forma, os efeitos da redução do açúcar nos sistemas de bolos não atingem apenas a gelatinização do amido, como também as proteínas, com isso, o amido não é o único a contribuir com as deformações apresentadas nos bolos com reduzido teor calórico.

Segundo os resultados apresentados na tabela 6 e 7, notou-se que as formulações dos bolos GAG exibiram valores superiores nos dois parâmetros avaliados, ou seja, os efeitos negativos mais pronunciados (desenvolvimento demasiado da rede de glúten, resultando na expansão acentuada da fatia e a formação de buracos), fazendo com que as proteínas também contribuam com a deformação apresentada nos bolos com reduzido teor calórico.

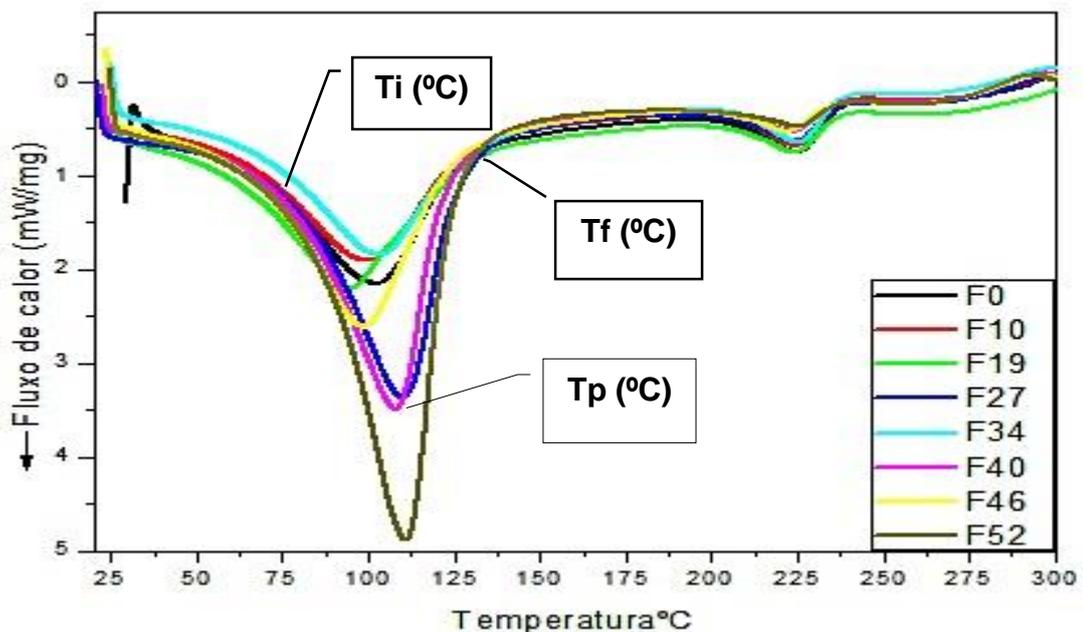
Verificou-se também que as formulações F10 e F19 nos bolos GSG e GAG, exibiram os valores mais próximos a F0 com exceção do parâmetro contagem de células do bolo GAG que apresentou maior divergência com relação a F0, embora visualmente essa diferença não foi perceptível. Propõe-se então que nesses níveis de substituição do açúcar a estrutura dos bolos não é prejudicada, pois as proteínas não

têm sua função afetada e com isso não contribui para o surgimento das deformações estruturais apresentadas.

## 5.2- Resultado da determinação das propriedades térmicas de gelatinização do amido dos bolos tipo esponja

A figura 13 exibe o termograma com as curvas de fluxo de calor das massas dos bolos com substituição parcial do açúcar por uma solução de sucralose e goma xantana (TSG), é possível visualizar o efeito do uso dessa solução sobre a  $T_o$ ,  $T_p$  e  $T_f$  de gelatinização do amido ao passo que efetuava-se a substituição crescente do açúcar.

Figura 12: Faixa de temperatura de gelatinização do amido das massas de bolo com substituição parcial do açúcar por uma solução de sucralose e goma xantana



Os resultados obtidos para Temperatura inicial ( $T_o$ ), Temperatura de pico ( $T_p$ ) e Temperatura final ( $T_f$ ) de gelatinização do amido das massas de bolo TSG (tabela 09), diferiram significativamente entre si, para valores de  $T_o$  (60,6-88,5°C) e  $T_p$  (105,6-110,1°C), sendo superiores a F0 (controle) com exceção das formulações F10 e F19 para  $T_o$  e  $T_p$ . Os valores de  $T_f$  (127,2-124°C) foram inferiores a F0, onde F34 não diferiu significativamente de F52, excetuando F10 e F19.

Com relação aos valores de entalpia ( $\Delta H$ ) e diferença de temperatura ( $\Delta T$ ) de gelatinização (tabela 09) diferiram significativamente entre si em relação F0. Para a  $\Delta H$ , no qual variaram de 129-747,8 j/g, com exceção das formulações F10, F19 e F27. Já os valores de  $\Delta T$ , que variaram de 66,4-35,3°C, foram inferiores a F0 onde F27 não diferiu de F34. As formulações F10 e F19, obtiveram resultados superiores a F0.

Observou-se que os valores de  $T_o$  e  $T_p$  elevaram-se ao passo que o açúcar foi substituído pela solução de sucralose e goma xantana, ocorrendo o inverso com a  $T_f$  de gelatinização, com exceção das formulações F10 e F19. Verificou-se uma correlação inversamente proporcional entre a  $\Delta H$  e  $\Delta T$  de gelatinização, conforme efetuou-se a substituição do açúcar pela solução de sucralose e goma xantana. Os resultados de  $\Delta H$  elevaram-se, ao passo que ocorreu um decréscimo dos valores de  $\Delta T$ .

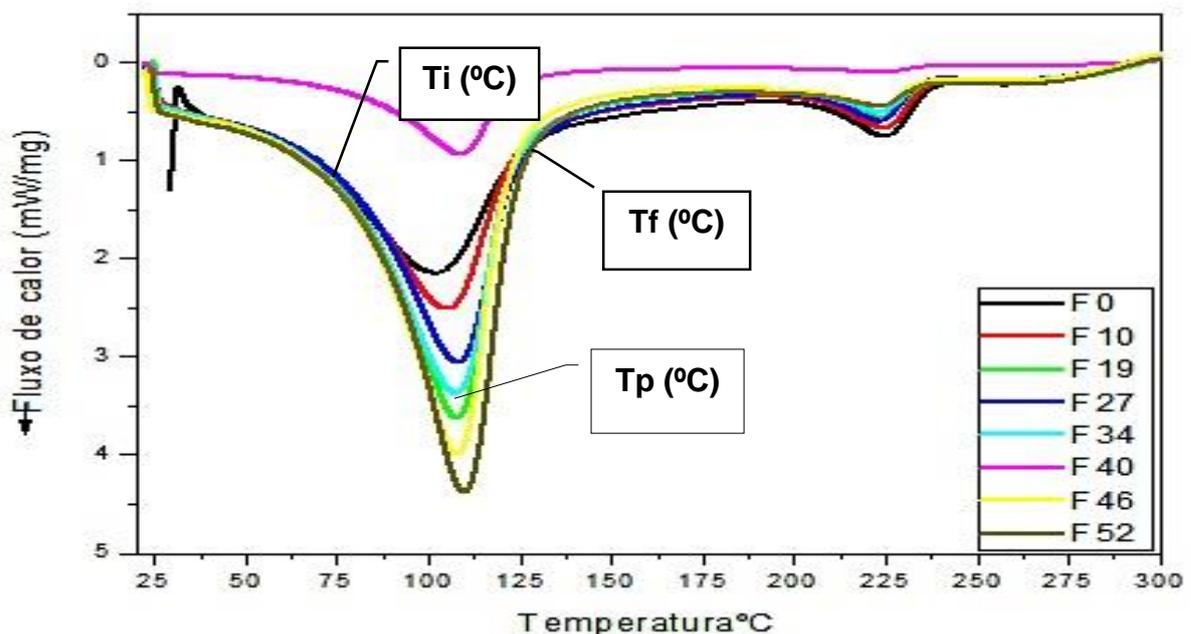
Tabela 8: Temperaturas iniciais (To) de pico (Tp) e final (Tf), entalpias ( $\Delta H$ ) e  $\Delta T$  (Tf-To) de gelatinização das massas dos bolos tipo esponja com substituição parcial do açúcar por uma solução de sucralose e goma xantana

<b>SUCRALOSE</b>					
Formulação	To (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	$\Delta T$ (Tf-To) (°C)	$\Delta H$ (J/g)
F0 (controle)	63,6 <sup>f</sup> ± 0,21	101,7 <sup>e</sup> ± 0,14	126,8 <sup>c</sup> ± 0,08	63,2 <sup>c</sup> ± 0,20	180 <sup>e</sup> ± 0,70
F10	60,6 <sup>g</sup> ± 0,14	99,3 <sup>f</sup> ± 0,18	127,2 <sup>b</sup> ± 0,07	66,4 <sup>b</sup> ± 0,26	138 <sup>g</sup> ± 1,00
F19	57,3 <sup>h</sup> ± 0,11	94,3 <sup>h</sup> ± 0,15	128,9 <sup>a</sup> ± 0,14	71,3 <sup>a</sup> ± 0,20	129 <sup>h</sup> ± 1,08
F27	76,2 <sup>c</sup> ± 0,12	109,8 <sup>b</sup> ± 0,18	126,4 <sup>c</sup> ± 0,14	50,3 <sup>d</sup> ± 0,1	177 <sup>f</sup> ± 0,70
F34	74,3 <sup>d</sup> ± 0,11	102,9 <sup>d</sup> ± 0,11	124,7 <sup>d</sup> ± 0,18	50,4 <sup>d</sup> ± 0,30	298,7 <sup>d</sup> ± 0,11
F40	82,2 <sup>b</sup> ± 0,11	107,8 <sup>c</sup> ± 0,25	121,1 <sup>f</sup> ± 0,07	38,7 <sup>f</sup> ± 0,2	505,1 <sup>b</sup> ± 0,07
F46	73,4 <sup>e</sup> ± 0,22	98,7 <sup>g</sup> ± 0,12	123 <sup>e</sup> ± 0,07	49,4 <sup>e</sup> ± 0,20	410,9 <sup>c</sup> ± 0,12
F52	88,5 <sup>a</sup> ± 0,14	110,5 <sup>a</sup> ± 0,18	124 <sup>d</sup> ± 0,07	35,3 <sup>g</sup> ± 0,2	747,8 <sup>a</sup> ± 0,15

Os resultados são apresentados como valores médios ± desvio padrão. Valores seguidos por letras sobrescritas diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes (P <0,05) onde a> b> c> d> e> f>g

A figura 14 exibe o termograma com as curvas de fluxo de calor das massas dos bolos com substituição parcial do açúcar por uma solução de acessulfame K e goma xantana (TSA), onde é possível visualizar o efeito do uso dessa solução sobre a  $T_o$ ,  $T_p$  e  $T_f$  de gelatinização do amido ao passo que efetuava-se a substituição crescente do açúcar.

