



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

ROSANE SOUZA CAVALCANTE

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DE BOLOS COM
REDUÇÃO CALÓRICA**

FORTALEZA

2012

ROSANE SOUZA CAVALCANTE

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DE BOLOS COM
REDUÇÃO CALÓRICA**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Ernani Mendes da Silva

FORTALEZA

2012

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

-
- C364a Rosane Souza Cavalcante.
Avaliação das características estruturais de bolos com redução calórica / Rosane Souza Cavalcante.
– 2012.
50 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, 2012.
Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos.
Orientação: Prof. Dr. Claudio Ernani Mendes da Silva.

1. Alimento-valor calórico. 2. Alimentos - Aditivos. I. Título.

ROSANE SOUZA CAVALCANTE

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DE BOLOS COM
REDUÇÃO CALÓRICA**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em 29/02/2012.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Claudio Ernani Mendes da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Frederico José Beserra
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

Dr^a. Deborah dos Santos Garruti
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Prof^a. Dr^a. Célia Maria Landi Franco
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha mãe e amiga Eliane Cavalcante por me ajudar a chegar até aqui, por toda a compreensão, por compartilhar minhas alegrias e dúvidas.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me conduzir ao meu destino sempre da melhor forma.

Aos meus pais José Cleiton Cavalcante e Eliane Maria Souza Cavalcante pela persistência e dedicação em me dar uma educação de qualidade.

Ao meu orientador Prof. Dr. Claudio Ernani Mendes da Silva por ter linhas de pesquisa bem definidas na área de Cereais, pelos ensinamentos e paciência.

À Profª. Drª. Sandra Gentil Soares – Departamento de Química, pela gentileza em ceder o uso do Laboratório Mecânica dos Pavimentos (LMP) e equipamentos.

Às amigas Ana Ellen e Luisa Gardênia pela ajuda e disponibilidade sempre que precisei.

À Drª. Anida Moraes Gomes e Paloma Lima da Silva pelo apoio e disponibilidade.

À Profª. Drª. Patrícia Beltrão Lessa Constant pelas dicas.

Ao Prof. Dr. Frederico José Beserra por suas orientações.

À Drª Deborah dos Santos Garruti pelo enriquecimento deste trabalho.

À Profª. Drª. Célia Maria Landi Franco por sua valorosa contribuição e por sua disponibilidade.

Ao Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso pelo incentivo e colaboração permanente.

À minha amiga Rejane Albuquerque Ribeiro de Sá Costa por compartilhar muitos momentos, me incentivar e pela ótima companhia e ajuda.

À Valderina da Silva Barros pelo apoio.

À CAPES pelo apoio financeiro.

À empresa TATE & LYLE pela doação de sucralose e por acreditar em mim e neste trabalho.

Aos amigos do LABIOTEC que sempre se mostraram dispostos a me ajudar e tirar minhas dúvidas, além de me socorrer em muitos momentos.

À minha família e amigos por me compreender pela ausência e acreditar em mim.

*"Que seu remédio seja seu alimento, e que seu alimento
seja seu remédio."*

(Hipócrates)

RESUMO

O consumo de bolos com redução calórica vem crescendo, mas tem apresentado desafios a serem superados na formação da sua estrutura quando o açúcar ou a gordura são substituídos por adoçantes, gomas, espessantes ou substitutos de gordura. O presente trabalho propôs avaliar as características internas de bolos com redução calórica e a viabilidade de produção do mesmo com características similares ao bolo convencional. Inicialmente, foram definidos o tempo de mistura da massa e a fonte de gordura a ser utilizada na formulação, utilizando-se o volume específico como parâmetro. Em seguida, determinou-se a formulação do bolo padrão a partir de um delineamento experimental do tipo fatorial simples, medindo-se volume específico e a contagem de células. A partir dessa formulação, a sacarose e a gordura foram parcialmente substituídos para a produção de bolos com valor calórico reduzido. A substituição do açúcar foi feita proporcionalmente por uma mistura de goma xantana (1,5%) e sucralose (1%), enquanto a zeína foi usada para substituir a gordura. Nos bolos com redução de açúcar avaliou-se o volume específico (VE), a contagem de células (CC) dos bolos, a viscosidade aparente da massa e as suas propriedades térmicas por meio de calorimetria diferencial de varredura (DSC). Nos bolos com redução do teor de gordura, as análises realizadas foram VE, CC e viscosidade aparente. Verificou-se que o bolo com maior VE foi aquele elaborado com gordura vegetal hidrogenada e 1 (um) minuto de mistura da massa. A formulação padrão foi definida como tendo 155,88 e 28,78 partes de açúcar e de gordura, respectivamente. À medida que o teor de açúcar decresceu (10,00-52,17%) foram reduzidos o volume específico (1,94-0,7 mL/g) e a contagem de células (36,2 – 4,0 cél/cm²) do bolo e a viscosidade aparente da massa (337,56-631,40 cP). Com a redução do teor de gordura, não foram observadas diferenças significativas entre as amostras para VE, CC e viscosidade aparente, sendo viável a produção do bolo com redução calórica substituindo-se a gordura em até 46,86%. Pelos resultados encontrados, foi observado que a substituição do açúcar contribuiu mais acentuadamente que a substituição da gordura na formação de defeitos na estrutura do bolo. Os termogramas das massas dos bolos padrão e com redução de sacarose sugeriram que a presença de sucralose pode reduzir a temperatura de gelatinização do amido, acelerando esse processo e causando uma compactação da estrutura durante o assamento, favorecendo assim a coalescência das bolhas dispersas na massa.

Palavras-chave: Bolos. Redução calórica. Sucralose. Goma Xantana. Zeínas.

ABSTRACT

The consumption of cakes with calorie reduction is growing, but has presented challenges to be overcome in the formation of its structure when the sugar or fat are replaced by sweeteners, gums, thickeners or fat substitutes. The present study was to investigate the internal characteristics of cakes with calorie reduction and viability of producing the same pattern similar to conventional cake. Initially, we defined the mixing time and mass of fat source to be used in the formulation, using as parameter the specific volume. Next, we determined the pattern of the cake formulation from a factorial experimental design of the simple type, measuring the specific volume and cell count. From this formulation, sucrose and fat were partially substituted for the production of calorie reduced cake. Replacement of sugar was made in proportion of a mixture of xanthan gum (1.5%) and sucralose (1%), while the zein was used to replace fat. In cakes with sugar lowering evaluated the specific volume (VE), the cell count (CC) of the cakes, the apparent viscosity of the mass and its thermal properties by differential scanning calorimetry (DSC). In cakes with reduced fat content, the analyzes were VE, CC and apparent viscosity. It was found that the cake with increased VE was prepared with one hydrogenated vegetable fat and one (1) minute of mixing the dough. The standard formulation was defined as having 155.88 and 28.78 shares of sugar and fat, respectively. As the sugar content decreased (10.00 to 52.17%) were reduced specific volume (1.94 to 0.7 ml / g) and cell counts (from 36.2 to 4.0 cells / cm ²) the cake and the apparent viscosity of the mass (337.56 to 631.40 cP). By reducing the fat content, there were no significant differences between the samples for VE, CC and viscosity, and viable to produce cake with reduced calorie fat replacing up to 46.86%. For the results, it was observed that replacement of sugar contributed more sharply than the replacement of fat in the formation of defects in the structure of the cake. Thermograms of the mass of standard and cakes with reduced sucrose suggested that the presence of sucralose can reduce the starch gelatinization temperature, accelerating the process and causing a compression of the structure during baking, thereby facilitating the coalescing of bubbles dispersed in mass.

Keywords: Cake. Caloric reduction. Sucralose. Xantan Gum. Zein.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Dados econômicos de produção de bolos	14
3.2 Tipos de bolos	14
3.2.1 Bolos sem gordura	14
3.2.1.1 Bolo suspiro (<i>angel cake</i>).....	14
3.2.2 Bolos com gordura	15
3.2.2.1 Bolo esponja (<i>sponge cake</i>).....	15
3.2.2.2 Bolo <i>chiffon</i>	15
3.2.2.3 Bolo <i>genoise</i>	16
3.3 As funções dos ingredientes na fabricação de bolos	16
3.3.1 Açúcar	17
3.3.2 Gordura	17
3.3.3 Emulsificantes	18
3.3.4 Líquidos	18
3.3.5 Ovo	18
3.3.6 Fermento Químico	19
3.4 Ingredientes não convencionais	19
3.4.1 Substitutos de gordura	20
3.4.2 Substitutos de açúcar	20
3.5 Estudos realizados para a obtenção de bolos com valor calórico reduzido	21
4 METODOLOGIA	26
4.1 Material	26
4.1.1 Ingredientes	26
4.1.2 Equipamentos	26
4.2 Métodos	26
4.2.1 Definição do tempo de mistura da formulação da massa do bolo tipo esponja e da fonte lipídica	26

<i>4.2.2 Volume específico dos bolos</i>	27
<i>4.2.3 Definição da formulação do bolo padrão</i>	27
<i>4.2.4 Contagem de células dos bolos</i>	28
<i>4.2.5 Efeito da substituição do açúcar na estrutura do bolo</i>	28
<i>4.2.6 Viscosidade aparente da massa</i>	29
<i>4.2.7 Propriedades térmicas da massa</i>	29
<i>4.2.8 Efeito da substituição da gordura na estrutura do bolo</i>	29
4.3 Tratamento Estatístico	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 Definição do tempo de mistura e do tipo de gordura	31
5.2 Definição da formulação do bolo padrão	32
5.3 Efeito da substituição de açúcar na estrutura do bolo	36
5.4 Efeito da substituição de gordura na estrutura do bolo	40
5.5 Modelo proposto	43
6 CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Há uma preocupação crescente por parte da população, principalmente entre obesos e diabéticos, em consumir alimentos de baixo teor energético (FRYE; SETSER, 1991).

A indústria de alimentos está sendo desafiada a redesenhar alimentos tradicionais de ótimo valor nutritivo, entretanto mais saudáveis e com baixos teores de açúcar e gordura, tornando-os tão saborosos ou melhores que o original. Uma maneira de conseguir um produto alimentar saudável é reduzir ou retirar alguns ingredientes calóricos - especialmente açúcar e gordura - uma vez que o excesso de calorias e consequentemente a obesidade, é frequentemente citada como um grave problema de saúde. Ao mesmo tempo, há uma demanda constante de alimentos dietéticos destinados a diabéticos, que podem ter o mesmo valor calórico (RONDA *et. al.*, 2005). Entretanto, a remoção ou redução de algum dos ingredientes causa perda de qualidade em relação à aparência, textura, sabor e sensação na boca (FRYE; SETSER, 1991).

O peso dos brasileiros vem aumentando nos últimos anos. Em 2009, uma em cada três crianças de 5 a 9 anos estava acima do peso recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Conforme os resultados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2008-2009, realizada pelo IBGE em parceria com o Ministério da Saúde, o déficit de altura (importante indicador de desnutrição) caiu de 29,3% (1974-75) para 7,2% (2008-09) entre meninos e de 26,7% para 6,3% nas meninas, mas se sobressaiu no meio rural da região Norte: 16% dos meninos e 13,5% das meninas. A parcela dos meninos e rapazes de 10 a 19 anos de idade com excesso de peso passou de 3,7% (1974-75) para 21,7% (2008-09), já entre as meninas e moças o crescimento do excesso de peso foi de 7,6% para 19,4%. Também o excesso de peso em homens adultos saltou de 18,5% para 50,1% e ultrapassou, em 2008-09, o das mulheres, que foi de 28,7% para 48%. Nesse panorama, destaca-se a Região Sul (56,8% de homens, 51,6% de mulheres), que também apresenta os maiores percentuais de obesidade: 15,9% de homens e 19,6% de mulheres. O sobrepeso foi mais evidente nos homens de maior poder aquisitivo (61,8%) e variou pouco entre as mulheres (45-49%) em todas as faixas de renda (IBGE, 2010). A pesquisa também traz informações sobre as crianças com menos de cinco anos: o déficit de altura foi de 6% no país, sendo mais expressivo em meninas no primeiro ano de vida (9,4%), em crianças da região Norte (8,5%) e na faixa mais baixa de poder aquisitivo (8,2%) (IBGE, 2010).

