

**FORMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE
FERMENTOS QUÍMICOS PARA PRÉ-
MISTURA DE BOLO**

GUSTAVO COSTA DE RESENDE

2007

GUSTAVO COSTA DE RESENDE

**FORMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE FERMENTOS QUÍMICOS
PARA PRÉ-MISTURA DE BOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras
como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Ciência dos Alimentos, para a obtenção
do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. Carlos José Pimenta

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2007**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Resende, Gustavo Costa

Formulação e avaliação de fermentos químicos para pré-mistura de bolos /
Gustavo Costa Resende. – Lavras : UFLA, 2007.
105 p. : il.

Orientador: Carlos José Pimenta.
Dissertação (Mestrado) - UFLA.
Bibliografia.

1. Fermento químico. 2. Pré-mistura. 3. Bolo. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD-664.68

GUSTAVO COSTA DE RESENDE

**FORMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE FERMENTOS QUÍMICOS
PARA PRÉ-MISTURA DE BOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras
como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Ciência dos Alimentos, para a obtenção
do título de "Mestre".

APROVADA em 26 de fevereiro de 2007

Profa. Dra. Fabiana Queiroz Ferrua UFLA

Profa. Dra. Joelma Pereira UFLA

Prof. Dr. Augusto Ramalho de Moraes UFLA

**Carlos José Pimenta
UFLA
(Orientador)**

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL**

Com Carinho:

Aos meus pais Geraldo (in memoriam) e Luiza.

A minha irmã Mônica, pelo apoio e confiança.

A meus familiares pelo incentivo e força.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelas dádivas a mim ofertadas.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa e à Ki-Flor, pelos recursos disponibilizados para a realização deste trabalho.

À Profa. Dra. Fabiana Queiroz a quem devo sinceros agradecimentos pela amizade, ensinamentos, paciência e compreensão durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos José Pimenta pelo apoio, amizade e pelas sugestões na realização do experimento.

À Profa. Dra. Joelma Pereira, pelos ensinamentos, apoio e interesse pelo trabalho.

Ao Prof. Paulo Clemente, pela amizade e orientações na análise sensorial.

Aos professores Dr. Jaime Vilela, Dr. Jefferson, Dr. Luiz Carlos, Dr. Luiz Ronaldo, Dra. Soraia, Dra. Rosemary Gualberto, Dra. Maria de Fátima Pícollo Barcelos e Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas, pela colaboração.

Aos Funcionários da UFLA: Rafaela, Elisabete, Tina, Sandra, Cleuza, Tânia, Sr. Miguel, pela amizade e convívio.

A todos os colegas Graduandos, Mestrandos e Doutorandos, pelo apoio e amizade.

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

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Composição da pré-mistura para bolo	4
2.1.1 Farinha de trigo	5
2.1.2 Gordura	7
2.1.3 Açúcar	9
2.1.4 Ovo	10
2.1.5 Leite	11
2.1.6 Sal	11
2.1.7 Fermento químico	12
2.1.7.1 Tipos de fermento em pó	14
2.1.7.2 Produção de gás carbônico	16
2.1.7.3 Razão da reação	16
2.1.7.4 Efeitos no pH	17
2.1.8 Emulsificante	17
2.2 Processamento para produção do bolo.....	22
2.2.1 Mistura.....	23
2.2.2 Enformagem.....	24
2.2.3 Assamento.....	24
2.3 Análises físicas e químicas	25
2.3.1 Análise de cor	25
2.3.2 Textura.....	26

2.3.2.1 Análise do perfil de textura (TPA).....	27
2.3.3 Umidade.....	31
2.4 Análise sensorial.....	32
2.5 Planejamento experimental.....	33
2.5.1 Projeto de mistura.....	33
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1 Etapa 1 - Coleta de informações dos componentes das pré-misturas de bolo e dos fermentos comerciais.....	36
3.1.1 Acidez titulável.....	36
3.1.2 Minerais.....	37
3.1.3 Ácido cítrico.....	37
3.1.4 Ácido tartárico e cremor de tártaro.....	37
3.1.5 Dióxido de carbono total.....	37
3.1.6 Amido.....	37
3.2 Etapa 2 - Seleção da formulação do fermento químico empregando-se a regra da mistura.....	38
3.2.1 Elaboração do bolo.....	40
3.2.1.1 Matéria - prima.....	40
3.2.1.2 Utensílios.....	40
3.2.1.3 Equipamentos.....	40
3.2.2 Métodos de elaboração.....	41
3.2.2.1 Formulação dos bolos.....	41
3.2.2.2 Preparação das massas dos bolos.....	41
3.2.2.3 Cozimento da massa.....	42
3.2.2.4 Resfriamento.....	42
3.2.3 Análises da massa crua do bolo.....	42
3.2.3.1 Determinação da densidade específica da massa crua do bolo.....	42
3.2.4 Análises do bolo assado.....	43

3.2.4.1 Dimensões e peso do bolo	43
3.2.4.2 Determinação da densidade específica do bolo	43
3.2.4.3 Análises físico-químicas do bolo	43
3.2.4.3.1 Teor de umidade	43
3.2.4.3.2 pH	44
3.2.4.4 Análise de textura	44
3.2.4.5 Diferença de cor	45
3.3 Etapa 3 - Otimização da mistura do fermento empregando-se o planejamento com limites inferiores e superiores.	46
3.3.1 Atividade de água	48
3.3.2 Avaliação sensorial do bolo assado	48
3.4 Etapa 4 - Análise de custo da pré-mistura e do fermento químico.	49
3.5 Análise estatística e delineamento experimental	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Etapa 1 - Coleta de informações dos componentes das pré-misturas de bolo e dos fermentos comerciais.....	51
4.1.1 Acidez titulável	53
4.1.2 Minerais	54
4.1.3 Acido cítrico, tartárico e cremor de tártaro	54
4.1.4 Dióxido de carbono total.....	55
4.1.5 Amido	56
4.2 Etapa 2 - Seleção da formulação do fermento químico empregando-se modelagem de mistura.	56
4.2.1 Densidade específica da massa crua	57
4.2.2 Umidade do bolo.....	57
4.2.3 Volume e densidade específica do bolo.....	58
4.2.4 Altura	61
4.2.5 Diferença de cor do miolo	62