Figura 13: Faixa de temperatura de gelatinização do amido das massas de bolo com substituição parcial do açúcar por uma solução de acessulfame K e goma xantana



Os valores de Temperatura inicial ( $T_o$ ), Temperatura de pico ( $T_p$ ) e Temperatura final ( $T_f$ ) de gelatinização do amido nas massas dos bolos TAG (Tabela 10), seguiram padrão semelhante ao observado nas massas dos bolos TSG. Com valores de  $T_o$  e  $T_p$  superiores e estatisticamente diferentes de F0 (controle). Para  $T_o$  variando entre 74,2-85,6°C diferindo significativamente entre si, com exceção das formulações F40 e F52 que não apresentaram diferença significativa entre si, e  $T_p$  variou entre 105,6-110,1°C, diferindo significativamente entre si excetuando as formulações F19, F27, F34 e F46 que não diferiram significativamente entre si.

Os valores de  $T_f$ , foram inferiores a F0 com exceção de F10 que não diferiu significativamente entre si. Para  $T_f$  os valores variaram de 126,7-121,5°C, diferindo significativamente entre si, exceto nas formulações F19, F34 e F46 que não diferiram significativamente entre si.

Quanto aos valores de entalpia ( $\Delta H$ ) e diferença de temperatura ( $\Delta T$ ) de gelatinização (tabela 10) diferiram significativamente entre si, com valores de  $\Delta H$  (185,7- 698,3 j/g) superiores a F0, excetuando a formulação F40. Em relação a  $\Delta T$ , os resultados diferiram significativamente entre si com exceção das formulações F27 e F34 que não foram estatisticamente diferentes. Os valores de  $\Delta T$  variam entre 49,3-38,4°C e inferiores a controle.

Observou-se também, que assim como nas massas de bolo com substituição do açúcar por sucralose e goma xantana, ao passo que se substituiu o açúcar pela solução de acessulfame K e goma xantana na formulação, as  $T_o$  e  $T_p$  se elevaram, ocorrendo o inverso com as  $T_f$  de gelatinização. Bem como a correlação inversamente proporcional entre a  $\Delta H$  e  $\Delta T$  de gelatinização, onde conforme efetuou-se a substituição do açúcar pela solução de acessulfame K e goma xantana, os valores de  $\Delta H$  aumentaram e ocorreu um decréscimo dos valores de  $\Delta T$ .

Tabela 9: Temperaturas iniciais (To) de pico (Tp) e final (Tf), entalpias ( $\Delta H$ ) e  $\Delta T$  (Tf-To) de gelatinização da massa do bolo tipo esponja com substituição parcial do açúcar por uma solução de acessulfame K e goma xantana

<b>ACESSULFAME K</b>					
Formulação	To (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	$\Delta T$ (Tf-To) (°C)	$\Delta H$ (J/g)
F0 (controle)	63,6 <sup>g</sup> ± 0,21	101,7 <sup>e</sup> ± 0,14	126,8 <sup>a</sup> ± 0,08	63,2 <sup>a</sup> ± 0,20	180 <sup>g</sup> ± 0,70
F10	74,2 <sup>f</sup> ± 0,16	105,6 <sup>d</sup> ± 0,18	126,7 <sup>a</sup> ± 0,20	49,3 <sup>b</sup> ± 0,20	430,3 <sup>f</sup> ± 0,20
F19	80,8 <sup>c</sup> ± 0,12	107,8 <sup>c</sup> ± 0,15	121,5 <sup>d</sup> ± 0,30	40,4 <sup>d</sup> ± 0,25	578,5 <sup>c</sup> ± 0,30
F27	79,8 <sup>d</sup> ± 0,07	107,9 <sup>c</sup> ± 0,07	123,4 <sup>b</sup> ± 0,15	43,5 <sup>c</sup> ± 0,30	495 <sup>e</sup> ± 0,15
F34	78,7 <sup>e</sup> ± 0,14	107,4 <sup>c</sup> ± 0,10	121,8 <sup>d</sup> ± 0,15	43,3 <sup>c</sup> ± 0,2	572,5 <sup>d</sup> ± 0,10
F40	85,3 <sup>a</sup> ± 0,15	108,5 <sup>b</sup> ± 0,22	122,4 <sup>c</sup> ± 0,20	37,3 <sup>f</sup> ± 0,2	185,7 <sup>g</sup> ± 0,15
F46	83,3 <sup>b</sup> ± 0,14	108 <sup>b</sup> <sup>c</sup> ± 0,18	121,6 <sup>d</sup> ± 0,20	38,3 <sup>e</sup> ± 0,2	630,3 <sup>b</sup> ± 0,15
F52	85,6 <sup>a</sup> ± 0,14	110,1 <sup>a</sup> ± 0,18	123,9 <sup>b</sup> ± 0,15	38,4 <sup>e</sup> ± 0,2	698,3 <sup>a</sup> ± 0,30

Os resultados são apresentados como valores médios ± desvio padrão. Valores seguidos por letras sobrescritas diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes (P <0,05) onde a> b> c> d> e> f> g

Em estudo realizado por Kim e Walker (1992), foi constatado que o açúcar apresentou a capacidade de elevar as temperaturas de gelatinização ( $T_0$ ,  $T_p$  e  $T_f$ ) do amido. Eles observaram que o açúcar possuiu a habilidade de retardar a gelatinização do amido, atribuindo isso ao fato do açúcar ligar-se a água do sistema, formando pontes de hidrogênio entre as cadeias de amido exercendo um efeito antiplastificante em relação a água, ou seja, o açúcar compete com o amido pela água do sistema.

Em bolos esse efeito é desejado, pois durante o forneamento da massa, o retardo nas temperaturas de gelatinização permite que as células de ar provenientes da fermentação química e do vapor produzido durante o aquecimento expandam adequadamente, dando ao bolo volume e textura desejados (MARTINEZ-CEVERA *et al.*, 2012).

Eliasson (1992) em seus estudos sobre o efeito do açúcar na gelatinização do amido, relatou que a presença do açúcar afeta a  $\Delta H$  de gelatinização, verificando-se um incremento no seu valor, bem como um decréscimo nos valores referentes a  $\Delta T$  de gelatinização, ele sugeriu que os baixos resultados de  $\Delta T$  encontrados indicam atraso no início da gelatinização do amido em decorrência da presença do açúcar.

De acordo com os resultados apresentados nas tabelas 10 e 11, assim como o açúcar os adoçantes também apresentaram a capacidade de elevar a temperatura de gelatinização do amido, no entanto a patamares superiores quando comparados a F0, o que ocasionou uma elevação nos valores de  $\Delta H$  ao passo que decresceu os valores de  $\Delta T$ . Sugeriu-se que as soluções dos adoçantes e goma xantana usados como substituto do açúcar nas formulações de bolo, promoveram um atraso na gelatinização do amido superior ao exibido pelo açúcar na formulação controle (F0).

As figuras 15 e 16 mostram o efeito da substituição crescente do açúcar pelas soluções dos adoçantes e goma xantana nas formulações de bolo. Onde é possível visualizar a partir da formulação F27 o surgimento de problemas estruturais internos como aparecimento de buracos circundados por zonas mais escuras e conforme o nível de substituição do açúcar foi elevado essas zonas mais escuras sobressaíram as zonas mais claras, chegando a atingir a totalidade da fatia do bolo formando uma estrutura compactada de cor escura, diferente da estrutura porosa e clara característica dos bolos tipo esponja.

Figura 14: Efeito da substituição do açúcar pela solução de sucralose e goma xantana na estrutura dos bolos

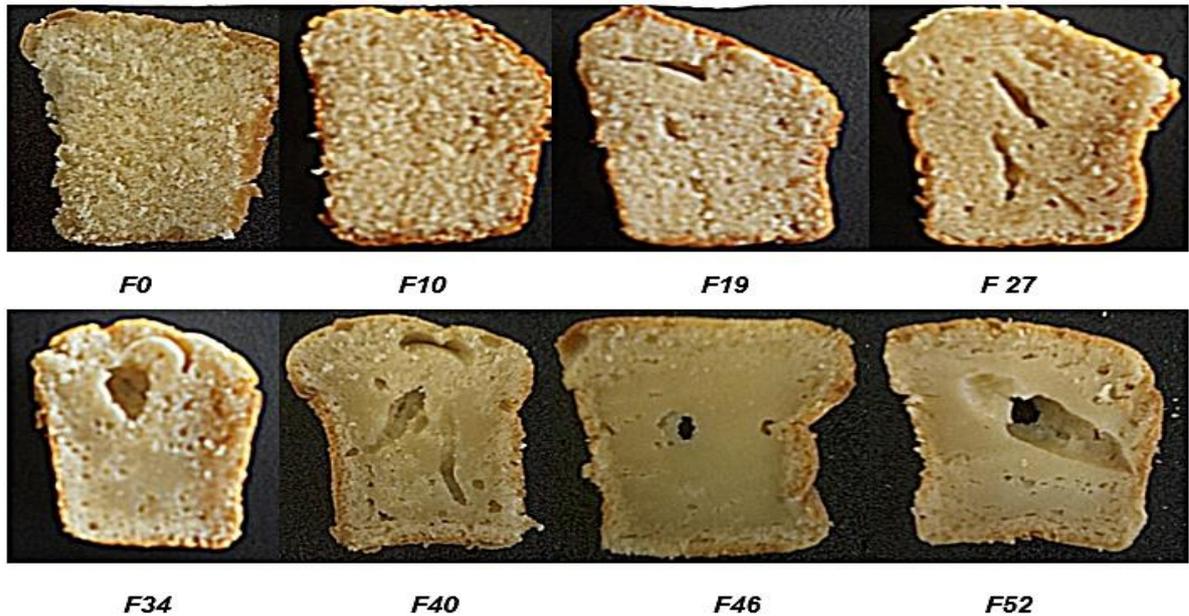
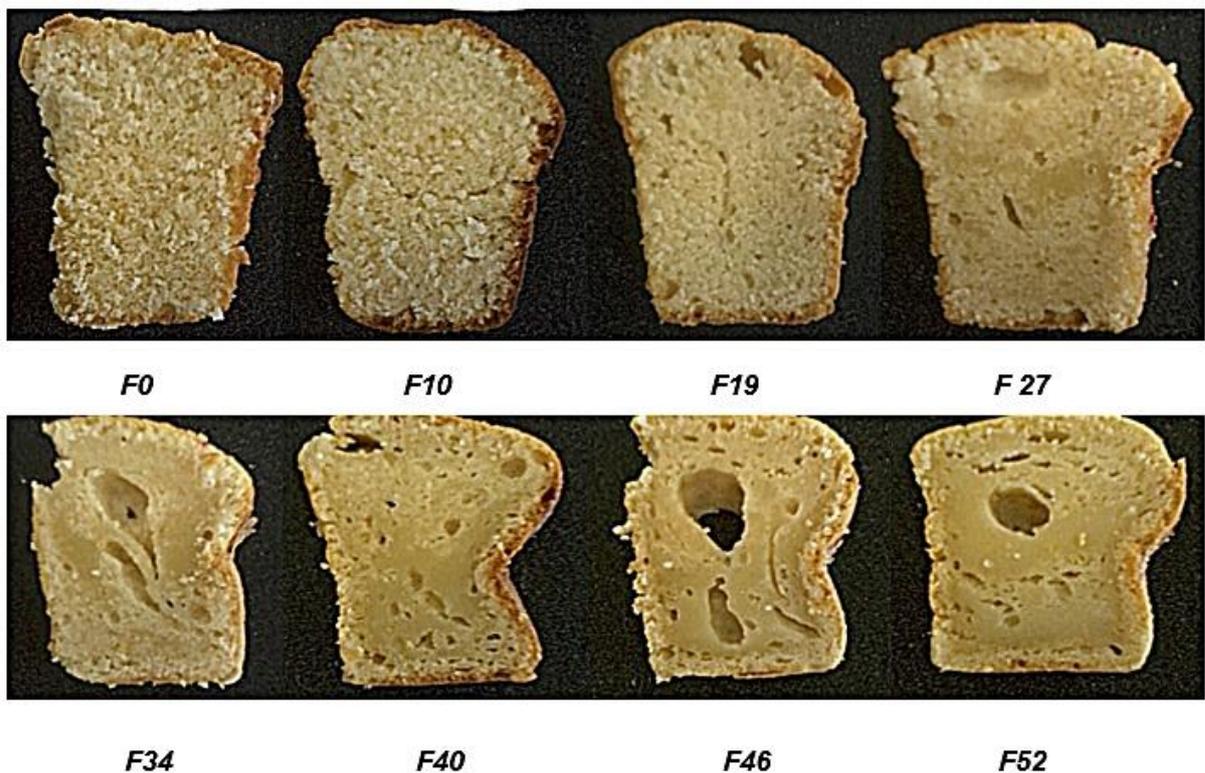