Hoje o diabetes *mellitus* acomete o homem moderno em qualquer idade, condição social e localização geográfica. É caracterizado por uma deficiência absoluta ou relativa de insulina que irá influenciar negativamente no metabolismo dos carboidratos, proteínas, lipídios, água, vitaminas e minerais, e, durante a sua evolução, na dependência do controle metabólico obtido, podem advir complicações agudas e crônicas (OLIVEIRA, 2006).

Em estudo realizado pela Sociedade Brasileira de Diabetes (SBD) durante os anos de 2008 a 2010 em todo Brasil, constatou-se que cada vez mais cedo as pessoas estão desenvolvendo diabetes do tipo 1, e que uma das causas era o excesso de peso. Outro problema grave no Brasil é o diabetes tipo 2, que atinge de 7 a 9 milhões da população e uma das causas é o excesso de peso (SBD, 2012).

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).

De acordo com a ABIMA (Associação Brasileira de Indústrias de Massas Alimentícias, Pães e Bolos Industrializados), o brasileiro tem buscado consumir mais bolos industrializados. A procura é por maior praticidade, já que muitas pessoas não possuem mais tempo de fazer bolos caseiros. O consumo de bolos entre 2008 e 2009 foi de 1,4 kg por habitante/ano (ABIMA, 2010). Em nova pesquisa realizada pela ABIMA/Nielsen, mostrou que os bolos industrializados estão mais presentes nas mesas da população brasileira. Notícia de maio de 2011 mostrou que o consumo per capita deste tipo de produto foi 8,3% superior ao de 2010 (ABIMA, 2012).

As pessoas que mais se interessam por este tipo de produto são aquelas que priorizam a praticidade, estão abertas à experimentação e têm pressa. O brasileiro está cada vez mais sem tempo e, por isso, produtos nutritivos e que propiciem uma alimentação saudável e rápida são procurados, abrindo espaço para bolos com redução calórica (ABIMA, 2012).

A indústria de alimentos tem o desafio de produzir bolos menos calóricos, no entanto a substituição parcial ou total de alguns componentes, como açúcar e gordura, resulta claramente em perdas na aparência, textura e sabor (BAEVA, PANCHEV e TERZIEVA, 2000)

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as variações nas características estruturais do bolo em função da substituição de açúcar e de gordura

2.2 Objetivos Específicos

Observar as modificações das células na estrutura interna do bolo em função da redução do teor de açúcar e gordura na formulação padrão;

Investigar a influência da viscosidade aparente da massa e da temperatura de gelatinização do amido de trigo na formação de células;

Estudar o comportamento da expansão da estrutura da massa viscosa até a formação do bolo à medida que há substituição de açúcar e gordura na formulação;

Avaliar a viabilidade de produção de bolos com redução calórica com substituição de gordura ou açúcar.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Dados econômicos de produção de bolo

Enquanto a economia teve uma retração de 0,2% em 2009, o faturamento do mercado de bolo industrial cresceu 6%, chegando a R\$ 513,8 milhões, e seu volume de vendas, 7%. Os dados são da última pesquisa da Associação Brasileira de Indústrias de Massas Alimentícias e Nielsen. No acumulado dos últimos cinco anos, as vendas de bolos cresceram 24%, com destaque para o segmento de bolos do tipo monoporção, que podem ser consumidos individualmente (ABIMA, 2010).

3.2 Tipos de bolos

Os bolos são diferentes das outras misturas de farinha por causa da alta proporção de açúcar, gordura e ovos que contêm em relação à farinha e líquido. Os bolos são geralmente classificados em dois grupos: bolos com gordura e bolos sem gordura na formulação (CRAWFORD, 1985). Hui et al. (2006) descreveram alguns tipos de bolo:

3.2.1 *Bolos sem gordura*

3.2.1.1 Bolo suspiro (*angel cake*)

É um bolo sem gordura, no qual se utilizam claras de ovo e açúcar, que confere maciez à massa. Deve-se ter cuidado para que não haja presença de gema de ovo, pois a gordura (da gema) dificultará a formação da massa. As claras e o açúcar são batidos junto com o sal e o cremor tártaro (bitartarato de potássio) para formar a espuma. 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 cozimento, assim como durante o resfriamento. Sua temperatura de assamento varia de 190-204°C.

Figura 1 – Bolo do tipo *Angel cake*.



3.2.2 *Bolos com gordura*

3.2.2.1 Bolo esponja (*sponge cake*)

Para a sua preparação, deve-se evitar ao máximo a perda de volume da massa. Geralmente, separa-se a gema da clara do ovo, batendo-as separadamente com açúcar para em seguida fazer a junção das duas misturas, acrescentando-se lentamente o restante dos ingredientes (margarina ou manteiga fundida, farinha, flavorizantes e líquidos).

Figura 2 – Bolo do tipo *Sponge cake*.



3.2.2.2 Bolo *chiffon*

Esse tipo de bolo combina os processos de fabricação do bolo suspiro (*angel cake*) e do bolo esponja (*sponge cake*).

Inicialmente, as claras de ovo 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, gemas de

ovos e flavorizantes, misturando-os até completa homogeneização. Por último, faz-se a adição das “claras em neve” à massa homogeneizada obtida na etapa anterior.

Figura 3 – Bolo do tipo *chiffon cake*.



3.2.2.3 Bolo *genoise*

Feito a partir da mistura de nata de leite parcialmente desengordurada com açúcar, farinha de trigo, ovos e flavorizante, de maneira que inicialmente batem-se os ovos, em seguida o açúcar com o flavorizante e a farinha e, por último, adiciona-se a nata até a completa homogeneização. Esse tipo de bolo tem um teor reduzido de gordura e é bastante utilizado em sobremesas sofisticadas.

Figura 4 – Bolo do tipo *genoise cake*.



3.3 As funções dos ingredientes na fabricação de bolos

O tipo, a qualidade e a proporção dos ingredientes são fatores importantes na determinação das qualidades características das massas. A proporção de líquidos em relação

aos sólidos e o método de misturar os ingredientes são provavelmente os fatores que, sendo alterados, produzem as diferenças mais evidentes na qualidade dos produtos (CRAWFORD, 1985).

3.3.1 Açúcar

O açúcar não só confere doçura, mas contribui para a geração de compostos do aroma durante o assamento e atua como um regulador na desnaturação do glúten e na formação da estrutura do bolo por retardar a temperatura de gelatinização do amido (POZO-BAYON; GUICHARD; CAYOT, 2006; ORNELLAS, 1995).

A sacarose faz com que os cristais de gordura se agreguem, possibilitando um maior aprisionamento das bolhas dentro da massa durante o assamento. Devido às altas concentrações de açúcar no bolo, o ar fica bem incorporado (DEMIRKESEN *et al.*, 2010). Segundo Kim e Walker (1992a), em bolos com altos teores de açúcar e água, há um aumento da viscosidade e uma estabilidade da massa, importantes para uma boa formação na estrutura do bolo.

O açúcar afeta a estrutura física do bolo pelo fato de regular a gelatinização do amido. Como resultado, temos bolos com textura e granulidade melhores, mais leves, devido à ação da sacarose no retardo do início da temperatura de gelatinização. A sacarose também aumenta a temperatura de desnaturação protéica, melhorando a estrutura rígida do bolo (BENNION; BAMFORD, 1997). Estudos sobre os efeitos de diferentes açúcares sobre a gelatinização do amido através de análises das propriedades térmicas da massa mostraram que dissacarídeos retardam mais a gelatinização do amido quando comparados a monossacarídeos (KIM e WALKER, 1992b).

3.3.2 Gordura

Nas receitas comuns de bolo, a gordura é batida inicialmente com as gemas e o açúcar, tomando aspecto cremoso e, ao se adicionar a farinha, o creme age sobre o glúten impedindo a posterior penetração de líquidos, ficando assim alterada a visco-elasticidade do glúten, resultando numa massa mais macia e um aspecto compactado (ORNELLAS, 1995).

A gordura é capaz de modificar as propriedades estruturais dos bolos, afetando a aparência e o sabor, agindo como um melhorador de sabor (POZO-BAYON; GUICHARD; CAYOT, 2006). O conteúdo de gordura também afeta a estrutura e a cor de um alimento. As

gorduras são determinantes para o sabor ou características aromáticas de muitos alimentos, porque muitos componentes aromáticos são solúveis em lipídios (VANDERVEEN; GLINSMANN, 1992). Conforme Bennion e Bamford (1997), a gordura em bolos causa não só a incorporação do ar como atua como emulsificante e confere maciez ao bolo.

3.3.3 Emulsificantes

Emulsificantes são muito usados na produção de bolos para melhorar a incorporação de ar das massas e também o volume e a textura (células) dos bolos (WOOTTON et al., 1967).

3.3.4 Líquidos

Os líquidos mais usados são a água, o leite (leite fresco, leite coalhado ou leite em pó reconstituído) e os sucos de frutas. Os líquidos promovem o desenvolvimento do glúten, e juntamente com a elevação de temperatura, a gelatinização do amido. Pela cocção, parte da água é absorvida pelo amido e outra parte transforma-se em vapor, facilitando a aeração da massa (ORNELLAS, 1995). Segundo Wilson e Donelson (1963), o total de líquido recomendado na formulação deve estar em torno de 25-35%, contabilizando a água contida nos ovos e leite ou suco. Os autores observaram que bolos com menos que 25% de líquido apresentaram-se com grande volume, sem forma e com textura quebradiça, enquanto os bolos com mais de 35% apresentaram volumes pequenos e úmidos internamente.

3.3.5 Ovo

Ovos são muito usados na produção de bolos por suas propriedades nutricionais e principalmente funcionais, como a capacidade de suas proteínas de formar espuma, atuar como emulsificante e formar estrutura com o aquecimento (JOHNSON; HAVEL; HOSENEY, 1979).

Conforme Wilderjans et al. (2010), as proteínas da clara do ovo são frequentemente usadas em receitas alimentícias por suas propriedades funcionais, contribuindo na formação de espuma e na estabilização ou agregação das proteínas durante o aquecimento. A clara do ovo contém proteínas (albuminas) que, numa fase contínua aquosa, contribuem para a incorporação e estabilização do ar em forma de minúsculas bolhas.

3.3.6 Fermento Químico

Fermentos químicos são misturas em pó de bicarbonato, amido e um sal ácido, que, em presença da água, reagem com o bicarbonato de sódio produzindo anidrido carbônico. Os sais ácidos mais usados são tartaratos, fosfatos e sulfatos – de potássio, cálcio, sódio e alumínio. Todos os fermentos em pó deixam um resíduo. O gás carbônico formado é liberado com o aquecimento da massa durante o assamento e ajuda na formação de bolhas. O uso excessivo de fermento gera uma quantidade excessiva de gás e produz um sabor residual desagradável (ORNELLAS, 1995).

3.4 Ingredientes não convencionais

A elaboração de produtos que apresentem redução no teor calórico pode ser feita pela substituição parcial ou total de ingredientes com elevado teor calórico (como gorduras e açúcares) por ingredientes com valor calórico reduzido. A formulação de produtos com teor calórico reduzido requer a utilização criativa de ingredientes que não são tipicamente encontrados em produtos de panificação. A substituição de alguns ingredientes pode afetar as interações entre os demais ingredientes, que influenciam a textura, a estabilidade, o sabor e a doçura desses produtos (PONTES, 2006). No desenvolvimento de produtos de baixo teor de calorias deve-se ter em conta que o substituto da gordura ou do açúcar deve desempenhar funções equivalentes em termos funcionais e sensoriais (CÂNDIDO e CAMPOS, 1996).