4.2.6 pH	63
4.2.7 Textura (TPA).....	64
4.2.7.1 Coesividade.....	64
4.2.7.2 Adesividade	64
4.2.7.3 Elasticidade.....	65
4.2.7.4 Mastigabilidade.....	65
4.2.7.5 Firmeza	67
4.2.7.6 Gomosidade	68
4.3 Curvas de nível obtidas com a exclusão do ácido tartárico	69
4.3.1 Densidade específica do bolo.....	70
4.3.2 Altura	71
4.3.3 Firmeza	72
4.3.4 Diferença de cor do miolo	73
4.3.5 pH	74
4.4 Etapa 3 - Otimização da formulação utilizando-se planejamento com limites inferiores e superiores.....	76
4.4.1 Análise sensorial	82
4.5 Etapa 4 - Análise do custo da pré-mistura e do fermento químico	84
5 CONCLUSÕES.....	87
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS.....	94

RESUMO

RESENDE, Gustavo Costa. **Formulação e avaliação de fermentos químicos para pré-mistura de bolo**, 2007, 105p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG ¹

Fermento químico consiste em um produto formado por uma mistura de agentes ácidos com o bicarbonato de sódio que, pela influência do calor e/ou umidade, produz desprendimento de dióxido de carbono capaz de expandir massas elaboradas com farinha, amidos ou féculas, aumentando-lhes o volume e a porosidade. O presente trabalho teve por objetivo otimizar uma formulação de fermento químico para ser utilizado em pré-mistura para bolos. O experimento foi conduzido no Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras, MG. Na etapa 1 foram identificados os componentes do fermento químico presentes nas pré-misturas de bolo do mercado, assim como sua quantificação nos fermentos químicos comerciais. Para a etapa 2 os ácidos selecionados na etapa 1, como fosfato monocálcio, pirofosfato ácido de sódio, sulfato de alumínio e sódio e ácido tartárico, foram avaliados utilizando-se o planejamento simplex-centróide para a regra da mistura. As variáveis respostas analisadas foram umidade, pH, volume, densidade específica da massa, densidade específica do bolo, altura, textura (TPA) e diferença de cor do miolo do bolo. Os resultados mostraram que as formulações à base de fosfato monocálcio apresentaram os melhores resultados para todas as variáveis respostas analisadas, quando utilizado puro na formulação ou quando utilizado com outros ácidos, em menores proporções. Resultados indesejáveis foram observados para as formulações à base de ácido tartárico, sendo ele excluído da formulação. Na etapa 3 foi realizado a otimização da formulação do fermento químico, utilizando-se um planejamento com restrições nos limites superiores e inferiores, analisando-se as mesmas variáveis respostas da etapa 2. Para as variáveis respostas densidade específica do bolo e diferença de cor do miolo apresentaram valores semelhantes aos bolos elaborados com pré-misturas do comércio. Sendo que as regiões ótimas, nos gráficos de curvas de nível, correspondem às formulações 3(V), 6C(1) e 8C(1). Na avaliação do custo da pré-mistura, etapa 4, verificou-se que a formulação otimizada do fermento químico não inviabiliza o custo final da pré-mistura, representando 5,21% do seu valor total.

¹ Comitê orientador: Carlos José Pimenta – DCA/UFLA (Orientador), Fabiana Queiroz Ferrua e Joelma Pereira – DCA/UFLA (Co-orientadoras).

ABSTRACT

RESENDE, Gustavo Costa. **Formulation and evaluation of baking powders to be use in cake's pre-mixtures**, 2007. 105p. Dissertation (Master in Food Science). Federal University of Lavras, Lavras - MG²

A baking powder is a product formed by a mixture of acid agents with sodium bicarbonate which with the influence of the heat and/or humidity, produces carbon dioxide capable of expanding the dough made with flour and starches, increasing its volume and the porosity. The objective of the present work was to optimize a formula for a baking powder to be used in cake's pre-mixtures. The experiment was carried out in the Food Science Department of the Federal University of Lavras, MG, Brazil. In stage 1, the components of baking powders were identified in cake pre-mixtures, and components quantified in commercial brands' baking powders. In stage 2, acids such as monocalcium phosphate, sodium acid pyrophosphate, aluminum and sodium sulphate and tartaric acid- chosen in stage 1 were treated using the simplex-centroid methodology for the mixture's rule. Variables analyzed were humidity, pH, volume, apparent density of the dough, apparent density of the cake, cake height, texture (TPA) and color differences of the marrow of the cake. Data showed that monocalcium phosphate based formulas presented the best results for all variables when used alone in the formula or with small percentages of other acids. Negative results were observed for tartaric acid based formulas, so it was excluded from the formula. In stage 3 an optimized baking powder formula was tested applying the same variables as in stage 2. Results obtained for the optimized baking powder formula were similar to those obtained with cakes made with commercial brands pre-mixtures. For cake's apparent density and marrow's color differences, similar values were found when compared with cakes made with commercial brands pre-mixtures. The optimal regions in level's curve graphics were formulations 3(V), 6C(1) and 8C(1). Pre-mixture's cost evaluation, stage 4, verified that optimization of the baking powder's formula didn't alter the final cost. The baking powder's formula represented 5.21% of the total value of the pre-mixture.

² Guindace Committee: Carlos José Pimenta – DCA/UFLA (Advisor), Fabiana Queiroz Ferrua and Joelma Pereira – DCA/UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A ciência e a tecnologia de alimentos contemporâneas têm procurado atender aos anseios e necessidades dos consumidores e acompanhar as mudanças no seu comportamento. O consumidor atual está preocupado com a questão da qualidade de vida, em que diversos aspectos são considerados, tais como: facilidade de preparo dos alimentos; alimentos com vida-de-prateleira adequada; produto com menor quantidade possível de aditivos prejudiciais à saúde; segurança alimentar; produtos comercializados em diferentes porções e com qualidades sensoriais e de textura.

Produtos alimentícios que para elaboração não exigem práticas, e que sejam de fácil preparo têm atraído a atenção dos consumidores. Um exemplo deste tipo de produto é a mistura pronta para bolo que permite a elaboração do bolo de maneira fácil e rápida. O consumidor deste tipo de produto tem a expectativa, ao seguir as instruções, de obter um produto uniforme e de qualidade. Tal fato nem sempre ocorre, quando o bolo é preparado utilizando-se uma receita caseira, em que problemas podem ocorrer nas diversas fases do processamento, tais como: falhas na elaboração, erros de medidas dos ingredientes e falta de controle do processo de assamento. Estes problemas se devem, em geral, à falta de experiência e prática do consumidor moderno na elaboração de bolos, além da não uniformidade da matéria-prima.