Figura 15: Efeito da substituição do açúcar pela solução de acesulfame K e goma xantana na estrutura dos bolos



A substituição crescente do açúcar pelas soluções dos adoçantes e goma xantana em questão, parece influenciar negativamente o início da gelatinização do amido das formulações de bolo, acarretando nas deformações apresentadas. A

gelatinização do amido é um fenômeno importante em produtos assados ou cozidos em fornos, melhorando a textura final desses produtos (SUMNU; NDIFE; BAYINDIRLI, 1999).

A  $\Delta T$  obtida pela diferença entre a temperatura final e a inicial, representa também a faixa de gelatinização do amido Kim e Walker (1992). Os baixos valores obtidos nas formulações de bolo com substituição do açúcar pelas soluções dos adoçantes e goma xantana em questão indicaram além do atraso no início da gelatinização a ocorrência do estreitamento dessa faixa de gelatinização conforme o açúcar foi substituído.

De acordo com a literatura (Cavalcante (2012); Hosney (1982); Miller e Trimbo (1965); Spies, Kim e Walker (1992); Hosney (1994)), vários solutos podem interagir com o amido para reduzir sua faixa de temperatura de gelatinização, indicando que houve deficiência na gelatinização do amido, reduzindo o grau de gelatinização do amido nesses bolos, fato esse confirmado pela medição desse parâmetro nas zonas escuras observadas nas formulações de bolo com reduzido teor calórico (figura 14 e 15, pag. 51).

Nos bolos TSG, embora algumas formulações sejam estatisticamente iguais, verificou-se um decréscimo no grau de gelatinização (GG), conforme efetuou-se a substituição do açúcar com valores variando entre 47,9-35,5% (tabela 11), inferiores a F0 com exceção de F19. Nos bolos TAG, os valores de GG seguiram a mesma tendência variando entre 47,2-32,7% (tabela 11), inferiores a F0 excetuando F10.

Tabela 10: Grau de gelatinização do amido na zona escura da fatia dos bolos com substituição do açúcar pelas soluções de sucralose/acesulfame K e goma xantana

Formulação	Grau de gelatinização (%)	
	Sucralose	Acesulfame K
F0 (controle)	49,8 <sup>a</sup> ± 0,60	49,8 <sup>a</sup> ± 0,60
F10	42,7 <sup>c</sup> ± 0,14	47,2 <sup>a</sup> ± 3,18
F19	47,9 <sup>ab</sup> ± 2,50	37,1 <sup>bcd</sup> ± 0,39
F27	36,6 <sup>d</sup> ± 0,07	36,64 <sup>bcd</sup> ± 0,00
F34	37,1 <sup>cd</sup> ± 0,11	38,6 <sup>bc</sup> ± 0,40
F40	44,9 <sup>b</sup> ± 2,62	34,2 <sup>cd</sup> ± 0,00
F46	37,05 <sup>cd</sup> ± 2,02	40,1 <sup>b</sup> ± 1,25
F52	35,5 <sup>d</sup> ± 0,48	32,7 <sup>d</sup> ± 0,45

Os resultados são apresentados como valores médios ± desvio padrão. Valores seguidos por letras sobresscritas diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes (P <0,05) onde a > b > c > d

Os valores referentes a medição do grau de gelatinização nas zonas distintas dos bolos (zona clara e escura), apresentadas em decorrência da substituição do açúcar, reafirma que houve deficiência no processo de gelatinização do amido, pois as zonas escuras, em ambas formulações de bolo contendo os adoçantes estudados e goma xantana, obtiveram um menor grau de gelatinização em relação as zonas claras (tabela 12), e como observado nas figuras 14 e 15, essas zonas escuras se sobressaíram as zonas claras, tomando a totalidade da fatia, portanto, a substituição crescente do açúcar pelos adoçantes selecionados provoca o decréscimo na porcentagem do amido gelatinizado.

Tabela 11: Comparação entre os graus de gelatinização das zonas escuras e claras da fatia de bolo com substituição do açúcar pelas soluções de sucralose/acesulfame K e goma xantana

Formulação	Grau de gelatinização (%)			
	Sucralose		Acesulfame K	
	ZC	ZE	ZC	ZE
F27	51,03 <sup>a</sup> ± 0,13	43,5 <sup>b</sup> ± 0,19	49,6 <sup>a</sup> ± 0,36	40,8 <sup>b</sup> ± 0,04

Os resultados são apresentados como valores médios ± desvio padrão. Valores seguidos por letras sobrescritas diferentes na coluna adjacente são significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ) onde  $a > b$

Segundo Fennema (2010), o grau de gelatinização do amido, no interior do sistema alimentício, é função da quantidade de água e da extensão do tratamento térmico. Em alguns produtos de panificação, o amido pode permanecer não gelatinizado, mesmo quando aquecido a altas temperaturas. Em biscoitos ricos em gordura e de baixo conteúdo de umidade, cerca de 90% dos grânulos de amido permanecem não gelatinizados. Em pães e bolos, os quais apresentam alto conteúdo de umidade, cerca de 96% dos grânulos são gelatinizados.

O desenvolvimento estrutural dos bolos depende do tipo de agente de retenção de água no sistema, o qual regula os processos coloidais durante o assamento. A gelatinização do amido começa a uma temperatura crítica mínima e procede apenas na presença de umidade suficiente. Tal função é atribuída a capacidade de retenção de água pelo açúcar no sistema. Essa capacidade advém da formação de pontes de hidrogênio entre os grupos hidroxilas e/ou o átomo de oxigênio do anel e o oxigênio que liga um anel do açúcar a outro e as moléculas de água (FENNEMA, 2010).

Dessa forma, o açúcar compete pelas moléculas de água, diminuindo a atividade dessa no sistema, estabilizando os grânulos de amido pela interação do açúcar com as cadeias de amido (SUMNU; NDIFE; BAYINDIRLI, 1999).

Segundo Gaonkar e Mcpherson (2005), todos os adoçantes têm a capacidade de influenciar o ponto de gelatinização do amido, elevando a temperatura de gelatinização, esse fato é atribuído à competição dos adoçantes pela água presente, já que os mesmos possuem afinidade maior que o amido e conseqüentemente, há

menos água disponível para hidratar e gelatinizar o amido, alterando o ponto de gelatinização. Em produtos de panificação como bolos, podem ser negativamente afetados com redução do volume e estabilidade dos mesmos.

Íons individuais e grupos iônicos de moléculas parecem influenciar a estrutura molecular da água de forma mais intensa que outros solutos, como por exemplo mudar a capacidade de hidratação (competem pela água), isso acontece porque as forças das ligações eletrostáticas água-íon são maiores que as forças das ligações por pontes de hidrogênio tipo água-água (FENNEMA, 2010).

A sucralose é um adoçante artificial sintetizado a partir do açúcar, onde três grupos hidroxilas foram igualmente substituídos por três íons de cloro. O acessulfame K é um sal de potássio, portanto, os dois adoçantes escolhidos para substituir o açúcar apresentam em sua composição íons monovalentes. Parece que durante o forneamento esses íons presentes nos adoçantes escolhidos competem com o amido pela água livre do sistema.

Os adoçantes ligam-se aos íons de hidrogênio para se estabilizarem no sistema, formando ligações eletrostáticas do tipo íon-água ao invés de formar pontes de hidrogênio, como o açúcar, portanto reduzem a disponibilidade de água a um nível superior ao apresentado pelo açúcar, restando pouca água para o amido gelatinizar, já que esse não possui a mesma propensão de competir pela água expressada pelos adoçantes, elevando a temperatura de gelatinização do amido a patamares superiores a formulação controle.

Os valores de  $\Delta H$ , que referem-se à quantidade de energia gasta para completar o processo endotérmico de gelatinização do amido Eliasson (1997), confirmaram que a substituição crescente do açúcar pelos adoçantes selecionados e goma xantana necessitaram de uma maior quantidade de energia para completar o processo de gelatinização do amido, pois apresentaram valores superiores de temperatura inicial e temperatura de pico e  $\Delta H$  em relação a formulação controle (tabelas 11 e 12). De acordo com (XUE; NGADI, 2009), quanto mais alta for a temperatura de gelatinização, maior será a quantidade de energia necessária para garantir o desenvolvimento estrutural dos bolos.

Como citado anteriormente, os valores de  $\Delta H$  foram inversamente proporcionais aos de  $\Delta T$ , ou seja, quanto mais energia foi preciso para gelatinizar o amido, menor foi a quantidade de amido gelatinizado ao final do processo, fato esse confirmado pela medida do grau de gelatinização, reforçando a hipótese de que a quantidade de água disponível no sistema para efetuar o processo de gelatinização durante o forneamento das massas de bolos foi afetada negativamente.

A elevação na entalpia de gelatinização do amido foi associado por Psimouli e Oreopoulou (2012) ao enrijecimento da estrutura da massa, suprimindo o desenvolvimento das células de ar, que aumentaram a pressão de vapor interna e ocasionam a coalescência das células limitando a expansão da massa dos bolos.

Quanto as zonas escuras apresentadas em partes distintas das fatias dos bolos com substituição crescente do açúcar pelos adoçantes sucralose/acessulfame K em associação com a goma xantana (figura 15 e 16), parecem ser ocasionadas pelo acúmulo de produtos da reação de *maillard*.

A reação de *maillard* ou reação de escurecimento não enzimático ocorre entre um açúcar redutor e um grupo amina primário (um aminoácido livre ou grupo aminoacídico de cadeia lateral de uma molécula de proteína) formando compostos intermediários como hidroximetilfurfural (HMF), furfural e outros, esses reagem com compostos que contêm grupos amina e se polimerizam, originando pigmentos escuros, insolúveis que contêm nitrogênio chamado de melanoidinas, que são pigmentos marrons desejáveis em alguns produtos alimentícios (FENNEMA, 2010).