A indústria de panificação é cautelosa sobre reduzir o teor de gordura de produtos. Esses produtos são difíceis de se produzir (principalmente por causa de alterações de manipulação e de processamento) e de se ter qualidade, especialmente quanto ao sabor, à textura e à “sensação na boca” ou *mouthfeel*; são muitas vezes considerados de menor qualidade do que em produtos padrão. Sua vida útil pode também ser mais curta e os conhecimentos de como os substitutos de gordura funcionam é limitado (MANDALA; DAOUAHER, 2005).

3.4.1 Substitutos de gordura

O termo substituto de gordura implica que uma substância, quando usada como substituta da gordura tradicional contida no alimento, tenha certamente as desejáveis

propriedades físicas e sensoriais da gordura substituída (VANDERVEEN; GLINSMANN, 1992). A substituição parcial ou total da gordura pode diminuir a qualidade do produto final em termos de sabor, textura e volume (SOWMYA et al., 2009).

O grande impulso para o desenvolvimento de substitutos de gordura é que as propriedades nutricionais da gordura contribuem para uma ingestão excessiva de energia e o desenvolvimento de doenças. Não só as gorduras contêm mais do que o dobro de calorias comparada a outros macronutrientes em alimentos, mas a ingestão de gordura total e ácidos graxos e lipídios específicos, como colesterol, é hoje considerado um fator de risco de algumas doenças (VANDERVEEN; GLINSMANN, 1992).

Os substitutos de gordura derivados de fontes tradicionais de alimentos são primariamente carboidratos, proteínas ou a combinação de ambos. Gomas como alginatos, guar, carragena e xantana são amplamente usadas em cremes de cobertura e certos doces. Proteínas como a gelatina ou o soro de leite têm sido frequentemente utilizadas para assegurar a estabilidade e melhorar a “sensação na boca”. Além das gomas, vários espessantes solúveis em água, derivados de hemicelulose e outras fibras solúveis, podem ser usados para substituir parte da gordura que é tradicionalmente adicionada aos alimentos (VANDERVEEN; GLINSMANN, 1992). Outro substituto de gordura é a zeína,. As zeínas fazem parte das prolaminas, que ocorrem especificamente nos cereais (equivalente às gliadinas no trigo) e perfazem aproximadamente 80% do total das proteínas presentes no milho (SHUKLA e CHERYAN, 2001).

3.4.2 Substitutos de açúcar

Como substitutos de açúcar são muito usados os edulcorantes, os quais têm seus limites máximos permitidos segundo a Vigilância Sanitária (BRASIL, 2001).

Quando o açúcar é substituído na formulação, os maiores efeitos são sobre as propriedades sensoriais e também sobre o nível de doçura do produto final. A substituição do açúcar também impacta no tempo de comercialização do produto final (BENNION; BAMFORD, 1997, FRYE; SETSER, 1991).

O consumo da sucralose, que teve seu uso aprovado em novembro de 1995 (BRASIL, Portaria nº 318, 1995), vem crescendo gradativamente por causa de suas propriedades específicas, como a estabilidade em altas temperaturas (BENNION; BAMFORD, 1997, SAVITHA; INDRANI; PRAKASH, 2008).

A sucralose possui poder adoçante elevado – seiscentas vezes mais doce que a sacarose em solução a 5% (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996; LIN; LEE, 2005). Por não ser metabolizada pelo organismo humano, não contribui com calorias (BARNDT; JACKSON, 1990; LIN; LEE, 2005).

Devido à sua estabilidade em meio ácido e em temperaturas altas, a sucralose pode ser utilizada em produtos pasteurizados, assados e esterilizados, inclusive por UHT, constituindo-se em excelente ingrediente para o processamento térmico. As propriedades químicas são muito similares às do açúcar, e não interage com os demais ingredientes comumente utilizados no processamento de alimentos (BARNDT; JACKSON, 1990).

Além disto, por não ser metabolizada pelo homem, a sucralose, assim como o acesulfame-K, sacarina, aspartame, entre outros, não afeta o nível de glucose e colesterol sanguíneo, podendo ser incorporada à dieta de diabéticos (STAMP, 1990).

3.5 Estudos realizados para a obtenção de bolos com valor calórico reduzido

Estudos para avaliar fatores que interferem na boa formação de 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, bolos com teores reduzidos de gordura e de açúcar começaram a ser estudados (COLEMAN; HARBERS, 1983, KAMEL; RASPER, 1988, JOHNSON; HARRIS; BARBEAU, 1989), pois a substituição desses componentes interfere na qualidade do produto final (FRYE; SETSER, 1991).

No bolo, o glúten funciona mais como agente espessante do que como agente estrutural, como ocorre na massa dos pães (DONELSON; WILSON, 1960), devido aos altos teores de gordura e açúcar que impedem seu completo desenvolvimento. Em altas concentrações de açúcar, normalmente 55-60% em bolos, sabe-se que este retarda a gelatinização do amido de 57°C para 92°C (BEAN; YAMAZAKI; DONELSON, 1978, KOCER et al., 2007).

Estudos têm mostrado que a redução substancial de açúcar e gordura 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 (1992a) estudaram bolos com substituição de açúcar por diferentes fontes de amido, encontrando que bolos com dextrose associada ao amido de trigo e de batata tiveram menor volume, enquanto com amido de milho foi o contrário. O aumento de volume com o amido de milho foi atribuído a uma redução na temperatura de formação da estrutura

do bolo, controlando a temperatura de gelatinização em conjunto com o aumento da viscosidade da massa no início do assamento. O resultado sugere que o ponto de gelatinização do amido coincide com um tamanho uniforme das células e um maior volume do bolo.

Attia, Shehata e Askar (1993) propuseram fórmulas usando o aspartame e/ou o acesulfame-K como adoçantes, além de uma fórmula com frutose como substituto da sacarose e polidextrose como espessante, observando que, adicionando qualquer edulcorante como substituto de açúcar, houve perda da qualidade e aceitabilidade dos bolos. A formulação envolvendo frutose e polidextrose tiveram aceitabilidade similar ao bolo-padrão. Os autores conseguiram obter bons resultados de aceitação para bolos com redução calórica de 40%.

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

Durante o processo de cozimento de uma massa de bolo, todas as mudanças físicas e estruturais que determinam a qualidade do produto final, tais como gelatinização do amido, caramelização e expansão de volume, estão relacionadas a fenômenos de aquecimento interno e de transferência de calor (LOSTIE et al., 2002). Ocorre também evaporação de água, desnaturação protéica e reação de Maillard. Além disso, ocorre expansão da massa devido à produção e expansão térmica de gás (CHEVALLIER et al., 2000).

O principal mecanismo de desestabilização da massa do bolo é a expansão de gás a partir de pequenas a grandes bolhas. Assim, uma massa com variações extremas de tamanho da bolha é instável. Uma massa de viscosidade suficientemente elevada diminui a mobilidade das bolhas de ar permitindo um aumento da estabilidade da massa (HICSASMAZ et al., 2003).

Baeva, Panchev e Terzieva (2000) estudaram os efeitos da substituição total de sacarose por aspartame microencapsulado e agentes espessantes, como sorbitol, amido e germen de trigo, sobre 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 aos do bolo convencional para 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 sugerem que os bolos contendo sacarose ou eritritol tenham a mesma habilidade de reter ar.

Mais recentemente, Ronda, Gómez Blanco e Caballero (2005) estudaram o efeito da substituição total de sacarose pelos edulcorantes maltitol, manitol, xilitol, isomaltose, sorbitol, oligofrutose e pelo espessante polidextrose sobre 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 sacarose, com textura mais leve para os bolos livres de açúcar, e entre bolos frescos e armazenados, a firmeza aumentou com o passar dos dias.

Em relação à qualidade dos bolos, Zambrano et al. (2005) observaram que a utilização de goma xantana como substituto parcial de gordura em bolos apresentou bons resultados, por provocar um aumento no volume do produto por meio do aumento da viscosidade aparente da massa, 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 a estrutura um pouco mais frágil 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. Em relação à estrutura celular, obtiveram bons resultados para todos os tratamentos, porém os bolos feitos com goma xantana tinham estrutura mais frágil que o padrão. Os autores verificaram que o menor volume específico foi relacionado com a maior quantidade de goma utilizada e 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.

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 bolhas de ar subam para a superfície e se percam assim que começa o aquecimento. A formulação com maior substituição de açúcar por sucralose e dextrina teve uma temperatura de gelatinização mais baixa que as formulações com teor mais baixo 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 sacarose 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 parecido 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 bolhas 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 protéica. A diminuição nessas temperaturas é esperada por causar mudanças na matriz protéica 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, o que causa a expansão inadequada das bolhas de ar.

Como as massas de bolo são sistemas complexos de emulsões de macromoléculas, e 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 bolhas 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). A gelatinização do amido, a viscosidade das misturas e as características dos geis formados dependem não apenas da temperatura, mas também dos demais componentes da mistura, já que, em muitos casos, o amido está misturado com açúcares, gorduras, proteínas, ácidos e água. Estas substâncias podem reagir com o amido, retardando ou impedindo sua união às moléculas de água, e, portanto, atrasar o inchamento dos grânulos (ORDÓÑEZ, 2005). Wilderjans et al. (2008) afirmaram que diferentes graus de gelatinização influenciam no volume do produto final e, no caso de bolos, a interação e o contato entre água e amido resultam em bolos de maior volume. As interações entre açúcar e amido são importantes, já que o primeiro influencia no processo de gelatinização e nas mudanças estruturais do amido gelatinizado após o cozimento (TORLEY e Van Der MOLEN, 2005).

Demirkesen et al. (2010), que estudaram diferentes formulações de pães livres de glúten, constataram que a goma xantana proporcionou altas propriedades viscoelásticas, porém um baixo volume específico dos pães. Os autores explicam que isso deve ocorrer pela

formação de uma massa rígida a ponto de não incorporar gases, resultando em baixo volume específico. Hicsasmaz et al. (2003) afirmam que há duas razões que afetam a expansão de bolos: diminuição da estabilidade da massa durante o estágio de aquecimento e mudanças na temperatura de formação da estrutura do bolo devido à substituição de açúcar, pois sabe-se que o açúcar retarda a gelatinização do amido.

4 METODOLOGIA

4.1 Material

4.1.1 *Ingredientes*

- Sucralose Splenda[®] (Tate e Lyle, Brasil)
- Goma xantana (Gastronomy Lab, Brasil)
- Zeína do milho p.a.(Sigma-Aldrich, EUA)
- Açúcar (Vovó Zuza, Brasil)
- Margarina (Primor, Brasil)
- Gordura vegetal hidrogenada (Mesa, Brasil)
- Farinha de trigo (umidade-14,0%; proteína-10,5%; Brandini, Brasil)
- Fermento (Royal, Brasil)
- Leite em pó (umidade-3,5 %; proteína-25,8%; Itambé, Brasil)
- Ovo comercial

4.1.2 *Equipamentos*

- Batedeira ARNO com cinco velocidades, modelo BPA.
- Forno elétrico CONTINENTAL, modelo turbo advance.
- Balança analítica TOLEDO, modelo AR2140
- Scanner de impressora multifuncional HP, série F380
- Viscosímetro BROOKFIELD, modelo DVII+
- Calorímetro diferencial de varredura (DSC), marca NETZSCH, modelo 200F3

4.2 Métodos

4.2.1 *Definição do tempo de mistura da formulação da massa do bolo tipo esponja e da fonte lipídica*

A partir de uma formulação pré-estabelecida, foram feitos ensaios com cinco repetições variando as fontes lipídicas (margarina e gordura vegetal hidrogenada) e cinco tempos de mistura da massa (1, 2, 3 4, e 5 minutos) da seguinte forma: inicialmente, foram

misturados 118,35 partes de açúcar e 38,37 partes de gordura (margarina ou gordura vegetal hidrogenada) simultaneamente na batedeira planetária até que a mistura adquirisse uma consistência uniforme (3 minutos na velocidade 1). Em seguida, adicionaram-se 47,96 partes de ovos (tempo de mistura: 1 minuto/velocidade 1) e 100 partes de farinha de trigo, 0,91 partes de fermento químico e 6,79 partes de leite em pó (reconstituído em 56,59 partes de água) com tempo de mistura de 1,5 minutos/velocidade 1. Após a mistura de todos os ingredientes, foram retiradas massas de aproximadamente 30 g, misturadas na velocidade 5, nos tempos de 1, 2, 3 4 e 5 minutos, depositadas em assadeiras tipo W de 7 cm de diâmetro, assadas a 180,0 °C durante 15 minutos e resfriadas a temperatura ambiente. Após uma hora, determinou-se o volume específico dos bolos (com 5 repetições).