Uma das vantagens do emprego de misturas para bolo é a garantia da padronização do produto. Neste produto, quanto menor o número de outros ingredientes a serem acrescentados para a sua elaboração, mais convenientes torna-se para o consumidor. Para a elaboração do bolo com as misturas disponíveis no mercado, faz-se necessário apenas o acréscimo de ovos e leite,

sendo que para algumas formulações também é necessário o acréscimo de gordura.

O desenvolvimento de mistura pronta para bolo deve ser aprimorado de acordo com os avanços tecnológicos, garantindo sempre um produto uniforme, de qualidade e que após a elaboração pelo consumidor, o produto tenha uma vida-de-prateleira adequada. Este aspecto é importante, devido à redução do número de pessoas de uma família e ao consumo dos produtos num prazo maior.

As indústrias nacionais, para sobreviverem no mercado atual competitivo, têm que atender aos anseios dos consumidores e exigências do mercado. Enquanto o consumidor busca produtos mais práticos, saudáveis e saborosos, o mercado exige que as indústrias diversifiquem os produtos com sua marca de modo a reduzir o número de fornecedores.

Mas para a indústria se diversificar e lançar novos produtos no mercado na sua linha de atuação, além da necessidade do produto desenvolvido apresentar propriedades adequadas apreciadas pelo consumidor, bem como estabilidade durante o armazenamento, torna-se imprescindível considerar os fatores econômicos. Os fatores econômicos, muitas vezes, são os que mais pesam na decisão de comercializar ou não o produto desenvolvido, além de ser um fator importante para a sobrevivência do produto no mercado.

Na área de pré-mistura para bolos, principalmente para as pequenas e médias empresas, uma das dificuldades para entrar neste mercado com produtos com preços competitivos com os similares das empresas concorrentes deve-se ao custo do fermento químico, uma das matérias-primas da pré-mistura. Estas empresas não dispõem de condições adequadas para desenvolver este produto (fermento químico), que garanta sua eficácia e estabilidade durante toda a vida-de-prateleira da pré-mistura para bolos.

O objetivo deste trabalho foi otimizar uma formulação de fermento químico para ser utilizado em pré-mistura para bolos que apresente um custo viável.

Os objetivos específicos foram:

- identificar, na literatura, os componentes empregados em fermentos químicos;
- coletar informações dos componentes das pré-misturas de bolo e dos fermentos comerciais;
- selecionar os principais componentes empregados em fermentos químicos que afetem significativamente as variáveis: volume, densidade específica da massa crua, pH, comprimento, altura, espessura, densidade específica do bolo, teor de umidade, textura (TPA), atividade de água e cor;
- otimizar a formulação do fermento empregando os principais componentes selecionados;
- avaliar o custo do fermento químico otimizado e da pré-mistura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Composição da pré-mistura para bolo

De acordo com El-Dash & Germani (1994) os bolos são produtos de panificação bastante apreciados, quer como sobremesa, quer como lanche. Apresentam-se em diferentes formatos, sabores e textura, variando com a formulação ou com o método empregado na fabricação.

Os bolos, em geral, requerem o uso de farinha mais fraca que a farinha utilizada em pães. Permitem o emprego de ampla variedade de ingredientes e possibilitam, assim, o uso de farinhas sucedâneas ao trigo.

Grande parte dos produtos de panificação é composta por diversos ingredientes que desempenham funções específicas, em maior ou menor grau, no processo de formação da massa. Embora os constituintes possam variar em grau de importância no processo de fabricação, todos eles possuem função determinada. Muitas vezes, a maior ou menor importância desses ingredientes está associada a sua quantidade adicionada à massa, o que é uma função da formulação e, em última análise, do tipo de produto que está sendo fabricado (Segall, 1994).

Segall (1994) cita como principais ingredientes utilizados para a produção de bolos: a farinha de trigo, a gordura, o açúcar, o leite em pó e os ovos também em pó. O autor salienta que cada um destes ingredientes possui uma função específica no processo de fabricação e nos fenômenos que ocorrem durante o armazenamento. Podem atuar como agentes estruturadores, amaciadores, umidificadores, retentores de umidade ou aromatizantes.

Segundo El-Dash & Camargo (1982), cada ingrediente provoca um efeito distinto nas características gerais dos bolos e, por isso, a mudança em

qualquer dos ingredientes requer um ajuste cuidadoso dos demais, a fim de que se mantenha sempre uma combinação balanceada entre eles.

A seguir, serão abordados os principais ingredientes utilizados na pré-mistura para bolos, assim como a importância de cada um deles.

2.1.1 Farinha de Trigo

A farinha de trigo é o principal ingrediente do bolo. Sua composição varia com o tipo de trigo, época do plantio e origem. Seus principais componentes são amido (70% a 50%), proteínas (13% a 7%), lipídios (1% a 2%), açúcares solúveis (1% a 2%), pentosanas (2% a 4%), água (15% a 25%), sais e enzimas (Bobbio & Bobbio, 2001).

A farinha é a principal responsável pela formação da estrutura na maioria dos bolos devido a seus componentes: proteínas e amido. As proteínas do glúten, gliadinas e gluteninas, costumam atuar como elemento estrutural básico, principalmente quando se trata de pães. Entretanto, no caso dos bolos, emprega-se normalmente menor quantidade de farinha ou uma farinha mais fraca com baixo teor de proteína que no pão e o amido passa a exercer maior influência sobre a estrutura, juntamente com outros ingredientes, como a gordura e os ovos. Normalmente, em bolos, o teor médio de proteína gira em torno de 7,5% a 8,5%. Como forma de comparação para pão francês o conteúdo de proteína fica em torno de 12,5% a 13,5% (Araújo, 1994; El-Dash & Camargo, 1982).