O desenvolvimento desse escurecimento em produtos de panificação, como bolos, que apresentam em sua composição quantidades consideráveis de açúcares e proteínas advindos dos seus ingredientes base, açúcar, farinha, leite e ovos, é favorecido e controlado pelas altas temperaturas de forneamento e baixa atividade de água, formando compostos responsáveis pela cor, principalmente o HMF e as melanoidinas (PURLIZ, 2010; ZHANG *et al.*, 2012).

A crosta, por estar em contato direto com o meio de aquecimento e apresentar conteúdo de água relativamente mais baixo que o interior da massa acumula compostos da reação de escurecimento responsáveis pela coloração marrom, que é uma característica maior em relação ao miolo do produto (RAMIREZ-JIMÉNEZ; GERRA-HERNÁNDEZ; GARCIA-VILLANOVA, 2000).

Com a elevação demasiada da temperatura e, conseqüentemente, o retardo maior da gelatinização do amido apresentado nas massas de bolo, parece que houve uma desnaturação proteica maior, liberando uma quantidade maior de aminoácidos livres, sugerindo que esses reagiram com os açúcares redutores simples presentes em ingredientes da formulação, ocasionando na reação de *maillard* mais pronunciada no interior dos bolos.

Que parece ter sido favorecida também no interior dos bolos pela redução da disponibilidade de água, já que o escurecimento foi identificado nas zonas onde o amido não sofreu completa gelatinização, possivelmente, devido a competição dos adoçantes pela água do sistema, assim associado as altas temperaturas de forneamento, ocorreu um acúmulo dos compostos da reação de *maillard* como HMF e melanoidinas, compostos esses responsáveis pela cor marrom escura da crosta, resultando na coloração mais escura obtida no interior desses bolos.

De acordo com os resultados expostos nas tabelas 09 e 10, é possível observar que os bolos TAG apresentaram valores superiores de  $T_o$  e  $T_p$  e entalpias de gelatinização do amido e valores inferiores de  $T_f$  e  $\Delta T$  de gelatinização do amido em relação as formulações das massas dos bolos TSG.

Embora os valores do grau de gelatinização GG (tabela 11), tenham-se mostrado semelhantes, os valores para o GG das zonas distintas da fatia dos bolos (tabela 12) apontam para um menor grau de gelatinização do amido nos bolos TGA, ainda que visualmente observando as figuras 15 e 16 essa diferença não seja perceptível.

Acredita-se que, o acessulfame K demonstrou uma habilidade superior a sucralose em competir pela água do sistema, limitando ainda mais a gelatinização do amido, produzindo as deformações citadas anteriormente.

Atribuiu-se esse fato a estrutura química dos adoçantes, pois mesmo possuindo íons de cloro em sua estrutura química, a sucralose ainda apresenta certa semelhança a estrutura molecular do açúcar, tendo em vista, que essa foi sintetizada a partir do açúcar (MEZITIS et al., 1996). Embora apresentando resultados insatisfatórios, quando comparados a formulação controle, as formulações de bolo contendo a sucralose e goma xantana como substituto do açúcar ainda são considerados melhores que os apresentados pelas formulações com acessulfame K e goma xantana.

Isso pode ser justificado pelo fato do acessulfame K ser um sal, que segundo (MILLER; WISTLER, 2009) os sais apresentam a capacidade maior de elevar a temperatura de gelatinização do amido em relação a outros solutos, no que se refere aos efeitos sobre as proteínas (armação estrutural) e a gelatinização do amido.

Verificou-se que as formulações F10 e F19 dos bolos TSG exibiram os valores mais próximos a F0, portanto a esses níveis de substituição do açúcar a estrutura dos bolos não é prejudicada. Embora as formulações F10 e F19 dos bolos TAG, tenham apresentado valores distintos de F0, visualmente (figura 16) não é perceptível os efeitos da substituição, apresentando estrutura semelhante a controle.

Mizukoshi, Maeda e Amano (1980) reportaram que a formação da estrutura dos bolos durante o forneamento está relacionada com o incremento da viscosidade proporcionada pelos efeitos combinados da gelatinização do amido e da desnaturação das proteínas. WILDERJANS et al. (2010) reafirmaram essa hipótese para bolos do tipo pound cake, já que tanto a formação contínua de uma rede de proteína como a de um gel de amido proporcionam uma estrutura estável de volume desejado.

O desenvolvimento estrutural dos bolos acontece da seguinte forma, durante o aquecimento a viscosidade da massa diminui, permitindo a expansão das células de ar, as proteínas se desnaturam, formando o arranjo estrutural que retém as células de ar no interior da massa, quando o amido gelatiniza as células de ar são aprisionadas a matriz proteica, impedindo seu escape, dando forma aos bolos que passa de uma emulsão para uma estrutura porosa característica. Todos esses fenômenos acontecem praticamente na mesma faixa de temperatura e são controlados pelo

açúcar (GOESAERT et al., 2005; MIZUKOSHI; MAEDA; AMANO, 1980; WILDERJANS et al., 2010).

Ronda et al. (2005) afirmaram que a redução do açúcar em formulações de bolos causa prejuízos prontamente detectáveis na sua estrutura, isso vem sendo atribuído a duas causas principais: Perda de estabilidade da massa durante a fase de aquecimento devido a redução da viscosidade e mudanças relacionadas a interação entre o agente de volume e o amido e proteínas da massa que afetam as temperaturas de gelatinização do amido e desnaturação proteica.

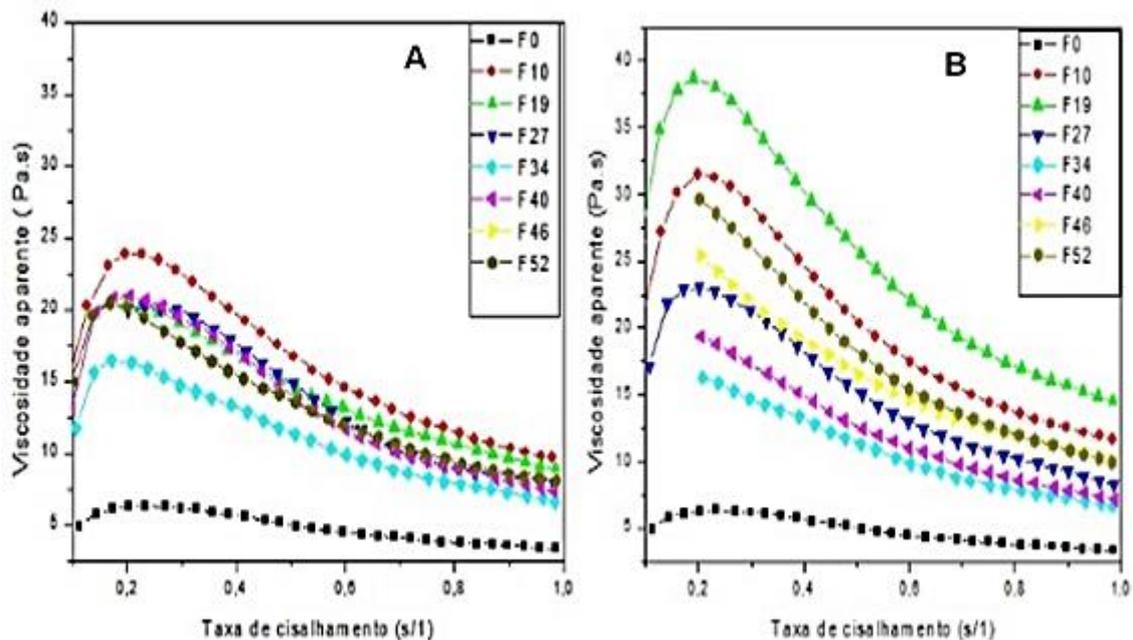
Foi verificado que o uso das soluções dos adoçantes (sucralose/ acessulfame K) e goma xantana como substituto do açúcar nas formulações dos bolos estudadas interferiu no mecanismo de ação das proteínas e da gelatinização do amido, fenômenos importantes no processo de formação dos bolos. Porém o conhecimento do efeito da substituição do açúcar pelas soluções dos adoçantes escolhidos e goma xantana, sobre propriedades reológicas no que refere-se a viscosidade das massas, também se faz necessário, pois a mesma está correlacionada com o volume desejado dos bolos.

#### **5.2.4-Resultado da viscosidade aparente das massas de bolos tipo esponja**

A figura 16 traz os reogramas com as curvas da viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento das formulações de massa dos bolos com substituição do açúcar pela solução de sucralose e goma xantana (A) e a solução de acessulfame K (B), para fins comparativos com a formulação controle (F0).

Observa-se que todas as amostras, incluindo a controle F0, apresentaram um comportamento pseudoplástico, ou seja, a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da taxa de cisalhamento. Os valores obtidos com o índice de fluxo, que variaram de 0,48-0,27 (massa dos bolos com substituição parcial do açúcar por sucralose e goma xantana (TSG)) (tabela 17) e 0,48-0,25 (massa dos bolos com substituição parcial do açúcar por sucralose e goma xantana (TAG)) (tabela 17), confirmaram esse comportamento das amostras de massas de bolo contendo os respectivos adoçantes e goma xantana, de acordo com o valor de  $n$  (índice de fluxo), onde  $n < 1$  o fluxo é pseudoplástico e  $n > 1$  é dilatante (TONELI *et al.*, 2004).

Figura 15: Curvas de viscosidade das massas de bolo com substituição parcial do açúcar por uma solução de sucralose (A) e Acessulfame K (B) com goma xantana



Na figura 16 é possível observar que as massas dos bolos TAG obtiveram uma viscosidade aparente mais elevada que as massas dos bolos TSG. Os valores para coeficiente de consistência das formulações de TSG (tabela 17) confirmaram essa observação. Os resultados obtidos variaram entre 7,32-10,26 Pa s<sup>n</sup>, superiores a formulação controle F0, já as formulações de massas de bolo TAG os valores para coeficiente de consistência (Tabela 17) variando de 7,88-11,69 Pa s<sup>n</sup>, superiores a F0 e as formulações das massas de bolo TSG.

Os valores de coeficiente de consistência entre as massas dos bolos TSG não apresentaram diferença significativa entre si, assim como as massas dos bolos TAG não apresentaram diferença significativa entre si. Isso é um indicio que em ambas formulações dos adoçantes apresentaram o mesmo comportamento havendo um incremento na consistência da massa ao passo que o açúcar foi substituído.