4.2.2 Volume específico dos bolos

Medido por deslocamento de semente de painço conforme descrito pela metodologia da AACC (2000) nas amostras do bolo recém-preparado. Análises feitas com três repetições.

4.2.3 Definição da formulação do bolo padrão

Obtida através de um planejamento experimental do tipo fatorial simples com 7 ensaios (StatSoft, 1994), tendo como variáveis independentes o açúcar (350,00 a 650,00 g) e a gordura (120,00 a 240,00 g) e como variáveis dependentes o volume específico e a contagem de células, usando forma tipo W de 22 cm de diâmetro (TABELA 1).

O preparo foi conforme descrito no item 4.2.1, utilizando a fonte lipídica e o tempo de mistura da massa com melhores resultados, variando os teores de gordura e açúcar conforme cada formulação (TABELA 1), porém manteve-se o aquecimento por 60 minutos.

Tabela 1 – Delineamento do planejamento experimental do tipo fatorial simples com valores das variáveis independentes para a definição da formulação padrão.

Formulação	Açúcar (g)	Gordura (g)
1	350,00	120,00
2	650,00	120,00
3	350,00	240,00
4	650,00	240,00
5	500,00	180,00
6	500,00	180,00
7	500,00	180,00

4.2.4 Contagem de células dos bolos

Fatias de bolo de 11,00 mm de espessura de cada formulação foram escaneadas, fazendo-se a contagem das células formadas após o assamento num quadrado de 5 x 5 cm, localizado no centro da fatia examinada, conforme metodologia adaptada de Wilderjans et al. (2008). Análises feitas com três repetições.

4.2.5 Efeito da substituição do açúcar na estrutura do bolo

Introduziram-se na formulação-padrão reduções decrescentes de 10 % do teor de açúcar da formulação definida, substituindo-a proporcionalmente por uma solução de sucralose 1% em goma xantana a 1,5% conforme apresentado na tabela 2, mantendo-se as quantidades dos demais ingredientes fixos (TABELA 2). Foram medidas as seguintes variáveis: viscosidade aparente, volume específico, contagem de células e propriedades térmicas da massa (usado para medir a gelatinização do amido).

Tabela 2 – Valores das quantidades de açúcar e solução de sucralose e goma em cada formulação e os respectivos níveis de substituição.

Formulação	Açúcar (g)	Sucralose+Goma (g)	Nível de substituição de açúcar (%)
Padrão	650,00	0,00	0,00
1	585,00	65,00	10,00
2	526,50	123,00	19,00
3	473,85	176,15	27,10
4	426,47	223,54	34,39
5	383,82	266,18	40,95
6	345,44	304,56	46,86
7	310,89	339,11	52,17

4.2.6 Viscosidade aparente da massa

Determinada a 25,0 °C, em viscosímetro BROOKFIELD modelo DVII+ acoplado a um controlador de temperatura THERMOSEL, utilizando-se o spindle 28, nas rotações de 20, 30, 40 e 50 rpm com período de padronização de 20 minutos, conforme metodologia descrita por Ronda et al. (2011). Análises feitas com três repetições.

4.2.7 Propriedades térmicas da massa

Para a obtenção das propriedades térmicas da massa foi utilizado um calorímetro diferencial de varredura (DSC) com amostras de 8,0 mg das massas dos bolos com redução de açúcar, em cápsulas de alumínio seladas, tendo como referência uma cápsula de alumínio selada vazia, com uma velocidade de aquecimento de 10°C/min no intervalo de temperatura de 20-250°C, conforme Wilderjans et al. (2008). As amostras foram escolhidas aleatoriamente.

4.2.8 Efeito da substituição da gordura na estrutura do bolo

Substituiu-se proporcionalmente a quantidade de gordura presente por zeína p.a., por meio de reduções decrescentes de 10 % de gordura na formulação-padrão conforme tabela 3, mantendo as quantidades dos demais ingredientes da formulação definida fixos. Foram

determinados: viscosidade aparente da massa, volume específico e contagem de células dos bolos.

Tabela 3 – Valores das quantidades de gordura e zeína em cada formulação e os respectivos níveis de substituição.

Formulação	Gordura (g)	Zeína (g)	Nível de substituição de gordura (%)
Padrão	120,00	0,00	0,00
1	108,00	12,00	10,00
2	97,20	22,80	19,00
3	87,48	32,52	27,10
4	78,73	41,27	34,39
5	70,86	49,14	40,95
6	63,77	56,23	46,86

4.3 Tratamento Estatístico

Os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística e tiveram suas médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o programa estatístico Statistica (Statsoft) versão 7.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Definição do tempo de mistura e do tipo de gordura

A utilização de margarina não influenciou o volume específico do bolo, conforme pode-se visualizar na tabela 4, pois os valores encontrados nos diferentes tempos de mistura não diferiram significativamente entre si ($p < 0,05$), apesar de se notar uma tendência de diminuição do volume específico (VE) com o aumento do tempo, podendo ser interpretado como uma inabilidade desse tipo de gordura para ajudar na retenção de ar à massa e conseqüentemente no volume específico do bolo.

Já com o uso de gordura vegetal hidrogenada (GVH) observou-se uma variação nos volumes específicos com o aumento do tempo de mistura. Comparando o volume específico (VE) do tempo de mistura de 1 minuto com os outros VE nos demais tempos, observou-se diferenças significativas entre eles, mostrando que existe uma diferença de habilidades entre a margarina e a gordura vegetal hidrogenada (GVH) na incorporação de ar à massa.

Esse fato pode ser explicado em função do menor teor de gordura total na margarina (60% de lipídios), pois na sua composição contém água e sal em quantidades consideráveis, ao contrário da gordura vegetal hidrogenada. Assim sendo, mesmo que ambas as gorduras tenham um perfil de triacilgliceróis similares, a margarina contém um teor de β' cristais (responsáveis pela plasticidade da massa) inferior ao da GVH (Mattil, 1964 apud Bennion & Bamford, 1997). Dessa forma, esses resultados nos levam a concluir que na formulação desse bolo o uso da GVH foi mais vantajoso que o da margarina para saturação de ar da massa.

Uma vez decidida a fonte lipídica, o tempo de mistura de 1 minuto foi estabelecido através do maior valor de VE encontrado e da comparação estatística entre os valores na mesma linha e na mesma coluna (TABELA 4).

Tabela 4 – Média (n=5) do volume específico dos bolos-padrão com margarina e gordura vegetal hidrogenada na formulação para diferentes tempos de mistura.

Tempo de mistura (min)	Volume Específico (mL/g)(*)	
	Margarina	Gordura
1	1,65 ± 0,14 ^{aB}	2,05 ± 0,29 ^{aA}
2	1,58 ± 0,08 ^{aB}	1,88 ± 0,25 ^{abA}
3	1,56 ± 0,06 ^{aB}	1,94 ± 0,12 ^{abA}
4	1,45 ± 0,15 ^{aB}	1,79 ± 0,11 ^{abA}
5	1,38 ± 0,33 ^{aA}	1,66 ± 0,09 ^{bA}

(*) Letras minúsculas sobrescritas indicam diferenças de significância entre linhas da mesma coluna e letras maiúsculas sobrescritas indicam diferenças de significância entre colunas da mesma linha para $p < 0,05$.

5.2 Definição da formulação do bolo padrão

Uma vez decidido o tipo de gordura utilizado na formulação e a determinação do nível máximo de incorporação de ar da massa em função do tempo de mistura, mostrou-se, nas figuras 5 e 6 respectivamente, os gráficos das superfícies de resposta encontradas com a variação dos teores de gordura e açúcar para volume específico (VE) e contagem de células (CC).

Pelo gráfico da figura 5 pode-se perceber que maiores valores de açúcar influenciaram em um aumento do volume específico, enquanto a gordura não apresentou influência sobre o mesmo.

Figura 5 – Superfície de resposta do volume específico em função de açúcar e gordura.

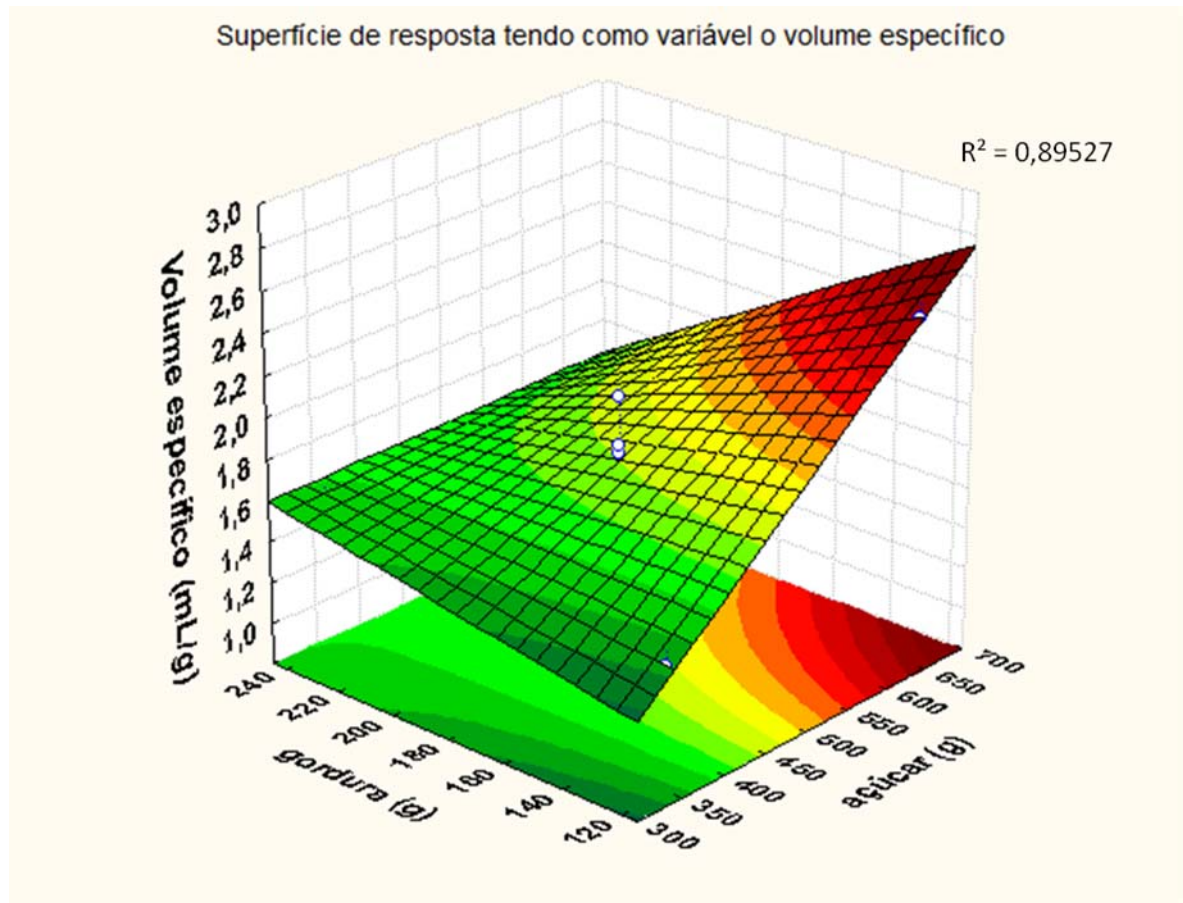


Tabela 5 – ANOVA para volume específico dos bolos padrão do planejamento por fatorial simples.