A formação do glúten ocorre durante a mistura, quando a farinha e demais ingredientes são misturados com a água. Durante a homogeneização as moléculas de proteína são hidratadas e as gliadinas e gluteninas formam um complexo protéico pela sua associação através de ligações de hidrogênio, ligações de van der Waals e ligações dissulfídicas. As gliadinas são

responsáveis pela propriedade coesiva do glúten, e as gluteninas, pelas propriedades elásticas do glúten (Stauffer, 1998b).

As propriedades desta estrutura do glúten durante o cozimento influenciam as propriedades do produto final. Ele deve ter, por exemplo, extensibilidade suficiente para expandir sobre a influência do dióxido de carbono (CO₂) formado e dar volume ao bolo. A resistência à extensão muito pequena resulta numa massa que não retém o CO₂, enquanto que o excesso também provoca um volume reduzido, porque a pressão do dióxido de carbono torna-se insuficiente para expandir a massa a um volume ótimo (Segall, 1994).

O principal carboidrato na farinha de trigo é o amido, responsável por aproximadamente 65% da sua composição. O amido apresenta-se em forma de grânulo, sendo o tamanho e formato característicos de sua origem botânica. É composto por 23% de amilose e 73% de amilopectina. A amilose é um polímero de cadeia linear com ligações glicosídicas α -1,4, enquanto que a amilopectina é uma estrutura altamente ramificada formada por ligações glicosídicas α -1,6 e α -1,4 (Stauffer, 1998b).

A principal função do amido em produtos de panificação é atuar como quelante da água e, deste modo, estabelecer a estrutura de bolos e biscoitos, que é determinada pela temperatura de gelatinização do amido (Hoseney et al., 1983).

Baroni et al. (2003) realizando o desenvolvimento de mistura em pó para bolo inglês verificaram que, na formulação três, a substituição de 3,5% da farinha de trigo especial por farinha de trigo integral conferiu ao produto maior sensação de umidade, face à inclusão de fibras. Contudo, a fibra foi responsável pela textura áspera e inadequada do tradicional bolo inglês.

2.1.2 Gordura

Segundo Bennion & Bamford (1993), a gordura tem propriedades funcionais na elaboração do bolo. Além de ser um agente usado em produtos de panificação, sendo a mais concentrada fonte de energia presente nos alimentos.

De acordo com Stauffer (1998a), os efeitos produzidos pelo uso de gorduras em produtos panificados estão bem relacionados:

- maciez - pães sem qualquer tipo de gordura tendem a ficar duros e necessitam, pelo menos, 3% dela;
- umectância - bolos produzidos com boa quantidade de gordura possuem uma melhor mastigabilidade, principalmente após alguns dias de armazenamento;
- estrutura - gorduras hidrogenadas, principalmente as que apresentam ponto de fusão elevado, evitam o colapso lateral em pães de forma e bolos; melhoram a estrutura do miolo, evitam o esfrelamento precoce e dão maior resistência durante o empilhamento no ponto de venda;
- volume - a adição de gordura em produtos panificados propicia um aumento significativo do seu volume, principalmente as emulsionadas que facilitam a incorporação de ar e água à massa. Em pães, o máximo volume é obtido com, aproximadamente, 6% em relação à farinha. Mas na prática, níveis de 3 a 5% são os normalmente empregados;
- amaciante - as gorduras contribuem para evitar o endurecimento de pães e bolos cuja causa se relaciona, principalmente, com a recristalização do amido da farinha, alterando seu perfil de textura.

Funcionam também como agente formador do creme que tem a capacidade de aprisionar células de ar. Ao ser batida, a gordura incorpora ar em forma de pequenas bolhas ou células, que são grandemente responsáveis pela expansão da massa e pela granulosidade fina e textura macia do produto final. Propriedade muito importante na produção de bolos com desejável textura e volume (El-Dash & Germani, 1994).

O ar que está incorporado dentro das partículas de gordura serve como ponto de origem para a estrutura celular do bolo. O volume do bolo aumenta em três vezes e meia durante o assamento e este aumento não pode ser atribuído somente aos gases presentes na massa. Além disto, as células de ar agem como suporte para a estrutura da massa, até que a força mecânica desenvolvida pela gelatinização do amido e a coagulação da proteína durante o assamento criem uma força suficiente para completar a formação da estrutura do produto (Bennion & Bamford, 1993; Birnbaum, 1988).

Estudos realizados por Zambrano et al. (2005) evidenciam que massas contendo substitutos de gordura, como as gomas guar e xantana, e sem emulsificante, apresentam maior densidade específica na temperatura ambiente e durante o assamento.

As formulações sem gordura produzem massas com densidades específicas significativamente maiores que a do controle. A quantidade de ar incorporada nas massas como substitutos de gordura é menor, ao ser comparada com as massas contendo gordura, baseando-se nas suas densidades específicas (Bath et al., 1992).

De acordo com El-Dash & Germani (1994), como efeitos auxiliares, proporcionam uma sensação de umidade à boca e aumentam o tempo de armazenamento, porque previnem a perda prematura de umidade e a dissipação de aromas voláteis (a gordura em si não contribui para o aroma do bolo). As gorduras usadas em bolos podem ser adicionadas com agentes emulsificantes e surfactantes para promover uma maior ligação com a água e uma eficiente dispersão da gordura pela massa.

2.1.3 Açúcar

O açúcar é usado primeiramente por sua contribuição ao sabor e aroma. A intensidade do aroma é definida de acordo com a natureza do adoçante: sacarose, dextrose, lactose, mel ou açúcar mascavo. Também tem efeito amaciador do miolo e promove a coloração da crosta. A sacarose é menos eficaz na coloração que açúcar invertido e glicose (El-Dash & Germani, 1994).

No Brasil, o xarope de frutose é obtido através da hidrólise da sacarose e concentrado a 86% em frutose. A frutose foi rapidamente integrada ao mercado de bebidas, panificação, conservas, geléias e laticínios. Na forma cristalina é utilizada pela indústria farmacêutica, pré-misturas de bolos e produtos especiais (Hanover & White, 1993).

Dentre outros fatores, a retenção da água no produto final é de fundamental importância para a manutenção da maciez dos bolos. Observa-se que isto ocorre devido à formação de ligações químicas entre as moléculas de água e as moléculas dos açúcares. Esta atração é suficiente para prevenir a migração e evaporação da água, mantendo-a ligada mesmo durante o forneamento (Getec, 2002).