Tabela 12: Valores de coeficiente de consistência e índice de fluxo, para massas de bolos elaborados com substituição parcial do açúcar pelas soluções de sucralose/acessulfame K e goma xantana

Formulação	Sucralose		Acessulfame K	
	Coeficiente de consistência (Pa s <sup>n</sup> )	Índice de fluxo (n)	Coeficiente de consistência (Pa s <sup>n</sup> )	Índice de fluxo (n)
F0	3,29 <sup>e</sup> ± 0,32	0,48 <sup>a</sup> ± 0,00	3,29 <sup>e</sup> ± 0,32	0,48 <sup>a</sup> ± 0,00
F10	9,69 <sup>ab</sup> ± 0,29	0,38 <sup>b</sup> ± 0,01	11,49 <sup>ab</sup> ± 0,41	0,29 <sup>bcd</sup> ± 0,03
F19	9,21 <sup>b</sup> ± 0,06	0,37 <sup>b</sup> ± 0,02	11,69 <sup>a</sup> ± 0,14	0,32 <sup>bcd</sup> ± 0,02
F27	9,20 <sup>b</sup> ± 0,14	0,29 <sup>c</sup> ± 0,03	8,58 <sup>d</sup> ± 0,12	0,25 <sup>d</sup> ± 0,01
F34	7,32 <sup>d</sup> ± 0,04	0,33 <sup>bc</sup> ± 0,01	10,90 <sup>abc</sup> ± 0,27	0,30 <sup>bcd</sup> ± 0,04
F40	7,62 <sup>cd</sup> ± 0,03	0,28 <sup>c</sup> ± 0,03	7,88 <sup>d</sup> ± 0,64	0,27 <sup>cd</sup> ± 0,01
F46	8,27 <sup>c</sup> ± 0,10	0,32 <sup>bc</sup> ± 0,02	10,35 <sup>bc</sup> ± 0,04	0,35 <sup>bc</sup> ± 0,02
F52	10,26 <sup>a</sup> ± 0,43	0,34 <sup>bc</sup> ± 0,02	10,12 <sup>c</sup> ± 0,09	0,34 <sup>bc</sup> ± 0,02

Os resultados são apresentados como valores médios ± desvio padrão. Valores seguidos por letras sobrescritas diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes (P <0,05) onde a > b > c > d > e

Segundo Shiroma (2012), o coeficiente de consistência K indica o grau de resistência da amostra ao escoamento (fluxo), ou seja, quanto maior o valor de K, maior a sua resistência ao escoamento e, portanto, maior a sua viscosidade aparente. A consistência, assim como a viscosidade, é um dos principais atributos de qualidade que precisam ser tomados em consideração para garantir a qualidade do produto e, com isso, a aceitação dos consumidores (KOÇAK, 2010).

A consistência / viscosidade de massas é uma propriedade física muito importante, uma vez que está intimamente relacionada com a qualidade do produto final, é um dos fatores que controlam o seu volume no final do processo de forneamento (LEE; INGLET; CARRIERE, 2004; KOÇAK, 2010), pois quando elevada proporciona o aumento da incorporação e retenção das células de ar a massa durante a mistura dos ingredientes, contribuindo para uma maior volume e estabilidade dos bolos, indicada por uma menor densidade específica da massa (LEE; INGLET; CARRIERE, 2004; KOÇAK, 2010).

CARRIERE, 2004; MARTÍNEZ-CERVERA *et al* 2012; PSIMOULI; OREOPOULOU, 2011).

A densidade específica fornece uma indicação do total de ar incorporado e retido na massa durante a mistura. Valores baixos indicam uma boa incorporação de ar, obtendo-se um volume final elevado depois do forneamento (FRYE; SETSER, 1991; MARTÍNEZ-CERVERA *et al.*, 2012)

Os resultados obtidos com a densidade específica demonstraram que houve uma boa incorporação de ar a massa, pois os referidos valores para as massas dos bolos TSG (tabela 18) variaram de 0,86-0,89g/cm<sup>-3</sup>, não diferindo significativamente entre si e a formulação F0.

Com relação as massas dos bolos TAG (tabela 18) os valores variaram de 0,85-0,89g/cm<sup>-3</sup>, onde a formulações F46 e F52 diferiram significativamente da formulação controle com resultado superior a mesma, indicando que houve uma menor incorporação e retenção de ar nas mesmas quando comparada com a F0.

Tabela 13: Valores de densidade específica das massas de bolo elaborados com substituição parcial do açúcar pelas soluções de sucralose/acessulfame K e goma xantana

Formulação	Densidade Especifica (g/cm <sup>-3</sup> )	
	Sucralose	Acessulfame K
F0	0,86 <sup>a</sup> ± 0,00	0,86 <sup>b</sup> ± 0,00
F10	0,86 <sup>a</sup> ± 0,03	0,85 <sup>b</sup> ± 0,01
F19	0,88 <sup>a</sup> ± 0,01	0,85 <sup>b</sup> ± 0,00
F27	0,86 <sup>a</sup> ± 0,02	0,88 <sup>ab</sup> ± 0,01
F34	0,87 <sup>a</sup> ± 0,01	0,87 <sup>ab</sup> ± 0,01
F40	0,87 <sup>a</sup> ± 0,00	0,88 <sup>ab</sup> ± 0,00
F46	0,87 <sup>a</sup> ± 0,00	0,89 <sup>a</sup> ± 0,01
F52	0,89 <sup>a</sup> ± 0,01	0,89 <sup>a</sup> ± 0,01

Os resultados são apresentados como valores médios ± desvio padrão. Valores seguidos por letras sobrescritas diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes (P <0,05) onde a > b

Baeva *et al.* (2003), Martinez-Cevera *et al.* (2012) e Manisha, Soumya e Indrani (2012), em seus trabalhos sobre redução do açúcar em bolos, estudaram o efeito da substituição do açúcar em diferentes concentrações por adoçantes artificiais (aspartame, sucralose, esterviosideo) associados a seus respectivos agentes de volume (polidextrose, goma xantana, polisorbato 60) em formulações de bolo, e todos os autores relataram a redução no valor da densidade específica, indicando que a substituição do açúcar não interferiu na incorporação de ar a massa durante a mistura.

Manisha, Soumya e Indrani (2012) afirmaram ainda que a incorporação de ar depende tanto do processo de aeração (velocidade em que se promove a mistura) como das propriedades físico-químicas da massa (viscosidade e tensão superficial), que são determinados pela formulação. Entretanto, o volume final não depende apenas da quantidade de ar inicial incorporado na massa, mas também da sua capacidade de reter o ar durante o forneamento.

Os valores obtidos com o volume específico (tabela 19) dos bolos TSG variaram de 1,90- 1,06 cm<sup>3</sup>/g<sup>-1</sup>, resultados esses inferiores ao F0, excetuando as formulações F10 e F19, que não diferiram significativamente entre si e F0.

Já os bolos TAG os valores para o volume específico (tabela 19) variaram entre 1,90-1,06 cm<sup>3</sup>/g<sup>-1</sup>, resultados esses inferiores a controle, com exceção da formulação F10 que não diferiu significativamente da formulação controle.

Tabela 14: Valores de volume específico dos bolos elaborados com substituição parcial do açúcar por uma solução de sucralose/acessulfame K e goma xantana

Formulação	Volume específico (cm <sup>3</sup> /g <sup>-1</sup> )	
	Sucralose	Acessulfame K
F0	1,81 <sup>a</sup> ± 0,01	1,81 <sup>b</sup> ± 0,01
F10	1,90 <sup>a</sup> ± 0,09	1,90 <sup>a</sup> ± 0,02
F19	1,80 <sup>a</sup> ± 0,03	1,59 <sup>c</sup> ± 0,06
F27	1,51 <sup>b</sup> ± 0,05	1,50 <sup>c</sup> ± 0,01
F34	1,19 <sup>c</sup> ± 0,03	1,29 <sup>d</sup> ± 0,02
F40	1,17 <sup>c</sup> ± 0,01	1,19 <sup>de</sup> ± 0,02
F46	1,16 <sup>c</sup> ± 0,02	1,10 <sup>f</sup> ± 0,03
F52	1,05 <sup>c</sup> ± 0,03	1,06 <sup>f</sup> ± 0,03

Os resultados são apresentados como valores médios ± desvio padrão. Valores seguidos por letras sobrescritas diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ) onde  $a > b > c > d > e > f$

Os resultados do volume específico, seguem um padrão tanto nos bolos TSG como nos bolos TAG, observa-se uma redução desse valor ao passo que se procede a redução crescente do açúcar e posterior substituição pelos dois adoçantes.

Verificou-se também uma relação inversamente proporcional entre os valores de coeficiente de consistência (tabela 17) e volume específico (tabela 19). O volume específico pode ser utilizado como um indicador do desenvolvimento de volume e, conseqüentemente, da estrutura porosa do produto (PSIMOULI; OREOPOULOU, 2011).

Mesmo apresentando bons índices de consistência e incorporação de ar, os baixos valores de índice de fluxo ( $n$ ) obtidos nas formulações das massas dos bolos TSG e TAG (Tabela 17), em relação a formulação controle ( $n=0,48$ ) indicaram que essas formulações de bolo (TSG e TAG) foram mais susceptíveis as deformações provocadas pelo aumento da taxa de cisalhamento.

Ocorreu uma redução na viscosidade mais acentuada à medida que, a taxa de cisalhamento era elevada, como ilustra os reogramas apresentados na figura 16,

apontando para uma possível incapacidade de retenção do ar (oriundo da incorporação de células de ar durante a mistura e da fermentação química e do vapor de aquecimento) durante o forneamento, permitindo seu escape para a superfície do bolo e restringindo assim sua expansão (SARABJIT; ALAVA, 2003), resultando em bolos de baixo volume.

Supõe-se que isso pode ter ocorrido porque as formulações das massas de bolo contendo os adoçantes selecionados e goma xantana como substitutos do açúcar exibiram um maior decréscimo da viscosidade aparente durante a mistura. Embora seja uma característica desejável, pois durante o forneamento a redução da viscosidade é requerida para que o ar incorporado possa expandir-se adequadamente, conferindo aos bolos o volume desejado, uma viscosidade excessivamente alta restringe a expansão do ar durante o forneamento (RONDA *et al.*, 2011).

Com base no exposto acima, observa-se que as formulações de bolo com substituição crescente do açúcar pelos adoçantes e goma xantana produziram o mesmo efeito sobre a viscosidade aparente, ocorrendo um aumento na viscosidade aparente e uma boa incorporação de ar a massa, contudo o volume específico decresceu com o aumento no nível de substituição, o que foi remetido anteriormente a incapacidade da massa de reter as células incorporadas a ela durante a mistura e com a redução da viscosidade durante o aquecimento onde grande parte das células escapam para a superfície resultando em bolos de reduzido volume.

Segundo Bennion e Bamford (1997), os adoçantes artificiais em formulações de bolo exercem apenas o papel de fornecimento de doçura, sendo necessário a combinação com agentes de volume (hidrocolóides ou gomas), pois estes exercem as funções do açúcar contribuindo com o aumento da viscosidade proporcionando a estabilidade estrutural aos bolos. Logo, presume-se que os adoçantes não exercem influência sobre a viscosidade aparente da massa.

A massa dos bolos é uma emulsão do tipo óleo em água com células de ar aprisionadas na fase lipídica e os demais ingredientes: açúcar, leite, ovos, gordura e fermento, encontram-se dissolvidos ou dispersos na fase aquosa. (BENNION; BANFORD, 1997; MIZUKOSHI; KAWADA; MATSUI, 1979).