	Soma quadrática	GL	Média quadrática
Regressão	0,718875	3	0,239625
Resíduo	0,084096	3	0,028032
Total	0,802971	6	

Para $P < 0,05$

Ao se observar o gráfico da figura 6, constatou-se que o açúcar teve grande influência sobre a contagem de células; ao contrário da gordura, mostrando que, aumentando o teor de açúcar, houve uma resposta maior para a contagem de células, sendo que essa resposta foi maior em teores de gordura mais baixos.

Figura 6 – Superfície de resposta da contagem de células em função de açúcar e gordura.

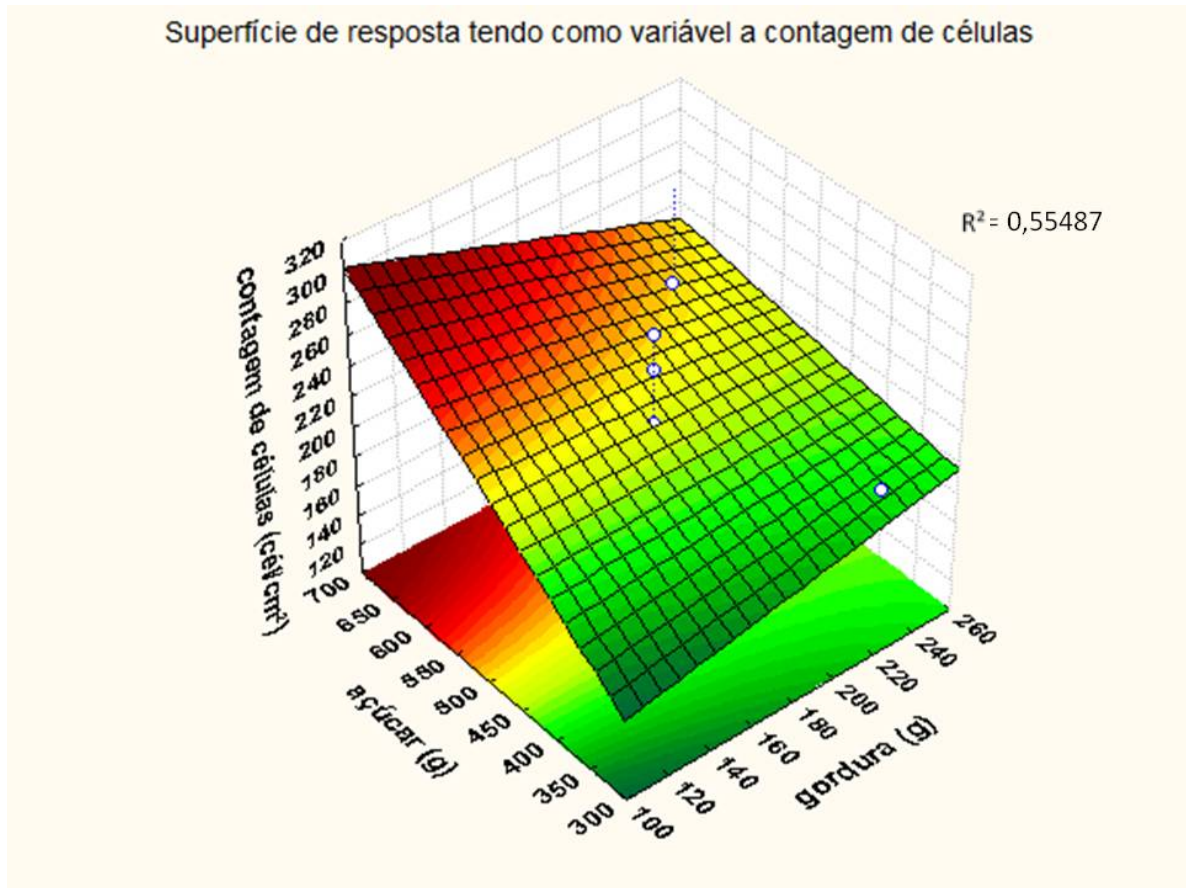


Tabela 6 – ANOVA para contagem de células dos bolos padrão do planejamento por fatorial simples.

	Soma quadrática	GL	Média quadrática
Regressão	5904,75	3	1968,25
Resíduo	4736,96	3	1578,99
Total	10641,71	6	

Para $P < 0,05$

A partir dos valores encontrados para VE e CC (TABELA 7), observou-se significância ($p < 0,05$) somente para volume específico (TABELAS 5 e 6). Assim, levou-se em consideração a formulação de melhor resultado para volume específico (formulação 2 da

TABELA 7). Através da tabela 7, pode-se definir os melhores teores de GVH e açúcar, permitindo assim a escolha de um padrão de referência, onde o teor definido de gordura e açúcar foi de 120,00g e 650,00g (podendo ser representado por 28,78 e 155,88 partes conforme TABELA 8), respectivamente.

Tabela 7 – Valores de Volume Específico (VE) e Contagem de Células (CC) para as formulações do planejamento experimental.

Formulação	Açúcar (g)	Gordura Vegetal Hidrogenada (g)	VE (g/mL)	CC (cél/cm ²)
1	350,00	120,00	1,39	31,60
2	650,00	120,00	2,47	51,80
3	350,00	240,00	1,53	35,60
4	650,00	240,00	1,60	42,80
5	500,00	180,00	1,80	49,80
6	500,00	180,00	2,07	54,20
7	500,00	180,00	1,84	42,80

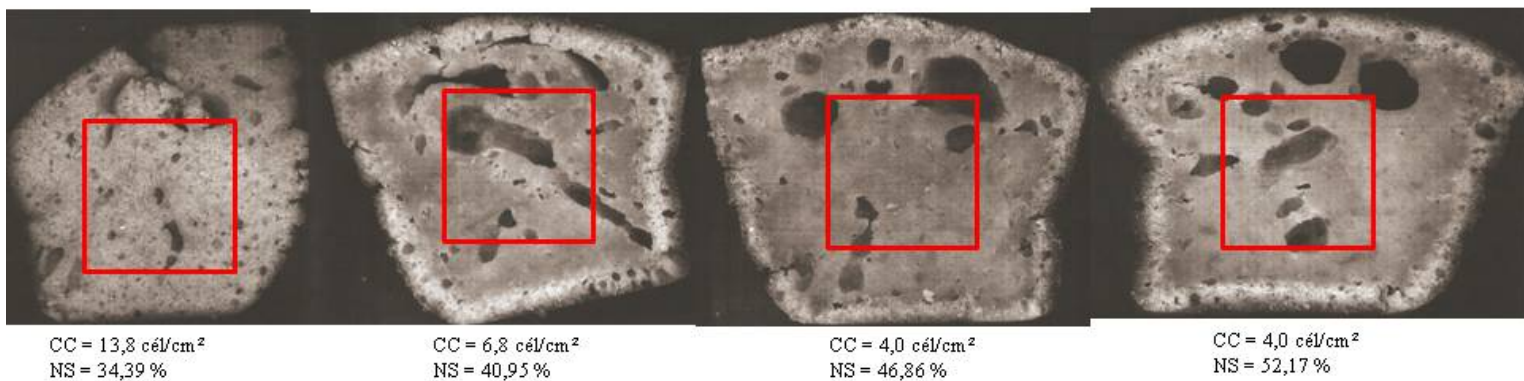
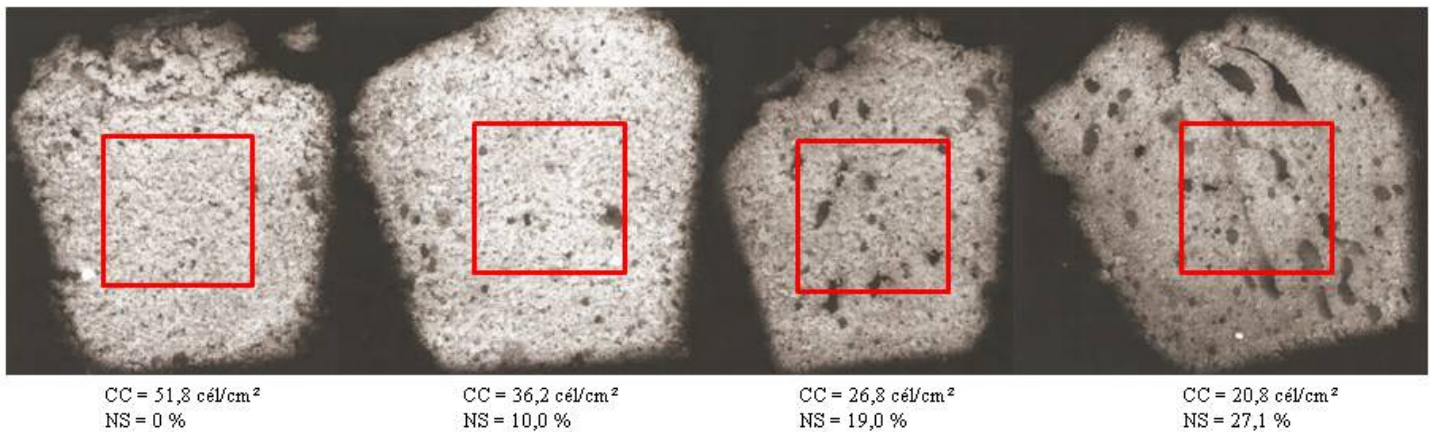
Tabela 8 – Formulação definida para o bolo padrão.

Ingrediente	Partes
1. Farinha	100,00
2. Açúcar	155,88
3. Gordura vegetal hidrogenada	28,78
4. Leite em pó	6,79
5. Ovo	46,96
6. Fermento Químico	1,00
7. Água	56,59

5.3 Efeito da substituição de açúcar na estrutura do bolo

Nas figuras 7 e 8 pode-se observar o efeito da substituição do açúcar na estrutura interna do bolo. À medida que o teor de açúcar foi reduzido na formulação, foi percebida uma formação heterogênea de células (FIGURA 7) e uma redução na quantidade das mesmas (FIGURA 8).

Figura 7 – Efeitos da substituição de açúcar sobre a estrutura dos bolos padrão (NS = 0%) e com substituição progressiva de açúcar.



CC = Contagem de células
NS = Nível de substituição de açúcar

A partir de 19,0% de nível substituição, começaram a ser observadas macro-bolhas (buracos), como se essa formação fosse originada a partir da aglomeração de pequenas células. Associadas ao seu contorno, podemos também observar uma compactação da estrutura interna com aspecto de uma alta concentração de amido gelatinizado (zonas mais

escuras), por causa do provável efeito da sucralose no abaixamento da temperatura inicial da faixa de gelatinização do amido de trigo presente na formulação, conforme pode ser constatado também pelos termogramas das amostras de massa de bolo com redução crescente do teor de açúcar (FIGURA 9 e TABELA 10). Embora a sucralose influencie na antecipação da gelatinização do amido, há estudos que mostram uma possível interação entre polissacarídeos não-amiláceos (por exemplo, a goma xantana) e amido de trigo. Tester e Somerville (2003) acreditam que as gomas retardem a gelatinização por diminuírem a capacidade de hidratação das regiões amorfas do amido.

Figura 8 – Contagem de células em função do nível de substituição de açúcar.