Baker et al. (1990) chamam a atenção para as soluções de açúcares. Quando comparadas com as formas cristalinas, apresentam melhor resultado, devido à mobilidade das moléculas. Relatam, ainda, que a incorporação de soluções saturadas de sacarose em massas de bolo melhora o volume e a textura (crosta lisa e miolo mais homogêneo) em relação à simples adição de sacarose cristalina.

Aikar et al. (1993) relataram o efeito do uso de misturas de sacarose e alguns tipos de substitutos de açúcares, entre eles a frutose, também na proporção 50:50, em bolos dietéticos. Afirmaram que substituições de sacarose acima de 25% resultaram no decréscimo da qualidade e aceitabilidade dos bolos.

Mizukoshi (1985) verificou que o volume aproximado da massa que continha sete níveis de açúcar (0%, 40%, 80%, 120%, 160%, 200% e 240%) aumentou a expansão e o tempo de assamento, mas as massas que continham 200% e 240% de açúcar diminuíram a sua expansão no estágio final de assamento. O máximo volume do bolo foi conseguido com 80% do nível de açúcar. Nos níveis de 160%, 200% e 240%, houve comprometimento da estrutura do produto. Isto sugere uma taxa crítica de sacarose que, abaixo de uma concentração, a massa do bolo apresenta uma textura muito firme e, acima de outra concentração, a massa tende a ser mais macia e mais frágil.

2.1.4 Ovo

O efeito da adição de ovos à massa varia conforme o tipo de bolo e com a parte do ovo empregada: clara, gema ou ovo inteiro. A clara, que contém 85% de umidade, serve como umidificador e sua proteína (albumina), que forma espuma ao ser batida, contribui para formar e aerar a estrutura do bolo (El-Dash & Germani, 1994).

O ovo inteiro, contendo 74% de umidade, 13% de proteína e 11% de gordura, exerce funções umectantes, formador de estrutura e amaciador, mas em menor grau que a gema ou a clara isoladas. O ovo em pó age primeiramente como desumidificador, mas também contribui na formação da estrutura (El-Dash & Germani, 1994).

A principal exigência para a formação de massa adequada, dependendo do tipo de bolo, é que a mistura tenha quantidade suficiente de proteínas da clara de ovo para que, durante o forneamento, a estrutura protéica formada possa se espalhar sobre os componentes da farinha. Caso contrário, a fraca estrutura protéica diminuirá a retenção de gás na massa e favorecerá a formação de estrutura compacta e baixo volume (Morr et al., 2003).

A ação estruturadora dos ovos se faz sentir mais claramente naquelas formulações de massas bem leves, com pouca farinha e pouca gordura. Durante o cozimento, a espuma se expande, depois endurece e, com a ajuda do glúten e amido da farinha, forma a estrutura definitiva do bolo (El-Dash & Germani, 1994).

Os ovos influem na estrutura dos bolos devido às suas funções de emulsificação e formação de espuma. A espuma resulta na incorporação do ar. Por esse motivo, torna-se possível uma redução na quantidade de fermento com o aumento da quantidade de ovo e produção de bolos de boa qualidade (Griswold, 1982).

2.1.5 Leite

Dos agentes umectantes empregados em panificação, o leite é o componente de maior importância. Sua composição se constitui de proteínas que contribuem para a maciez e umidade do produto, além de melhorarem o valor nutricional do alimento. Atua ainda no aumento da vida de prateleira do produto; de açúcares, responsáveis pelo poder edulcorante; de gorduras e de sais minerais que melhoram o valor nutricional do alimento em solução ou em emulsão com a água (Cocup & Sanderson, 1987).

De modo geral, o leite contribui também para a produção de aromas e acentua a coloração da crosta. O açúcar presente no leite, além da cor, ajuda ainda a retardar a perda de umidade do bolo durante o seu armazenamento (El-Dash & Germani, 1994).

2.1.6 Sal

Entende-se como sal o cloreto de sódio cristalizado extraído de fontes naturais, sob a forma de cristais brancos, com granulação uniforme, própria à respectiva classificação. Deve ser inodoro e ter sabor salino-salgado próprio. Sua

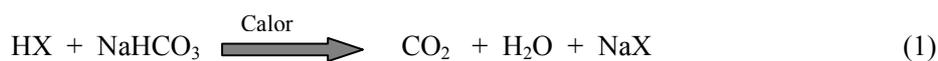
função mais importante é a de fornecer sabor ao bolo. É utilizado em concentrações que variam de 1 a 2% sobre o peso da farinha de trigo (Anvisa, 2005).

2.1.7 Fermento químico

Fermento químico é o produto formado por uma mistura de substâncias químicas que, pela influência do calor e/ou umidade, produzem desprendimento gasoso capaz de expandir massas elaboradas com farinhas, amidos ou féculas, aumentando-lhes o volume e a porosidade (Anvisa, 2005; Emulzint, 1985). Destina-se ao preparo de pães especiais, broas, biscoitos, bolos, bolachas e produtos afins de confeitaria.

Para Griswold (1982), um conceito amplo de fermentação química inclui outras possibilidades, além da ação do ácido sobre o bicarbonato de sódio. Certos compostos, como o ácido β -cetoglutárico, o peróxido de hidrogênio e o bicarbonato de amônio, foram sugeridos porque se volatilizam completamente durante o assamento e não deixam nenhum resíduo.

A fermentação química é quase universalmente produzida pelo dióxido de carbono resultante da reação do bicarbonato de sódio com um ácido. A equação (1) representa a reação do bicarbonato de sódio com um ácido qualquer.



O ácido que produz essa reação pode estar presente no próprio alimento ou no fermento em pó. Alguns alimentos que contêm ácidos, com os quais o bicarbonato de sódio reage ao assar, são: o leite azedo, o melado e os sucos de frutas. Uma das dificuldades encontradas no emprego desses alimentos é a variabilidade de sua acidez a qual torna difícil calcular a quantidade de bicarbonato de sódio a ser acrescentada. Um excesso de bicarbonato de sódio

resulta em produtos assados com uma cor amarela e um sabor de sabão desagradável. Apesar da referida cor ser atribuída ao efeito da base sobre pigmentos da farinha não existem evidências diretas para essa afirmativa e sim alternativas para a explicação, como a reação de escurecimento ou a dextrinização do amido (Griswold, 1982).