O açúcar, como agente de volume, é o responsável por manter a estabilidade dessa emulsão exercendo papel fundamental na formação estrutural dos bolos, pois estabiliza a espuma formada pela desnaturação das proteínas do ovo, regulando os processos de formação estrutural do bolo durante o forneamento (DAVIS; FOEGEDING, 2007), aumentando a viscosidade da massa, possibilitando maior incorporação e retenção de ar, controlando a expansão desses e do gás carbono oriundo da fermentação química durante o aquecimento, contribuindo para estabilidade e volume desejados (LASKSCHMINARA; RATHINAN; RAU, 2006; PATON; LARQUE; HOLME, 1981; SCHIMER *et al.*, 2012).

Os adoçantes artificiais (sucralose e acessulfame K) em formulações de bolos desempenham apenas o papel de fornecimento da doçura, não conferindo a eles a função de agente de volume, por isso se fez necessário incorporar a solução dos adoçantes a goma xantana, que foi escolhida como agente de volume no presente estudo por conferir o aumento da viscosidade e estabilidade dos produtos a qual é adicionada (MANISHA; SOUMYA; INDRANI, 2012), além de exibir um comportamento pseudoplástico que é desejável, pois permite que durante o aquecimento a viscosidade seja reduzida, permitindo que as células de ar incorporadas expandam e se distribuam uniformemente por toda a massa, garantido o volume desejado aos bolos (PREICHARDT, 2009).

O efeito pseudoplástico conferido a goma xantana permitiu a expansão das células de ar na massa durante o forneamento, no entanto, parece não apresentar a propriedade conferida ao açúcar de manter e distribuir uniformemente as células de ar na massa.

Sugere-se que o aumento na quantidade de goma xantana na formulação, proveniente da elevação do nível de substituição do açúcar pela solução conjunta dos adoçantes e goma xantana, proporcionou um efeito pseudoplástico superior ao desejado na massa, ocorrendo uma possível redução demasiada da viscosidade durante o aquecimento, gerando uma incapacidade de manter as células de ar dentro da matriz proteica, ocorrendo seu escape reduzindo o volume final do produto.

De acordo com Baeva, Panchev e Terzieva (2000), nenhum agente de volume possui todas as propriedades únicas conferidas ao açúcar. Os resultados obtidos da

viscosidade aparente, apontaram para essa deficiência, pois mesmo elevando o valor inicial da viscosidade que possibilitou uma boa incorporação de ar a massa, a goma xantana pareceu não apresentar a capacidade de manter a estabilidade da emulsão (massa do bolo) e, conseqüentemente, das células de ar incorporadas a ela, acarretando na difusão desuniforme dessas células de ar durante o aquecimento, que por sua vez coalescem originando os buracos apresentados na estrutura interna dos bolos com reduzido teor calórico (figura 15 e 16).

O principal mecanismo de desestabilização da massa de bolos é a difusão das células de ar, aumentando o seu tamanho, provoca a instabilidade da massa (PATERAS; HOWELLS; ROSENTHAL,1994). Verificou-se que o uso da goma xantana não proporcionou a massa dos bolos a propriedade de reter e distribuir uniformemente as células de ar incorporadas durante a mistura, acarretando nos problemas relatados de baixo volume e formação de buracos.

Portanto a goma xantana, não conseguiu suprir a carência funcional provocada pela ausência do açúcar, e assim contribuindo para a formação dos buracos, ao invés da gelatinização do amido, que teve suas propriedades térmicas afetadas pela presença dos adoçantes entretanto, foi constatado que apenas as alterações das propriedades térmicas de gelatinização do amido não poderiam ser as únicas responsáveis por todas as deformações observadas.

Ainda segundo Baeva, Panchev e Terzieva (2000) a combinação de agentes de volume deve ser usada como alternativa para a melhoria das características estruturais dos bolos.

Em estudo realizado por Manisha; Soumya e Indrani (2012), a adição de emulsificantes na massa de bolos com substituição do açúcar por adoçantes (estervia e sorbitol), conferiu-se um aumento na viscosidade e, por conseguinte, aumento no volume, fato este atribuído ao número maior de células de ar formadas que atuam como locais de nucleação do ar dissolvido na massa, permitindo a melhor expansão da massa durante o aquecimento.

A principal função dos emulsificantes é promover a formação e a estabilidade das emulsões (ARAUJO, 2001). Em bolos, os emulsificantes melhoram a distribuição da gordura que contém o ar retido, aumentando a viscosidade da fase aquosa e

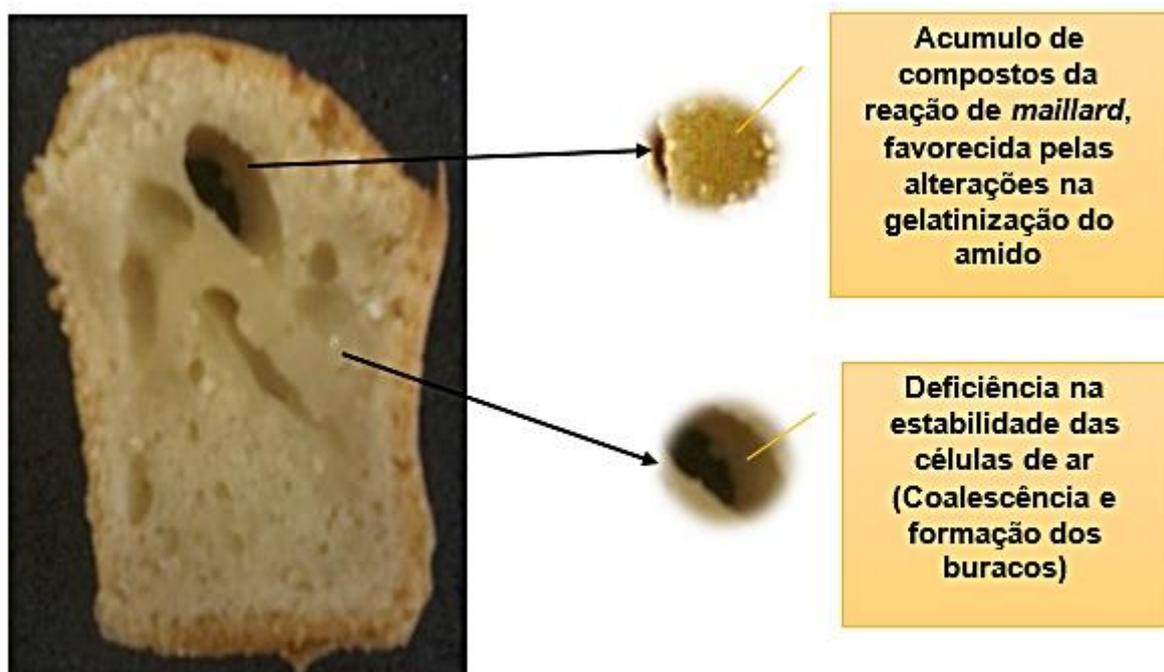
contribuindo com a aeração. Dessa forma auxiliam na incorporação e distribuição uniforme das células de ar, promovendo a formação da espuma, assegurando a estabilidade das células durante o aquecimento, permitindo a difusão homogênea das mesmas, permitindo que o ar proveniente da fermentação química e do vapor de aquecimento expandam adequadamente, resultando em bolos de maior volume com textura aerada e macia (BENNION; BAMFORD, 1997; MANISHA; SOUMYA; INDRANI, 2012).

As formulações F10 e F19 dos bolos TSG e F10 dos bolos TAG, obtiveram volumes específicos semelhantes a F0, portanto a esse nível de substituição a viscosidade da massa não foi afetada.

### 5.3- Modelo proposto para explicar as possíveis causas das deformações internas apresentadas nos bolos com reduzido teor calórico

Diante dos resultados expostos, propõe-se o seguinte modelo (figura 19) para explicar as possíveis causas do surgimento das deformações observadas (baixo volume, formação de buracos e surgimento de zonas escuras) nos bolos tipo esponja com reduzido teor calórico, a partir da formulação F27:

Figura 18: Modelo explicativo das possíveis causas das deformações internas (formação de buracos circundados por zonas escuras) nos bolos tipo esponja com reduzido teor calórico



Observou-se que as formulações F10 e F19 dos bolos com da substituição do açúcar pelos adoçantes selecionados e goma xantana, mostraram resultados semelhantes ao controle indicando que nesses níveis de substituição não há prejuízos na estrutura dos bolos, quanto ao princípio das deformações apresentadas (zonas escuras acompanhadas de buracos e redução no volume desejado dos bolos), verificando início das deformações a partir da formulação F27.

Foi constatado que o uso das soluções adoçantes alterou as propriedades térmicas do amido, ocasionado possivelmente, pela capacidade superior dos adoçantes em competir pela água do sistema em relação ao amido e o açúcar, elevando as temperaturas ( $T_0$  e  $T_p$ ) e entalpias (cujo valores altos são associados ao enrijecimento da massa após o forneamento) de gelatinização e os baixos índices de  $\Delta T$ , que resultaram em uma menor quantidade de amido gelatinizado, pois menos água estava disponível para efetivação do processo.

Essas alterações nas propriedades térmicas do amido parecem favorecer a formação de compostos oriundos da reação de *maillard* no interior das fatias de bolo, beneficiada pela elevação da temperatura (aumenta a disponibilidade de aminoácidos e açúcares redutores essenciais para a ocorrência da reação de *maillard*) e baixa disponibilidade de água, contribuindo para a formação da coloração escura visualizadas nas fatias de bolo com reduzido teor calórico.

Sob essa perspectiva, propõe-se um estudo mais aprofundado do efeito dos adoçantes sobre a gelatinização do amido no que concerne a disponibilidade de água para a conclusão desse processo durante o forneamento da massa e, dessa forma, verificar-se há realmente uma correlação entre a redução da atividade de água e o possível favorecimento da reação de *maillard* e acúmulo de seus compostos, que foram apontados como os responsáveis pela coloração escura apresentada no interior dos bolos.

Portanto, a investigação da coloração escura apresentada nas fatias de bolo se faz necessária por meio da pesquisa da existência e concentração de compostos resultantes da reação de *maillard*, como o HMF, cuja concentração tem sido correlacionada, por alguns estudos, com a intensidade da cor obtida em produtos

alimentícios (FEHAILIE *et al.*, 2010) e com as melanoidinas em níveis acima do normal para o interior dos bolos.

Quanto ao baixo volume e a formação de buracos na estrutura dos bolos com reduzido teor calórico, foram ocasionados pela possível deficiência da goma xantana em estabilizar a massa, conferindo-lhe um aumento na viscosidade que impediu a incorporação, retenção e distribuição uniforme das células de ar durante o aquecimento. Houve boa incorporação de ar a massa, no entanto, a dificuldade em mantê-las bem distribuídas e retidas na matriz proteica, resultou no escape e coalescência das mesmas, que acarretou em baixo volume e formação de buracos.

Em vista disso, sugere-se investigar a estabilidade das células de ar incorporadas a massa com diferentes proporções de goma xantana como agente de volume durante a mistura, bem como efetuar testes com outras gomas para verificar se apenas a goma xantana possui esse efeito negativo sobre a estabilidade das células de ar.

Segundo literatura, nenhum agente de volume possui todas as características do açúcar, logo o uso combinado de agentes de volume é requerido. Em estudos anteriores, o uso de emulsificantes possibilitou uma melhoria na estabilidade das massas e, com isso, os volumes obtidos nos bolos foram maiores.