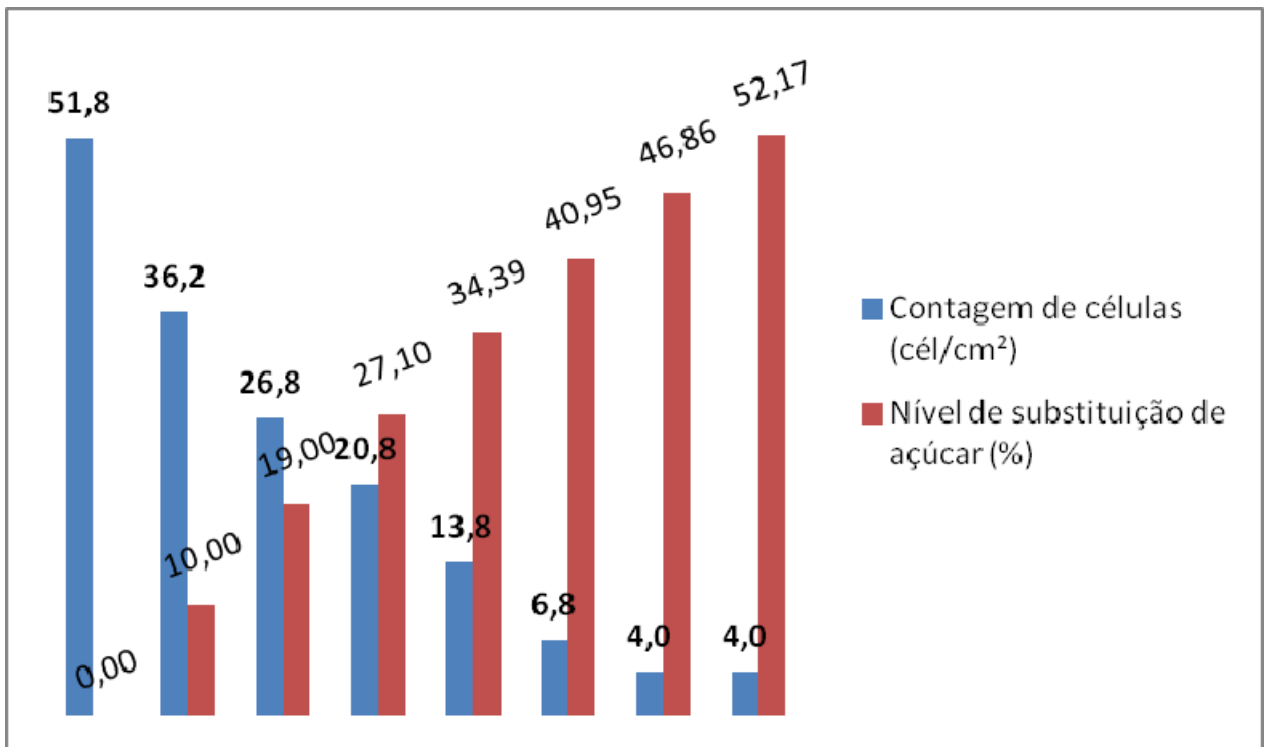


Tabela 9 – Médias (n=3) de viscosidade aparente das massas e de volume específico dos bolos com redução de açúcar.

Nomenclatura das amostras	Açúcar (g)	Sucralose +Goma (g)	Nível de substituição de açúcar (%)	VE (mL/g)	Viscosidade a 20 rpm (cP)	Viscosidade a 30 rpm (cP)	Viscosidade a 40 rpm (cP)	Viscosidade a 50 rpm (cP)
Padrão	650,00	0,00	0,00	2,47 ^a ± 0,04	7700,00 ^a ± 38,24	5862,50 ^a ± 17,55	4900,25 ^a ± 12,79	4327,50 ^a ± 5,19
1.3	585,00	65,00	10,00	1,94 ^b ± 0,89	991,38 ^b ± 24,85	795,60 ^b ± 10,48	698,20 ^c ± 9,63	631,40 ^f ± 10,89
2.3	526,50	123,00	19,00	1,59 ^c ± 0,54	3373,56 ^c ± 77,60	2595,48 ^c ± 58,69	2151,38 ^b ± 40,46	1855,70 ^b ± 32,06
3.3	473,85	176,15	27,10	0,81 ^e ± 0,22	2247,44 ^e ± 55,29	1706,71 ^e ± 29,64	1410,06 ^d ± 32,88	1193,50 ^e ± 14,06
4.3	426,47	223,54	34,39	0,70 ^e ± 0,18	2565,06 ^{d,e} ± 53,01	1909,02 ^d ± 44,92	1513,63 ^d ± 28,74	1260,88 ^d ± 23,84
5.3	383,82	266,18	40,95	1,20 ^d ± 0,14	2555,44 ^{d,e} ± 32,88	1905,75 ^d ± 30,55	1518,63 ^d ± 21,34	1270,50 ^d ± 22,67
6.3	345,44	304,56	46,86	1,16 ^d ± 0,09	2704,63 ^d ± 11,11	2040,50 ^d ± 14,82	1660,51 ^c ± 12,43	1399,48 ^c ± 13,15

Letras sobrescritas indicam diferenças de significância de $p < 0,05$, comparando dados na mesma coluna.

Pode-se ainda observar que o açúcar, quando disperso na fase líquida, conferiu um alto valor de viscosidade à massa (TABELA 9). Sua substituição gradual pela mistura de sucralose mais goma xantana, apesar de ainda conferir valores significativos de viscosidade, estes ainda foram muito inferiores ao da formulação padrão e não foram suficientes para manter a estabilidade das bolhas de ar nela dispersa. Esse fato também pode ser confirmado pela diminuição dos volumes específicos.

Figura 9 – Termogramas mostrando a curva de gelatinização do amido para a massa da formulação padrão e as massas com 19,00% (Massa 2.3) e 34,39% (Massa 4.3) de substituição de açúcar, respectivamente.

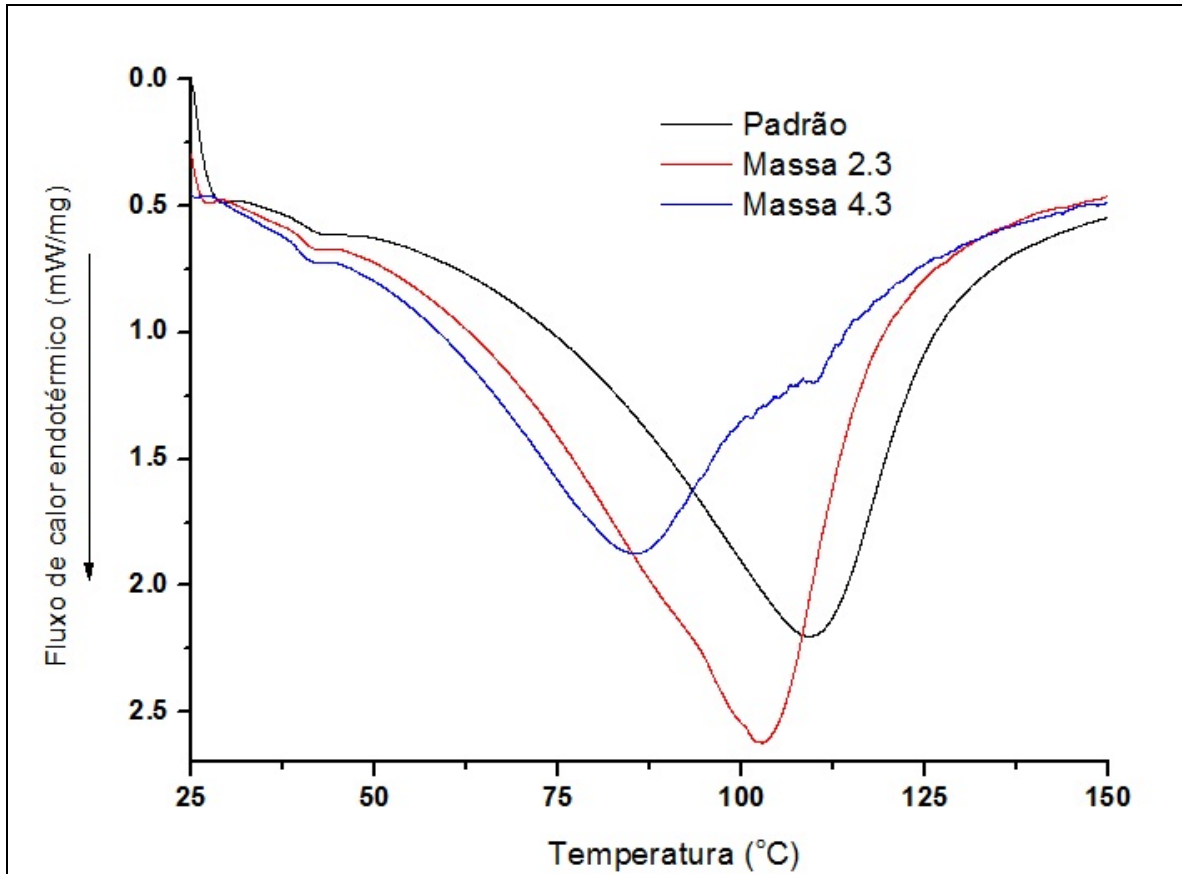


Tabela 10 – Temperaturas inicial (T_0), de pico (T_p) e final (T_c) e Entalpias (ΔH) das massas dos bolos padrão e com 19,00% (Massa 2.3) e 34,39% (Massa 4.3) de substituição de açúcar.

AMOSTRA	T_i (°C)	T_p (°C)	T_f (°C)	ΔH (J/g)
Padrão	75,20	109,20	127,20	373,60
Massa 2.3	70,20	102,90	117,00	406,10
Massa 4.3	58,00	85,60	72,60	255,30

Ronda, Gómez Blanco e Caballero (2005) encontraram resultados similares para volume específicos em bolos sem açúcar quando comparados com o padrão (contendo sacarose), em que o volume específico diminuiu para todas as formulações livres de açúcar. Segundo os autores, essa redução se deve a dois fatores: a diminuição da estabilidade da massa durante o aquecimento – constatado pela diminuição na viscosidade da massa e pelo aumento no tamanho das bolhas – e a mudanças causadas pelo aquecimento, devido a

diferentes interações entre os agentes de corpo com o amido e as proteínas da massa que afetam as temperaturas de gelatinização do amido e de desnaturação protéica.

De acordo com a literatura (MILLER; TRIMBO, 1965; SPIES; HOSENEY, 1982, KIM; WALKER, 1992b; HOSENEY, 1994), vários solutos podem interagir com o amido para abaixar ou reduzir sua faixa de temperatura de gelatinização. Quando a gelatinização acontece numa temperatura abaixo de sua temperatura normal de 92,0 °C (apenas na presença da água), a formação do gel ocorre em primeiro lugar e, em segundo lugar, a desnaturação protéica, responsável pela formação da estrutura do bolo. Assim sendo, a gelatinização do amido parece controlar a desnaturação protéica, cujo retardamento permite o gradual aquecimento da massa, causando a coalescência das bolhas de ar no seu interior. Com a elevação da temperatura no interior da massa, essas bolhas coalescidas tendem a atravessá-la, causando sua expansão, mas em forma de grandes bolhas. O gel de amido formado na primeira etapa do aquecimento parece não permitir a saída dessas macro-bolhas por causa da formação da barreira de gel com uma malha de permeação reduzida ou inexistente (micro-canais por onde deveria sair o ar incorporado).

5.4 Efeito da substituição de gordura na estrutura do bolo

Observando-se a tabela 11, percebe-se que o maior efeito da gordura sobre a formulação padrão foi observado na viscosidade da massa. Com apenas uma redução de 10,0% no teor de gordura da formulação padrão, houve uma acentuada redução na viscosidade em todas as rotações, o que não foi observado com tanta intensidade quando se procedeu a substituição gradual do açúcar na formulação padrão. Esse grau de substituição (10,0%) manteve uma alta viscosidade da massa, porque, para graus de substituição superiores, não foram observadas variações significativas de resultados de viscosidade até 46,86% em relação à substituição de 10,0%, sugerindo que bolos com redução calórica de gordura podem ser produzidos apresentando boas características de volume.

Além disso, a viscosidade da massa tem enorme importância no aprisionamento das bolhas de ar, responsáveis pela aeração da massa e formação de células após o assamento (Carroll, 1990; Sowmya et al., 2009) e conseqüentemente na obtenção de volumes específicos relativamente altos.

Tabela 11 – Médias (n=3) de viscosidade aparente das massas e de volume específico dos bolos com redução de gordura.