Visto que todos os sistemas padrões de crescimento utilizam bicarbonato de sódio como ingrediente alcalino, a força do ácido é medida contra o bicarbonato. Assim, aparece o que se chama valor de neutralização (VN), que nada mais é do que o peso em gramas de bicarbonato de sódio necessário para neutralizar completamente 100 gramas de ácido utilizado (Araújo, 1994; Vitri et al., 1988). A Tabela 1 mostra os diversos ácidos com seus respectivos valores de neutralização (VN) e taxa de reação.

TABELA 1 Valores de neutralização (VN) e taxa de reação para os ácidos.

Agente de crescimento	VN	Taxa de reação
Ácido tartárico	116	Muito rápida
Cremor de tártaro	45	Rápida
Fosfato monocálcio monoidratado	80	Intermediária
Fosfato monocálcio anidro	83	Lenta, intensa
Pirofosfato ácido de sódio	72	Lenta
Fosfato de alumínio e sódio	100	Muito lenta
Sulfato de alumínio e sódio	100	Lenta

Fonte: Vitri et al. (1988).

2.1.7.1 Tipos de fermento em pó

Os fermentos em pó se assemelham entre si, porque todos contêm bicarbonato de sódio e um diluente. Diferem, porém, nos seus constituintes ácidos. A função do diluente é separar e revestir as partículas de bicarbonato e ácido que poderiam, de outra forma, reagir entre si bem como conservar seco o material e padronizar a mistura. Se somente bicarbonato de sódio e ácido estivessem presentes, o material não se conservaria bem e a produção de gás carbônico seria muito grande e diferente para vários tipos de fermento em pó, dificultando o emprego deles nas formulações. O diluente, na maior parte dos fermentos em pó, é amido de milho. Entretanto, alguns contêm carbonato de cálcio precipitado (CaCO_3). Este sal não fornece gás carbônico porque é quimicamente inerte na manipulação e assamento. Nas farinhas já vendidas com fermento e nas misturas comerciais para bolos e outras massas, o diluente é a farinha de trigo (Pirozi, 2004).

Os ingredientes de reação ácida usada nos fermentos em pó fornecem íons-hidrogênio, quando são misturados com água possibilitam aos fermentos liberarem gás carbônico do bicarbonato como na equação (1). Um deles, o ácido tartárico, é um ácido orgânico. Muitos deles, porém, são sais metálicos de ácidos neutralizados parcialmente. O sulfato de alumínio e sódio não contém íons-hidrogênio na sua molécula, mas reage com água, originando-os. As fórmulas empregadas para o preparo de fermento em pó são, naturalmente, segredos da indústria (Hood, 1988).

- Os fermentos em pó de tartaratos contêm cremor de tártaro e ácido tartárico. Representam somente uma pequena proporção do fermento em pó atualmente vendido no mercado varejista, possivelmente porque os constituintes ácidos, que são produtos derivados da indústria vinícola, são mais caros do que os usados em outros tipos de fermento. É solúvel em água, reage rapidamente com o bicarbonato de sódio quando misturado na massa. Estima-se que 70 a 80% do

gás sejam liberados dentro de 2 minutos após o término da mistura (Griswold, 1982; Hood, 1988; Vitri et al., 1988).

- O fosfato monocálcio monohidratado, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, é largamente usado nos fermentos. Contém uma molécula de água de cristalização para cada molécula de sal. Os produtos da reação, provavelmente, incluem os sais de cálcio insolúveis como: fosfato de cálcio bem como os sais de sódio solúveis como fosfato monossódico e fosfato dissódico. Esse reagente é muito usado como componente de ação intermediária no sistema de crescimento (Tabela 1). Maior parte do CO_2 disponível é liberada durante a mistura da massa. Os sais residuais da reação com bicarbonato de sódio não são desagradáveis em sabor. Devem ser usados em combinação com agentes de crescimento de ação lenta, em que se deseja um rápido aumento de viscosidade durante a fase de mistura (El-Dash & Camargo, 1982; Pirozi, 2004; Vitri et al., 1988).

- O pirofosfato ácido de sódio é um ácido de ação lenta e comumente usado no preparo de fermento químico em pó. É parcialmente solúvel em água fria e a maior parte de sua ação ocorre na fase de assadura da massa. Excesso de pirofosfato pode dar origem a sabor ácido no produto (El-Dash & Camargo, 1982; Vitri et al., 1988).

- Fosfato de alumínio e sódio é um ácido de ação muito lenta. Libera maior parte de CO_2 no forno. Esse ácido também melhora a maciez e umidade do produto após assado (Vitri et al., 1988).

- O sulfato de alumínio e sódio é outro sal que reage lentamente com o bicarbonato de sódio para formação de gás carbônico nas massas. Sendo o sal de uma base fraca, com um ácido forte, o sulfato de alumínio reage com água para formar um ácido. Esta reação de hidrólise prossegue muito lentamente no frio, mas rapidamente quando é aplicado calor. O ácido sulfúrico libera, então, o gás carbônico do bicarbonato de sódio. Esta última reação prossegue tão lentamente que o sulfato de alumínio e sódio não é usado sozinho, mas é combinado nos

fermentos em pó com fosfato monocálcio monohidratado denominados fermentos em pó de fosfato-SSA, fermentos em pó de sulfato e fosfato, fermentos combinados ou de ação dupla (Griswold, 1982).

2.1.7.2 Produção de gás carbônico

Deve ser observado, segundo a definição, que todos os fermentos em pó devem produzir, pelo menos, 12% de gás carbônico utilizável. A fim de prevenir alguma deterioração durante o armazenamento grande parte dos fermentos em pó, vendidos para uso caseiro produz de 13% a 14% de gás carbônico, enquanto os de uso em padarias produzem, comumente, 17% de gás carbônico utilizável. Gás carbônico utilizável é a quantidade de gás liberado sob as condições comuns de assar (cocção ao forno), isto é, quando água é acrescentada, e calor aplicado (Griswold, 1982).

2.1.7.3 Razão da reação

A rapidez ou demora com que o CO_2 é liberado é muito importante no momento da seleção do ingrediente ácido que será utilizado para reagir com o bicarbonato de sódio. Na seleção do ácido deve-se levar em conta ainda à liberação do gás durante a fase de mistura dos ingredientes, em tempo de mesa e de assamento. Por exemplo, em bolos, deve-se usar um agente de ação lenta para produzir CO_2 por longo período de tempo durante as fases iniciais do assamento (Hood, 1988; Vitri et al., 1988).