Então sugere-se o estudo do uso conjunto de diferentes gomas e emulsificantes sobre a estabilidade das células de ar, incorporadas a massa, verificando se o uso de emulsificantes proporciona a melhoria da estabilidade, evitando assim o escape a coalescência das células de ar.

## 6.0-CONCLUSÕES

Os bolos preparados com glúten em pó também apresentaram deformações estruturais, sugerindo-se que as proteínas assim como o amido, tem suas funções afetadas pela substituição do açúcar e dessa forma contribuem para o surgimento das deformações nos bolos.

A presença dos adoçantes elevou as temperaturas de gelatinização do amido pela sua capacidade de competir pela água do sistema, ocorrendo decréscimo no grau de gelatinização e o surgimento de zonas escuras que foram atribuídas ao acúmulo de compostos da reação de *maillard*.

Os adoçantes usados como substituto do açúcar não exerceram efeito negativo sobre a viscosidade aparente das massas dos bolos, atuando apenas no fornecimento de doçura ao produto.

A formação dos buracos se deve à ausência do açúcar que é o agente de volume, a goma xantana não supriu essa carência funcional e dessa forma passou a contribuir com a deformação apresentada.

Dentre os dois adoçantes utilizados, o acessulfame K apresentou a maior disparidade entre os seus resultados obtidos em relação as proteínas e gelatinização do amido, logo é o menos recomendado como substituto do açúcar.

As formulações F10 e F19 obtiveram resultados satisfatórios, indicando que até 19% de substituição do açúcar não a prejuízos a sua estrutura interna.

## REFERENCIAS

ABIMA-a) Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias. **Estatística: Pães e bolos-Global.** Disponível em: < [http://www.abima.com.br/estatistica\\_pao.php#tabs](http://www.abima.com.br/estatistica_pao.php#tabs) >. Acesso em: 10 de Maio de 2014.

ABIMA-b) Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias. **Estatística: Pães e bolos- Mercado nacional.** Disponível em: < [http://www.abima.com.br/estatistica\\_pao.php#tabs](http://www.abima.com.br/estatistica_pao.php#tabs) >. Acesso em: 10 de Maio de 2014.

ARAUJO, J. M. A. **Química de alimentos: Teoria e pratica.** 5 ed. Viçosa: Ed UFV, 601 p., 2011.

ATTIA, E. A.; SHEHATA, H. A; ASKAR, A. An alternative formula for the sweetening of reduced-calorie cakes. **Food Chemistry**, v. 48, 1993.

BAEVA, M. R.; PANCHEV, I. N.; TERZIEVA, V. V. Comparative study of texture of normal and energy reduced sponge cakes. **Nahrung**, v. 44, 2000.

BAEVA, M. R.; TERZIEVA, V. V.; PANCHEV, I. N. Structural development of sucrose-sweetened and sucrose-free sponge cakes during baking. **Nahrung**, n. 3, 2003.

BARNDT, R.L.; JACKSON G. Stability of sucralose in baked goods, **Food Technology**, V.44, 1990.

BATTOCHIO, J. R. **Bolo de linhaça diet: Desenvolvimento da formulação, determinação do perfil sensorial e estudos de consumidor.** 2007. 128f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e nutrição) Departamento de alimentos e nutrição. Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP, Campinas, 2007.

BEMILLER, J.; WISTLER, R. **Starch: Chemistry and thecnology.** 3 ed. New York: Elsevier, 2009.

BENNION, E.B.; BAMFORD, G. S. T. **The Technology of Cake Making.** 6 ed. London: Blackie Academic e Professional, 421 p., 1997.

BIRCH, G. G., PRIESTLEY, W. S. Degree of Gelatinisation of Cooked Rice. **Die Starke**. v.25, n. 3, 1973.

BORGES, J. T. S. et al. Utilização de farinha mista de aveia e trigo na elaboração de bolos. **Boletim do CEPPA**, v. 24, n. 1, p. 145-162, 2006.

BRASIL, **Produtos de confeitaria**. Resolução, CNNPA, n. 12. ANVISA, 1978. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/resol/12\\_78\\_prod\\_confeita.htm](http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/resol/12_78_prod_confeita.htm)> Acesso em 12 de Janeiro de 2014.

CAMPOS, V. M. C. de. **Produção de doces diet para diabéticos**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas-SBRT, Julho de 2007.

CAVALCANTE, R. S. **Avaliação das características estruturais de bolos com redução calórica**. 2012. 50f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

CARVALHO, L. C. de. **Estudos termoanalíticos dos edulcorantes, acessulfame K, aspartame, ciclamato, esterviósideo e sacarina**. 2007. 102f. Dissertação. (Mestrado em Ciências (Química analítica)). Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

CHUDZIKIEWICZ, F.F. **Análise do comportamento de compra e da satisfação do cliente no mercado de panificadoras e confeitarias em Curitiba**. 2005. 241f. Dissertação (Mestrado em Administração-Área de concentração: Administração estratégica). Curso de Pós-graduação em Administração. Pontifícia Universidade Católica, Paraná, 2005.

CRAWFORD, A. C. Alimentos: **Seleção e preparo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Record, 1985. 383p.

DAVIS, J.P.; FOEGEDING, E.A. Comparisons of the foaming and interfacial properties of whey protein isolate and egg white proteins. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. N. 54, p. 200-210, 2007.

FEHAILI, S. An instrumented oven for the monitoring of thermal reactions during the baking of sponge cake. **Journal of Food Engineering**, v. 101, p. 253–263, 2010.

- FILHO, O. F et al. Adoçantes artificiais (revisão), **Química nova**, n.3, Brasília, 1996.
- FRYE, A. M., SETSER, C.S. Optimizing texture of reduced-calorie yellow layer cakes. **Cereal Chemistry**. v. 29. 1991.
- GAONKAR, A. G.; McPHERSON, A. **Ingredient interactions: Effects on food quality**. 2 ed. Taylor & Francis, 2005. 576p.
- GOESAERT, H. et al. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality (review). **Trends in Food Science & Technology**. v. 16, 2005.
- GÓMEZ, M. et al. Characterization of cake batters by ultrasound measurements. **Journal of Food Engineering**, v. 89, 2008.
- GUTKOSKI, L. C. Influência do tipo de farinha de trigo na elaboração de bolo tipo inglês. **Brazilian Journal Food Technology**. Campinas, v. 14, n. 4, out./dez. 2011.
- HOSENEY, R. C. **Principles of Cereal: Science and Technology**. 2º ed, Minnesota: American Association of Cereal Chemistry, 1994. 378p.
- HICSASMAZ, Z et al. Effect of polydextrose-substitution on the cell structure of the high-ratio cake system. **LWT Food Science and Technology**, v. 36, 2003.
- KOCER, D et al. Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar- and fat-replacer. **Journal of Food Engineering**. v. 78. 2007.
- KOÇAK, G. **Producing micro and nano fibers having high water Holding capacity from tomato and wheat waste products And using them in model foods**. 2010. 135f. Dissertação. (Mestrado em Ciências e engenharia de alimentos) Departamento de Engenharia de Alimentos. Middle East Technical University, 2010.
- KIM, C. S.; WALKER, C. E. Interactions between starches, sugars, and emulsifiers in high-ratio cake model systems. **Cereal Chemistry**, v. 69, n. 2, 1992a.

LAKSHMINARAYAN, S.M.; RATHNAM, V.; RAU, L.C. Effect of maltodextrin and emulsifiers on the viscosity of cake batter and on the quality of cakes. **Journal of science of food and agriculture**. v.86. 2006.

LEE, S.; INGLETT, G. E.; CARRIERE, C. Effect of Nutrim Oat Bran and Flaxseed on Rheological Properties of Cakes. **Cereal Chemistry**. v. 81, n. 5. 2004.

LOSTIE, M.; PECZALSKI, R.; ANDRIEU, J. Lumped model for sponge cake baking during the “crust and crumb” period. **Journal of Food Engineering**. v.65, 2004.

LIN, S-D.; HWANG, C-F; YEH, C-H. Physical and sensory characteristics of chiffon cake prepared with erythritol as replacement for sucrose. **Journal of Food Science**, v. 68, n. 6, 2003.

LIN, S-D.; LEE, C-C. Qualities of chiffon cake prepared with indigestible dextrin and sucralose as replacement for sucrose. **Cereal Chemistry**, v. 82, n. 4, 2005.

MAIA, S. M. P. C. **Aplicação da farinha de maracujá no processamento do bolo de milho e aveia para fins especiais**. 2007. 78f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

MARTÍNEZ-CERVERA, S. et al. Rheological, textural and sensorial properties of low-sucrose muffins reformulated with sucralose/polydextrose. **LWT - Food Science and Technology**. V. 45, n. 2, 2012.

MARTÍNEZ-CERVERA, S.; SALVADOR, A.; SANZ, T. Comparison of different polyols as total sucrose replacers in muffins: Thermal, rheological, texture and acceptability properties. **Food Hydrocolloids**. V. 35. 2014.

MANISHA, G., SOUMYA, C., INDRANI, D. Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloids and emulsifiers for replacement of sugar in cakes. **Food Hydrocolloids**. v.29, n. 2, 2012.

MILLER, B. S.; TRIMBO, H. B. Gelatinization of starch and white layer cake quality. **Food Technology**, v. 19, n. 4, p. 640-648, 1965.

MEZITIS, N. H. E. Glycemic Effect of a Single High Oral Dose of the Novel Sweetener Sucralose in Patients With Diabetes. *Diabetes care*, v. 19, n. 9, 1996.

MIZUKOSHI, M., KAWADA, T., MATSUI, N. Model studies of cake baking. I Continuous observations of starch gelatinization and protein coagulation during baking. *Cereal Chemistry*. v. 54, n. 4, 1979.

MIZUKOSHI, M., KAWADA, T., MATSUI, N. Model studies of cake baking. II Expansion and heat set of cake batter during baking. *Cereal Chemistry*. v. 57, n. 5, 1980.

NESTLÉ. **Bolos e bolinhos** (receituário). 26 de Julho de 2007.

NESTLEHNER, C. Grandes receitas: Pães e Bolos. *Claudia Cozinha*, n. 30, p. 1-58, 2004.

ORDOÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos: Componentes dos alimentos e processos**. V.1. ed. Artmed, Porto Alegre, 2005.

PATERAS, I. M. C.; HOWELLS, K. F.; ROSENTHAL, A. J. Hot-stage microscopy of cake batter bubbles during simulated baking: sucrose replacement by polydextrose. *Journal of Food Science*, v. 59, 1994.

PARKE, A. A. B., ARKANSAS, L. R. **Ann Blair's Pound Cake**. 2012. Disponível em: < <http://www.eplustv6.com/downloads/Pound%20Cake.pdf> >. Acesso em: 01 de Julho de 2012.

PARDO, M. E. S., GARCÍA, E. J., GARCÍA, I. G. Study about the addition of chemically modified starches (cross-linked cornstarches), dextrans, and oats fiber in baked pound cake. *Journal of Biotechnology*. V.150, 2010.

PANDO, V. Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering*. V.102, 2011.

PATON, D.; LAROCQUE, G. M.; HOLME, J. Development of cake structure: Influence of ingredients on the measurement of cohesive force during baking. *Cereal Chemistry*, v.58, n.6, 1981.