Nomenclatura das amostras	Gordura (g)	Zeína (g)	Nível de substituição de gordura (%)	VE (mL/g)	Viscosidade a	Viscosidade a	Viscosidade a	Viscosidade a
					20 rpm (cP)	30 rpm (cP)	40 rpm (cP)	50 rpm (cP)
Padrão	120,00	0,00	0,00	2,47 ^a ± 0,04	7700,00 ^a ± 38,24	5862,50 ^a ± 17,55	4900,25 ^a ± 12,79	4327,50 ^a ± 5,19
1.4	108,00	12,00	10,00	1,58 ^b ± 0,09	314,42 ^{b,c} ± 14,43	260,94 ^c ± 9,62	231,00 ^c ± 0,00	215,60 ^c ± 0,00
2.4	97,20	22,80	19,00	1,62 ^b ± 0,10	308,00 ^c ± 0,00	252,39 ^c ± 9,62	227,79 ^c ± 7,22	207,90 ^c ± 0,00
3.4	87,48	32,52	27,10	1,65 ^b ± 0,22	282,33 ^c ± 14,43	235,28 ^c ± 9,62	211,75 ^c ± 0,00	192,50 ^c ± 0,00
4.4	78,73	41,27	34,39	1,59 ^b ± 0,22	288,75 ^c ± 0,00	239,56 ^c ± 9,62	211,75 ^c ± 0,00	195,07 ^c ± 5,77
5.4	70,86	49,14	40,95	1,71 ^b ± 0,16	314,42 ^{b,c} ± 14,43	273,78 ^c ± 9,62	243,83 ^c ± 7,22	223,30 ^c ± 0,00
6.4	63,77	56,23	46,86	1,72 ^b ± 0,12	564,67 ^b ± 14,43	444,89 ^b ± 53,58	378,58 ^b ± 19,09	338,80 ^b ± 26,46

Letras sobrescritas indicam diferenças de significância de $p < 0,05$, comparando dados na mesma coluna.

Com relação à substituição parcial da gordura por zeína na formulação padrão, também ficou evidente que sua redução não afetou substancialmente a contagem de células tanto quanto com a substituição do açúcar (FIGURA 10 e FIGURA 11), provavelmente pelo fato da zeína contribuir na estabilidade da rede tridimensional formada.

Figura 10 – Efeitos da substituição de gordura sobre a estrutura dos bolos padrão (NS = 0%) e com substituição progressiva de gordura.

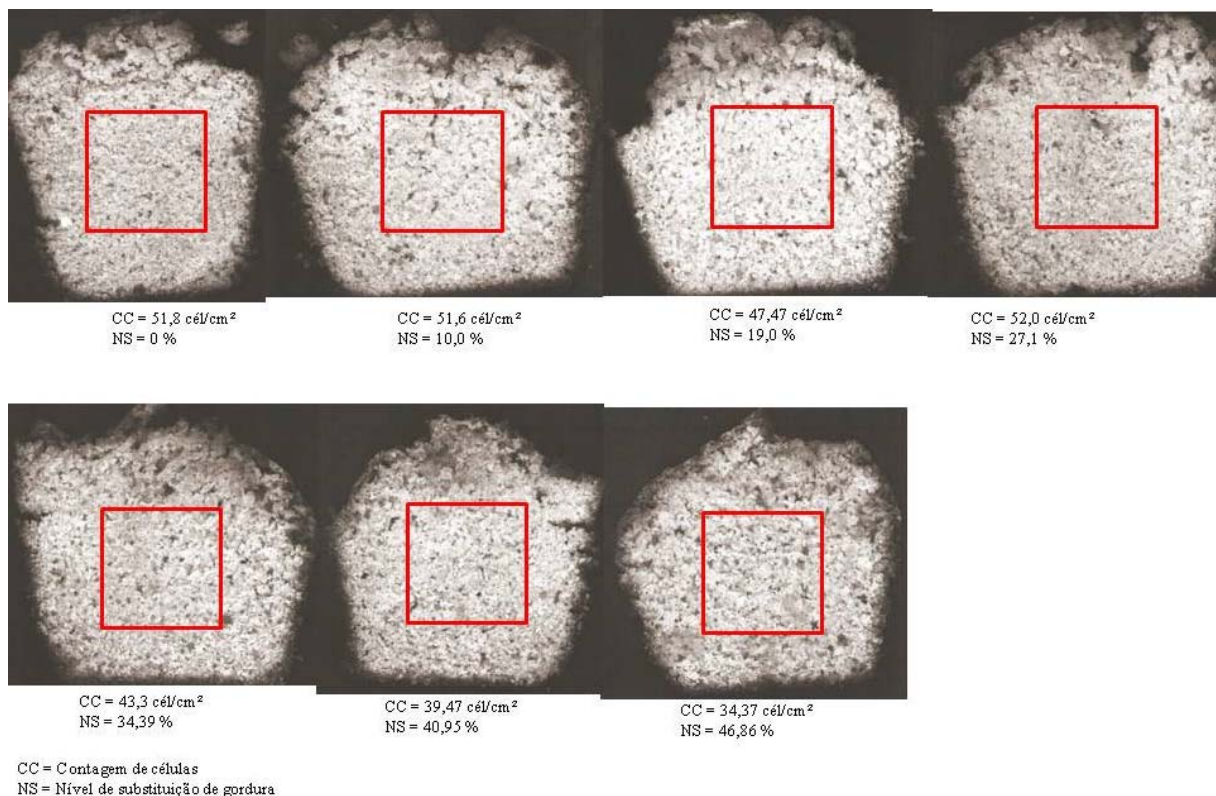
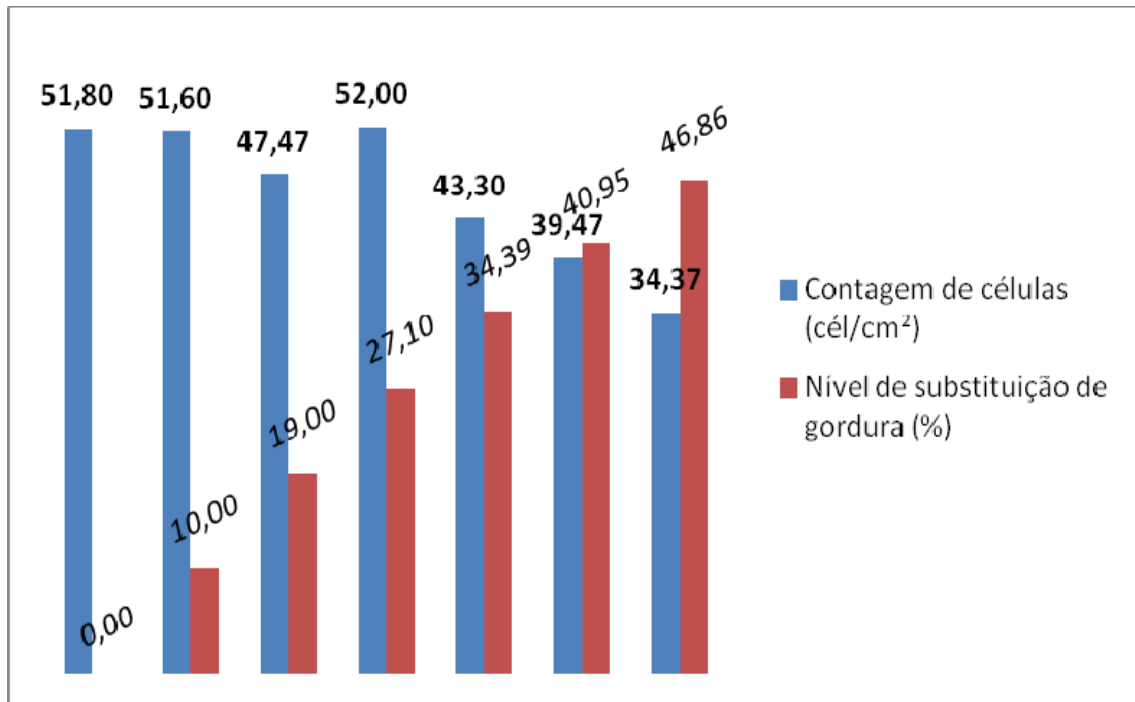


Figura 11 – Contagem de células em função do nível de substituição de gordura.

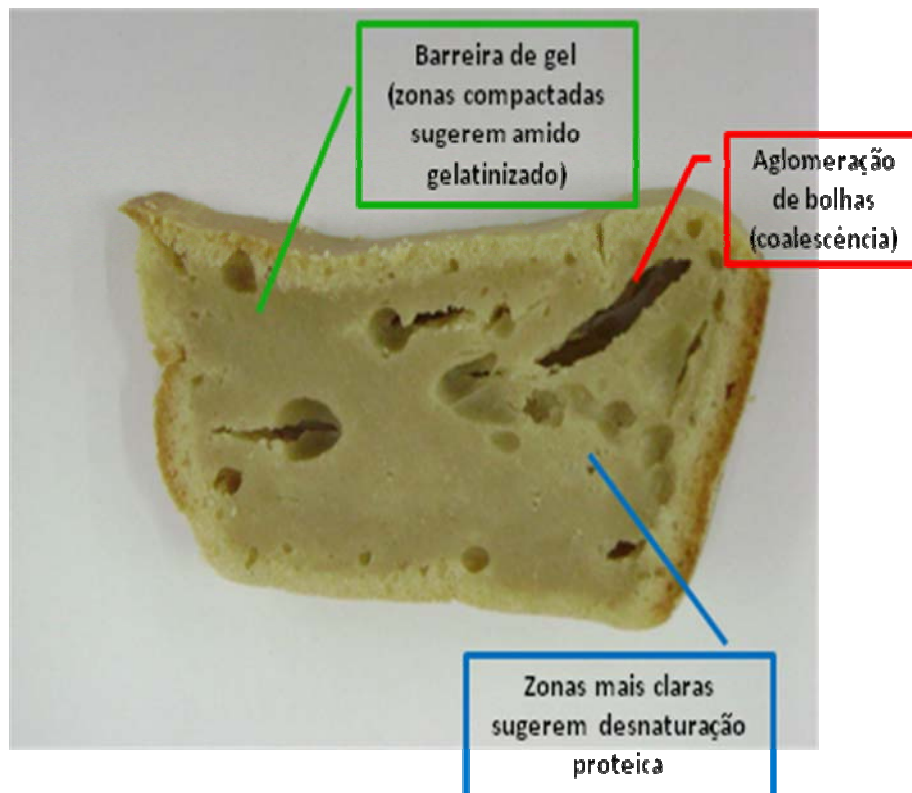


Resultados semelhantes com uma massa de pão foram encontrados por Bugusu, Rajwa e Ramaker (2002). Esses autores verificaram que a adição de zeína a uma massa contendo glúten e sorgo melhoraram a extensibilidade dessa massa e seu volume específico, atribuindo esse resultado à formação de um filme protetor na superfície externa das proteínas do glúten, gerando como consequência uma maior resistência ao aumento da pressão interna dos gases formados durante a fermentação.

5.5 Modelo proposto

Diante dos resultados encontrados pode-se sugerir o seguinte modelo (FIGURA 12), para explicar as más formações estruturais do bolo após seu forneamento:

Figura 12 – Esquema de bolo com 20% de gordura e 50% de açúcar em relação à formulação padrão demonstrando o modelo proposto.



Conforme modelo proposto (FIGURA 12), quando a gelatinização acontece numa temperatura abaixo de sua temperatura normal (apenas na presença da água), a formação do gel ocorre em primeiro lugar e, em segundo lugar, a desnaturação protéica, responsável pela armação da estrutura do bolo. Assim sendo, a gelatinização do amido parece controlar a desnaturação protéica, cujo retardamento permite o gradual aquecimento da massa, causando a coalescência das bolhas de ar no seu interior. Com a elevação da temperatura no interior da massa, essas bolhas coalescidas tendem a atravessá-la, causando sua expansão, mas em forma de grandes bolhas. O gel de amido formado na primeira etapa do aquecimento parece não permitir a saída dessas macro-bolhas por causa da formação da barreira de gel com uma malha de permeação reduzida ou inexistente (micro-canais por onde deveria sair o ar incorporado).