2.1.7.4 Efeitos no pH

O pH final do produto deve ser controlado cuidadosamente, a fim de desenvolver cor e valor adequado. Por exemplo, o pH ou acidez do chocolate exerce efeito na cor do miolo de um bolo. Excesso de bicarbonato dará pH mais elevado e sabor de sabão, cor escura, textura grosseira e pesada, células muito grandes. Baixo pH, isto é, excesso de ácido, dará produto de miolo com coloração mais clara, além de sabor ácido. Portanto, é necessário haver um equilíbrio de ácido-base no sistema de agentes de crescimento (El-Dash & Camargo, 1982; Pirozi, 2004; Vitri et al., 1988).

2.1.8 Emulsificante

Os emulsificantes são definidos pela Anvisa (2005) como substâncias que tornam possível a formação ou manutenção de uma mistura uniforme de duas ou mais fases imiscíveis nos alimentos. Há muitos anos os emulsificantes vêm sendo utilizados em produtos de panificação, nos quais exercem, além da própria formação de emulsões, outras funções importantes, como a formação de complexos com amido e a interação com proteínas.

A estrutura de uma massa de bolo que contém gordura pode ser definida como uma combinação de dois sistemas que envolvem interfaces: uma emulsão e uma espuma. Pode-se afirmar que a massa de bolo é, na realidade, uma emulsão aerada. A emulsão em bolos é do tipo óleo em água e é constituída por uma fase interna, descontínua, formada pelos glóbulos de gordura, e uma fase externa, contínua, formada pela água, farinha, açúcar e demais ingredientes. A espuma, por sua vez, é formada por bolhas de ar que constituem a fase descontínua, distribuídas na mesma fase continua aquosa (Giese, 1996).

As propriedades funcionais dos emulsificantes envolvidas na fabricação de bolos são: a emulsificação, que garante a distribuição uniforme da gordura na massa, na forma de pequenas partículas; a aeração, propriedade responsável por

maior volume dos bolos, devido à formação e estabilização da espuma; finalmente, a formação de complexos com amido, que prolonga a maciez, pela redução da retrogradação do amido (Kamel, 1993; Krog, 1989).

Quando se adicionam emulsificantes a uma massa de bolo, eles rapidamente se posicionam com sua porção apolar voltada para o interior dos glóbulos de gordura e com sua porção polar voltada para a fase aquosa da massa. Este posicionamento das moléculas do emulsificante é responsável pela redução da tensão interfacial existente entre a gordura e a fase aquosa, facilitando a distribuição da gordura na massa, ou seja, emulsificando a gordura na forma de partículas pequenas e homogêneas (Stauffer, 1990).

Ao mesmo tempo em que se posicionam na interface entre a gordura e a fase aquosa, os emulsificantes também reduzem a tensão superficial entre a fase aquosa e permitem maior e mais rápida incorporação de ar na massa. Quando o ar é introduzido na massa durante o batimento, a proteína proveniente principalmente das claras de ovos sofre um desdobramento, de tal forma que sua porção lipofílica fica voltada para a fase gasosa, ou seja, para o interior das bolhas de ar, e sua porção hidrofílica permanece na fase aquosa. Este filme protéico também atua na formação e estabilização da espuma, juntamente com as moléculas do emulsificante. A presença do emulsificante na interface óleo-água auxilia indiretamente a aeração, porque os emulsificantes impedem o contato da gordura com a proteína, o que poderia desestabilizar o filme protéico (Stauffer, 2000).

A Tabela 2 apresenta os emulsificantes mais utilizados em bolos.

TABELA 2 Emulsificantes mais utilizados em bolos.

Emulsificantes	Estabilização de emulsões	Formação de complexos com o amido	Aeração/Estabilização da espuma
Monoglicerídeos destilados (Saturados)	Bom	Ótimo	Ótimo na forma cristalina
Monoestearato de propilenoglicol	Fraco	Fraco	Ótimo
Ésteres de poliglicerol	Ótimo	Regular	Bom
Polisorbato 60	Bom	Fraco	Bom
Lactato de mono e diglicerídeos	Bom	Regular	Ótimo

Adaptado: Kamel, 1993.

De acordo com a Tabela 2, observa-se que os emulsificantes apresentam diferentes níveis de eficiência em relação às suas propriedades de estabilização de emulsões, formação de complexos com amido e aeração/estabilização da espuma. Os monoglicerídeos destilados, por exemplo, são bons em estabilização de emulsões, ótimos na formação de complexos com amido e ótimos em aeração. Por outro lado, o monoestearato de propilenoglicol é ótimo em aeração, mas muito pouco efetivo na formação de complexos com amido e estabilização de emulsões. Em função disso, normalmente são utilizadas combinações de diferentes emulsificantes, a fim de se garantir que todos os efeitos desejados sejam obtidos (Kamel, 1993).

De acordo com Stauffer (1990), nos bolos ou misturas para bolos, os emulsificantes podem ser incorporados puros, na forma de géis ou hidratos, através de gorduras especiais ou na forma de “blends” em pó. Cada uma destas

formas de incorporação apresenta vantagens e desvantagens que serão discutidas a seguir.

- Emulsificantes puros: O primeiro aspecto a ser considerado é o fato de que raramente um único emulsificante apresenta resultados satisfatórios. Por isso é necessário utilizar uma mistura de diferentes emulsificantes a fim de se obter um certo efeito sinérgico. Assim, a utilização de emulsificantes puros deve levar em conta a necessidade de manutenção em estoque de, no mínimo, dois ou três diferentes emulsificantes cujas dosagens, em geral, sejam bastante baixas. Além disso, deve-se considerar a necessidade de os emulsificantes serem incorporados à massa de bolo ou mistura para bolo de uma forma que favoreça sua homogeneização. Assim, a fim de garantir a homogeneidade da mistura, torna-se necessária a fusão dos emulsificantes e, se possível, sua prévia incorporação à gordura, o que resulta em duas operações adicionais no processamento.