PERALES, N.S.B. **Efeito das concentrações de  $\alpha$ -amilase maltogênica e gordura na qualidade tecnológica e sensorial de bolos.** 2011. 171f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP, Campinas, 2011.

PREICHARDT, L.D. Aplicação de xantana comercial e xantana sintetizada por *Xanthomonas arborícola* pv pruni em bolos sem gluten. 2009. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009.

PSIMOULI, V.; OREOPOULOU, V. The effect of alternative sweeteners on batter rheology and cake properties. *J. sci Food Agric.* v. 92, 2011.

PURLIS, E. Browning development in bakery products – A review. *Journal of Food Engineering.* v. 99, p. 239–249, 2010.

RAMÍREZ-JIMENEZ, A.; GUERRA-HERNANDEZ, E.; GARCIA-VILLANOVA, B. Browning Indicators in Bread. *J. Agric. Food Chem.* v. 48, p.4176-4181, 2000.

RODERO, A. B., RODERO, L. S., AZOUBEL, R. Toxicity of Sucralose in Humans: A Review. *Int. J. Morphol.*, v. 27, n.1, 2009.

RONDA, F et al. Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. *Food Chemistry.* V.90, n. 4, 2005.

RONDA, F., OLLETE, B. GOMEZ, CABALLERO, P. A., PANDO, V. Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering*, v. 102, 2011.

SAMPAIO, A. F. A. **Efeito da substituição do açúcar nas características físico-químicas e sensoriais de bolos com valor calórico reduzido.** 2006. 98 f. Dissertação (Mestrado) - UFC, Fortaleza, 2006.

SAKIN, M.; KAYMAK-ERTEKIN, F.; ILICALI,C. Modeling the moisture transfer during baking of white cake. *Journal of Food Engineering.* V, 80. 2007.

SARABJIT, S.; ALAVA, J. M. Functionality of emulsifiers in sponge cake Production. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 2003.

SEBRAE-Serviço Brasileiro de Apoio a Micro e Pequenas Empresas. **Mercado aquecido para pães e bolos industriais.**

SCHIRMER, M. Physicochemical interactions of polydextrose for sucrose replacement in pound cake. *Food Research International*. V. 49, 2012.

SHIROMA, P. H. **Estudo do comportamento reológico de suspensões aquosas de bentonita e CMC: Influência da concentração de NaCl.** 2012. 120f Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SUMNU, S.G.; SAHIN, S. **Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods.** 2008.

SPIES, R. D; HOSENEY, R. C. Effect of sugars on starch gelatinization. *Cereal Chemistry*, v. 59, n. 2, p. 128-131, 1982.

TONELI, J.T. de C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*. v.7, n.2, Campina Grande 2005.

TORLEY P. J.; MOLEN, F. VAN DER. Gelatinization of starch in mixed sugar systems. *LWT Food Science and Technology*, Brisbane, v. 38, 2005.

TOZETTO, A. **Controle de qualidade de edulcorantes em adoçantes comerciais via espectrometria e métodos de calibração multivariada.** 2005. 145f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2005.

THE PREPARED PANTRY. **A Collection of Angel Food Cake Recipes: Recipes and Techniques for Angel Food Cakes, Chiffon, and Sponge Cakes.** 2005-2007.

THOVALDSSON, K., SHJOLDEBRAND, M. Water Diffusion in Bread During Baking. *LWT Food Science and Technology*. v. 3, Novembro de 1998.

VIGITEL- Vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico. **Dados sobre diabetes.** Ministério da saúde, 2011.

WILDERJANS, E. et al. The role of gluten in a pound cake system: A model approach based on gluten–starch blends. **Food Chemistry**, v. 110, 2008.

XUE, J.; NGADI, M. Effects of methylcellulose, xanthan gum and carboxymethylcellulose on thermal properties of batter systems formulated with different four combinations. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 286-295, 2009.

ZAMBRANO, F. et al. Efeito das gomas guar e xantana em bolos como substitutos de açúcar. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 1 p. 63-71, 2005.

ZHANG, Y. Y. et al. Effects of sugars in batter formula and baking conditions on 5-hydroxymethylfurfural and furfural formation in sponge cake models. **Food Research International**. v.49, p. 439–445, 2012.

# ***ANEXOS***

**Certificado de aprovação dos parâmetros avaliados de caráter físico-químico e microbiológico do adoçante sucralose**

<b>TATE &amp; LYLE</b>		Page 1	
CONSISTENTLY FIRST IN RENEWABLE INGREDIENTS			
<b>CERTIFICATE OF ANALYSIS</b>			
SEND TO: Tate & Lyle Ingredientes Americanas & LNR ENTERPRISES & DECATUR IND TECHNOLOGY CENTER 2121 S HEBBEN CT DECATUR IL 62521		ATTN: QC FAX NUMBER: 217-429-9647	
PRODUCT: SUCRALOSE GRANULAR DFF-1 10KG BOX			
REPORT DATE: 01/26/2012		EO #:	
CARRIER ID: - PDK		ORDER #:	
		DELIVERY #:	85222734
		DATE SHIPPED:	01/26/2012
<b>ANALYTICAL DATA</b>		<b>SPECIFICATIONS</b>	
INSPECTION LOT 16000032264		MIN	MAX
LOT NUMBER XD2A200501			
MFG DATE 01/05/2012			
1 22.046 LB BOX			
APPEARANCE	PASS	WHITE TO OFF WHITE CRYSTALLINE POWDER	
ASSAY %	99.2	98.0	102.0
IDENT TLC	PASS		
IDENT HPLC	PASS		
IDENT IR	PASS		
WATER (KF) %	0.2	0.0	2.0
HEAVY METALS	Complies		
Particle Size DFF-1	PASS	90th PERCENTILE IS > or = 80 microns	
ORGANOLEPTIC EVALUATION	PASS		
SPECIFIC ROTATION	DEG 86.5	+84.0	+87.5
RELATED SUBSTANCES %	< .5	0.0	0.5
PH DROP	PASS		
HYDROLYSIS PRODUCTS	PASS		
COLIFORMS	Negative		
TOTAL AEROBIC COUNT /G	< 250	0	250
YEAST & MOLD COUNT /G	< 50	0	50
E. COLI	Negative		
S. AUREUS	Negative		
SALMONELLA	Negative		
RESIDUE ON IGNITION	Complies		
LEAD	Complies		
ARSENIC	Complies		
METHANOL	Complies		
TPPO	Complies		
Clarity	Complies		
Specification Number: 776401_3			
This ingredient is suitable for use in foods sold in the EU without labeling for genetically-modified content as defined by the EC directives 2002/1828 and 1830/EC.			
This product is manufactured in accordance with current US Food and Drug Administration good manufacturing practices regulations (cGMP), and is fit for human consumption.			
It is recommended that Sucralose DFF-1 be used within 24 months of manufacture and stored in a dry, non-oxidizing environment at a Controlled Room Temperature as defined by USP/FP - 70°F (25°C) or below, with a maximum temperature never to exceed 95°F (35°C). - Reveal container before sealing unused product.			
This product complies with FCC and JSCFA standards.			
This ingredient does not contain any commonly known sources of allergenic responses. Labeling is not required under FDA Food Allergen Labeling and Consumer Protection Act of 2004 (FALCPA) or under the EU Directive 2007/68/EC.			
REPORTED BY:			
SEALS: NONE			
Tate & Lyle Sucralose LLC 2200 East Eldorado Street, Decatur, IL 62521 Telephone (217)423-4411 Facsimile (217)421-2216		 Vengadeswaran Nagarathnam Tate & Lyle Singapore Pte Ltd 168 Sakra Place, Jurong Island Singapore 627811 (+65) 65-11-5829	

Certificado de aprovação dos parâmetros avaliados de caráter físico-químico do adoçante acessulfame K

119725  
1021000197

**SUZHOU HOPE TECHNOLOGY CO.,LTD.,**  
NANSHATOWN,ZHANGJIAGANGCITY, JIANGSU, CHINA  
TEL: 86 512 56909180 FAX:86 512 56909100

**CERTIFICATE OF ANALYSIS**

Product Name: Acesulfame K	Batch Number: 20101249
Chemical Formula: C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>4</sub> KS	Batch Quantity: 3000KGS
Production Date: DEC.14,2010	Valid Period: DEC.13,2012
Functional Use: Nonnutritive sweetener, Flavor enhancer	
Description: white, odorless, freely flowing crystalline powder having an intensely sweet taste, approximately 200 times sweeter than sucrose (3% solution).	

Identification

Test	Requirement	Result
Solubility in Water	Freely Soluble	Freely Soluble
Solubility in Ethanol	Slightly Soluble	Slightly Soluble
Ultraviolet Absorption	227±2nm	227±2nm
Test for Potassium	Positive	Positive
Precipitation test	Yellow Precipitate	Yellow Precipitate

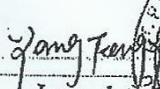
Purity

Test	Requirement	Result
Assay Content %	99.0~101.0	99.75
Loss on Drying(105°C, 2h) %	≤1	0.08
Organic impurities μg/g	≤20	<20
Impurity A %	≤0.125	<0.125
Impurity B mg/kg	≤20	<20
Fluoride mg/kg	≤3	0.50
Heavy Metal (as Pb) mg/kg	≤5	<5
Arsenic mg/kg	≤3	0.30
Lead mg/kg	≤1	0.20
Selenium mg/kg	≤10	0.20
pH (1 in 100 solution)	5.5-7.5	6.45

\*Impurity A:3-oxobutanamide(acetylacetamide)  
\*\*Impurity B:5-chloro-6-methyl-1,2,3-oxathiazin-4(3H)-one 2,2-dioxide  
The requirement stated herein also meets with the standard of FCCV, BP, EP and FAO/WHO JECFA2001.

Conclusion: passed

CAS NO#. 55589-62-3

SIGNATURE:   
QA Manager  
Issue date: DEC-20, 2010  


**Certificado de aprovação dos parâmetros avaliados de caráter microbiológico do adoçante acessulfame K**



**RELATÓRIO DE ENSAIO N° 1106789**

INFORMAÇÕES DO CLIENTE SOLICITANTE			
Cliente	MCASSAB COM IND LTDA		
Endereço	AV. DAS NAÇÕES UNIDAS, 20882		
Cidade	SÃO PAULO	Estado	SP CEP 04795-000
CNPJ		IE	

DADOS DA AMOSTRA			
Identificação	Acessulfame-K		
INCI			
Lote	20101249	Data de Fabricação	14/12/2010
Fornecedor	SUZHOU HOPE TECHNOLOGY CO., LTD.	Data de Coleta	5/4/2011
Data de Validade	13/12/2012	Data de Entrada	5/4/2011
Nota Fiscal		Realização dos Ensaios	5/4/2011
Quantidade		Data de Liberação	27/4/2011

**RESULTADO ANALÍTICO DA AMOSTRA**

PARÂMETROS	MÉTODO ANALÍTICO	LIMÍTES/ESPECIFICAÇÃO		Limite de Quantificação	UNIDADE	RESULTADOS
		MÍNIMO	MÁXIMO			
Salmonella	MA 211		Aus. em 25g			Aus. em 25g

Observações: Metodologia referência USP e FDA.  
Amostra Satisfatória