CONCLUSÕES

- O uso da gordura vegetal hidrogenada na formulação estudada foi mais vantajoso que o da margarina na saturação de ar da massa.
- À medida que o teor de açúcar foi sendo reduzido na formulação padrão, a viscosidade, o volume específico e a formação de células diminuíram paralelamente, demonstrando que o açúcar desempenha um importante papel no desenvolvimento da massa e formação da estrutura interna uniforme do bolo.
- Conforme a redução de gordura foi sendo feita, os volumes específicos de todas as formulações com substituição de gordura estudadas não diferiram entre si, diferindo apenas da formulação padrão. A formação das células não se mostrou tão alterada quanto os valores encontrados para os bolos com substituição de açúcar. Já a viscosidade aparente teve uma redução significativa. Entretanto, pode-se constatar que, apesar da viscosidade ter sofrido reduções, os resultados para VE e CC foram otimistas, concluindo ser viável a produção de bolos com redução calórica com nível de substituição de gordura de até 46,86 % apresentando boas características de volume e boa aparência.
- A contribuição da gordura para a viscosidade da massa é muito mais acentuada do que a do açúcar, pois nas formulações com redução da gordura obteve-se viscosidades bem mais baixas quando comparados os respectivos valores das formulações com redução de açúcar.
- Tanto a redução da gordura quanto a de açúcar na formulação padrão demonstraram ter efeito negativo no volume específico dos bolos obtidos, e que ambos os ingredientes são fundamentais para a elaboração de um produto de boa qualidade.

REFERÊNCIAS

AACC International. **Approved methods of the AACC**. 10th ed. AACC The Association: St Paul, Minnesota, 2000.

ABIMA – Associação Brasileira das Indústrias e Massas Alimentícias. Disponível em: <<http://www.abima.com.br/notNotciasAbimaDp.asp?cod=383>>. Acesso em: 24.01.2012.

ABIMA – Associação Brasileira das Indústrias e Massas Alimentícias. Disponível em: <http://www.abima.com.br/na_noticias_dp.asp?cod=355>. Acesso em: 19.10.2011.

ATTIA, E. A.; SHEHATA, H. A.; ASKAR, A. An alternative formula for the sweetening of reduced-calorie cakes. **Food Chemistry**, v. 48, p. 169-172, 1993.

BAEVA, M. R.; PANCHEV, I. N.; TERZIEVA, V. V. Comparative study of texture of normal and energy reduced sponge cakes. **Nahrung**, v. 44, p. 242-246, 2000.

BARNDT, R. L.; JACKSON, G. Stability of sucralose in baked goods. **Food Technology**, v. 44, n. 1, p. 62-66, 1990.

BEAN, M. M.; YAMAZAKI, W. T.; DONELSON, D. H. Wheat starch gelatinization in sugar solutions. II. Fructose, glucose, and sucrose: cake performance. **Cereal Chemistry**, v. 55, p. 945-952, 1978.

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

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. ANVISA. Res. RDC nº 3, de 02 de janeiro de 2001. “Regulamento Técnico que aprova o uso de aditivos edulcorantes, estabelecendo seus limites máximos para os alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 05 jan. 2001.

BUGUSU, B. A.; RAJWA, B.; HAMAKER, B. R. Interaction of Maize Zein with Wheat Gluten in Composite Dough and Bread as Determined by Confocal Laser Scanning Microscopy. **Scanning**, v. 24, p. 1-5, 2002.

CÂNDIDO, L.M.B.; CAMPOS, A.M. In _____. **Alimentos para fins especiais: Dietéticos**. São Paulo: Ed. Varela, 1996. 411p.

CARROL, L. E. Polydextrose manufacturer expands production capacity. **Food Technology**, v. 47, p. 137-142, 1990.

CHEVALLIER S.; COLONNA, P.; DELLA VALLE, G.; LOURDIN, D. Contribution of major ingredients during baking of biscuit dough systems. **Journal of Cereal Science**, v. 31, p. 241-252, 2000.

COLEMAN, P. E.; HARBERS, C. A. Z. High fructose cor syrup: replacement for sucrose in angel cake. **Journal of Food Science**, v. 48, n. 2, p. 452-456, 1983.

CRAWFORD, A. M. Misturas com farinhas, pães e bolos. In: _____. **Alimentos: seleção e preparo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Record, cap. 13, p. 310-360, 1985.

DEMIRKESEN, I.; MERT, B.; SUMNU, G.; SAHIN, S. Rheological properties of gluten-free bread formulations. **Journal of Food Engineering**, v. 96, p. 169-176, 2010.

DONELSON, D. H.; WILSON, J. T. Studies on the effect of flour-fraction interchange upon cake quality. **Cereal Chemistry**, v. 37, n. 6, p. 683-710, 1960.

FRYE, A., M.; SETSER, C., S. Optimizing texture of reduced-calorie yellow layer cakes. **Cereal Chemistry**, v. 69, n. 3, p. 338-343, 1991.

GÓMEZ, M.; OLIETE, B.; GARCÍA-ÁLVAREZ, J.; RONDA, F.; SALAZAR, J. Characterization of cake batters by ultrasound measurements. **Journal of Food Engineering**, v. 89, p. 408-413, 2008.

HICSASMAZ, Z.; YAZGAN, Y.; BOZOGLU, F.; KATNAS, Z. Effect of polydextrose-substitution on the cell structure of the high-ratio cake system. **LWT**, v. 36, p. 441-450, 2003.

HOSENEY, R. C. **Cereal Science and Technology**. Minnessota: American Association of Cereal Chemistry Inc. 1994.

HUI, Y. H.; CORKE, H.; LEYN, I. D.; NIP, W.; CROSS, N. **Baked products: Science and technology**. 1st ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1699&id_pagina=1>. Acesso em 10.10.2010

JOHNSON, J. M., HARRIS, C. H., BARBEAU, W. E. Effects of high-fructose corn syrup replacement for sucrose on browning, starch gelatinization, and sensory characteristics of cakes. **Cereal Chemistry**, v. 66, n. 3, p. 155-157, 1989.

JOHNSON, L. A.; HAVEL, E. F.; HOSENEY, R. C. Bovine plasma as a replacement for egg in cakes. **Cereal Chemistry**, v. 56, n. 4, p. 339-342, 1979.

KAMEL, B. S.; RASPER, V. F. Effects of emulsifiers, sorbitol, polydextrose, and crystalline cellulose on the texture of reduced-calorie cakes. **Journal of Texture Studies**, v. 19, n. 3, p. 307-320, 1988.

KIM, C. S.; WALKER, C. E. Interactions between starches, sugars, and emulsifiers in high-ratio cake model systems. **Cereal Chemistry**, v. 69, n. 2, p. 206-212, 1992a.

KIM, C. S.; WALKER, C. E. Effects of sugars and emulsifiers on starch gelatinization evaluated by differential scanning calorimetry. **Cereal Chemistry**, v. 69, n. 2, p. 212-217, 1992b.

KOCER, D.; HICSASMAZ, Z.; BAYINDIRLI, A.; KATNAS, S. Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar- and fat-replacer. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 953-964, 2007.

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, p. 2107-2110, 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, p. 405-413, 2005.

LOSTIE M.; PECZALSKI, R.; ANDRIEU, J.; LAURENT, M. Study of sponge cake batter baking process II. Modeling and parameter estimation. **Journal of Food Engineering**, v. 55, p. 349-357, 2002.

MANDALA, I.; DAOUAHER, M. The sensory attributes of cakes containing large numbers of low sugar raisins, as evaluated by consumers and a trained sensory panel. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 40, p. 759-769, 2005.

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

OLIVEIRA, J. E. P. de. **Diabetes Mellitus** - Clínica, Diagnóstico e Tratamento Multidisciplinar. São Paulo: Ed. Atheneu, cap. 2, p. 7-18, 2006.

ORDÓÑEZ J. A. **Tecnologia de Alimentos**: componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Ed. Artmed, 2005. Cap. 5. P. 62-79.

ORNELLAS, L. H. Cereais. In: _____. **Técnica dietética**: seleção e preparo de alimentos. 6. ed. São Paulo: Atheneu, p. 219-238, 1995.

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, p. 168-178, 1994.

PONTES, Ana Elisa Romani De. **Desenvolvimento de pão de forma sem adição de açúcares, gorduras e emulsificantes, com o uso de enzimas e amido de mandioca modificado.** 2006. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Unicamp, Campinas, 2006.

POZO-BAYON, M. A., GUICHARD, E., & CAYOT, V. Flavor control in baked cereal products. **Food Reviews International**, v. 22, n. 4, p. 335–379, 2006.

RONDA, F., GOMEZ, M., BLANCO, C. A., & CABALLERO, P. A. Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. **Food Chemistry**, v. 90, n. 4, p. 549-555, 2005.

RONDA, F., OLIETE, 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, p. 272-277, 2011.

SAMPAIO, Antonia Ferreira Alves. **Efeito da substituição da sacarose nas características físico-químicas e sensoriais de bolos com valor calórico reduzido.** 2006. 98 f. Dissertação (Mestrado) - UFC, Fortaleza, 2006.

SAVITHA, Y. S.; INDRANI, D.; PRAKASH, J. Effect of replacemet of sugar with sucralose and maltodextrin on rheological characteristics of wheat flour dough and quality of soft dough biscuits. **Journal of Texture Studies**, v. 39, p. 605-616, 2008.

SBD – Sociedade Brasileira de Diabetes. Disponível em: <
<http://www.diabetes.org.br/sala-de-noticias/noticias/noticias-nacionais/1865-estudo-inedito-mostra-que-o-diabetes-esta-fora-de-controle-no-brasil>> Acesso em 25.01.2012.
SHUKLA, R.; CHERYAN M. Zein: the industrial protein from corn. **Industrial Crops and Products**, v. 13, p. 171-192, 2001.

SOWMYA, M.; JEYARANE, T.; JYOTSNA, R.; INDRANI, D. Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on rheological, microstructural, quality characteristics and fatty acid profile of cakes. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 1827-1836, 2009.

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

STAMP, J.A. Sorting out the alternative sweeteners. **Cereal Food World**, v. 35, n. 4, p. 395-400, 1990.

TESTER, R. F.; SOMMERVILLE, M. D. The effects of non-starch polysaccharides on the extent of gelatinization, swelling and α -amylase hydrolysis of maize and wheat starches. **Food hydrocolloids**, v. 17, p. 41-54, 2003.

TORLEY P. J.; MOLEN, F. Van Der. Gelatinization of starch in mixed sugar systems. **Lwt**, Brisbane, v. 38, p.762-771, 2005.

VANDERVEEN, J. E.; GLINSMANN, W.H. Fat substitutes: a regulatory perspective. **Annu. Rev. Nutr.**, v. 12, p. 473-487, 1992.

WILDERJANS, E; LAGRAIN, B; BRIJS, K.; DELCOUR, J. A. Impact of potassium bromate and potassium iodate in a pound cake system. **J. Agric. Food Chem.**, v. 58, p. 6465-6471, 2010.

WILDERJANS, E.; PAREYT, B.; GOESAERT, H.; BRIJS, K.; DELCOUR, J. A. The role of gluten in a pound cake system: A model approach based on gluten–starch blends. **Food Chemistry**, v. 110, p. 909-915, 2008.

WILSON, J. T., DONELSON, D. H. Studies on the dynamics of caking-baking. **Cereal Chemistry**, v. 40, p. 466-481, 1963.

WOOTTON, J. C., HOWARD, N. B., MARTIN, J. B., McOSKER, D. E., HOLME, J. The role of emulsifiers in the incorporation of air into layer cake batter systems. **Cereal Chemistry**, v. 44, p. 333-343, 1967.

ZAMBRANO, F.; HIKAGE A.; ORMENESE, R. C. C.; MONTENEGRO, F. M.; RAUEN-MIGUEL, A. M. 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.