- Géis ou hidratos: Os géis ou hidratos são obtidos pela hidratação de monoglicéridos em combinação com outros emulsificantes. Estes produtos podem conter também açúcar, sorbitol, propilenoglicol, glicerol e agentes conservantes. Os géis ou hidratos são bastante plásticos e de fácil manuseio. Apresentam boa vida de prateleira e são utilizados em dosagens que variam de 5 a 10 % sobre o peso da farinha.

- Gorduras especiais: São gorduras vegetais hidrogenadas que, durante seu processo de fabricação, recebem a adição de emulsificantes em dosagens adequadas para a fabricação de bolos. As gorduras especiais também chamadas de gorduras emulsificadas ou aditivadas são utilizadas em dosagens que variam de 7 a 12% em misturas para bolos. Em bolos prontos, esta dosagem é aumentada e pode chegar a 25%, já que os bolos prontos necessitam de maior vida de prateleira e a gordura favorece a manutenção da maciez e da palatabilidade do produto. A utilização de gorduras especiais na fabricação de

misturas para bolos requer cuidados para evitar a formação de grumos, especialmente se a dosagem de gordura for elevada.

- “Blends” em pó: São produtos obtidos por processos de secagem em “spray-drier”. Bastante versáteis em sua composição, podem ser adaptados a diferentes necessidades em termos de processamento e tipos de produtos finais. Além disso, são facilmente manuseados e incorporados em misturas e apresentam vida de prateleira longa. Os “blends” em pó são indispensáveis na fabricação de misturas para bolos do tipo “Pão de Ló”. Neste tipo de produto, a dosagem varia de 4 a 6 % na formulação. Já em bolos do tipo “Neutro”, esta dosagem é menor, variando de 1,5 a 4,5%.

2.2 Processamento para produção do bolo

O processo para a obtenção do bolo utilizando-se a pré-mistura é mostrado no fluxograma simplificado do processo de fabricação do bolo da Figura 1.

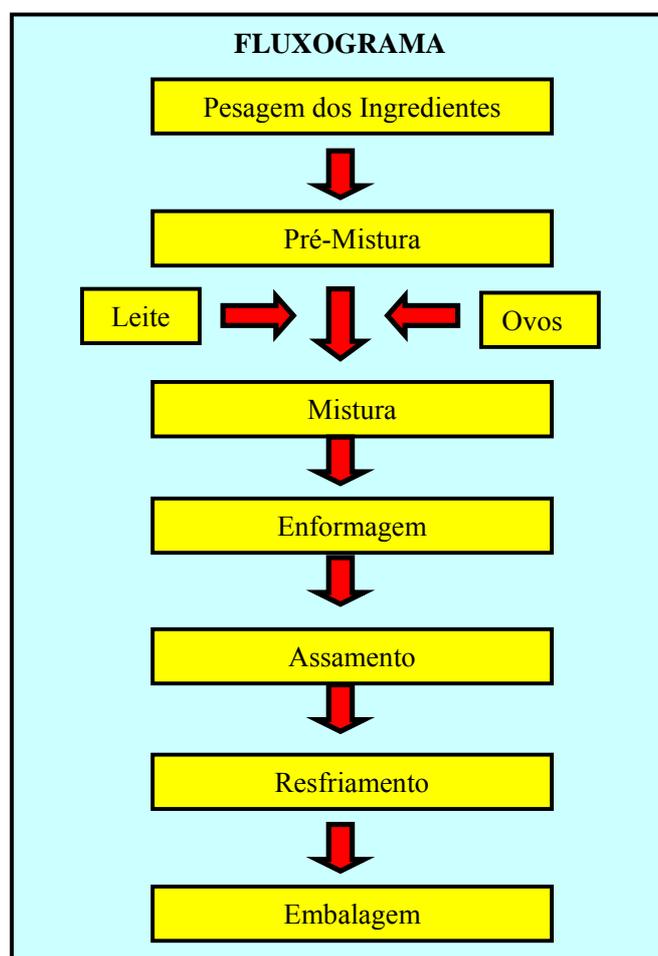


FIGURA 1 Fluxograma simplificado do processo de fabricação do bolo.

2.2.1 Mistura

O objetivo primário da mistura dos ingredientes do bolo é obter uma dispersão homogênea e extensiva, com um máximo de incorporação de ar e um mínimo de desenvolvimento do glúten da farinha (El-Dash & Germani, 1994).

Basicamente, existem dois tipos de processos de fabricação de bolos: o método tradicional e o método direto. No processo tradicional, o batimento é normalmente feito em duas etapas. Na primeira etapa, denominada etapa de “creaming”, a gordura é batida juntamente com o açúcar e os ovos; na segunda etapa são incorporados os demais ingredientes. Entre as vantagens deste método estão a máxima incorporação de ar na fase gordurosa da massa e o desenvolvimento mínimo do glúten. Essa última vantagem tem pouca importância (Pavanelli et al., 2006).

Ocorre que o processo de batimento em duas etapas é lento e trabalhoso, e a incorporação de ar depende, em grande parte, da habilidade da gordura em “prender” as bolhas de ar. Em função disso, foi desenvolvido o método direto, no qual todos os ingredientes são adicionados juntos em uma única etapa de batimento.

No método direto de um estágio a mistura dos ingredientes é feita em bateadeira por 1 a 2 minutos à baixa velocidade, até que todos os ingredientes sólidos se umidifiquem, seguida, por mistura à alta velocidade por 3 a 5 minutos e, finalmente, à baixa velocidade, por 2 minutos. O tempo total de mistura é de 8 a 10 minutos (El-Dash & Germani, 1994).

O método direto representou uma grande evolução nos processos de fabricação de bolos, porque permitiu o desenvolvimento das misturas para bolos e proporcionou ganhos significativos de produtividade na fabricação de bolos prontos. O desenvolvimento do método direto só foi possível devido à utilização de emulsificantes que, graças à ação combinada de suas propriedades de aeração

e emulsificação, garantem a incorporação de ar eficiente, mesmo com uma única etapa de batimento (Pavanelli et al., 2006).

2.2.2 Enformagem

Nesta etapa é importante que nem pouco nem excesso de massa seja colocado na forma. Se quantidade correta for usada, o bolo encherá a forma completamente no final do período de assar. Devido à penetração mais rápida e mais uniforme do calor, os bolos assados em formas rasas apresentaram-se maiores, macios, com uma crosta menos escura e de superfície mais plana do que os assados nas formas mais fundas. A cor da forma também influencia, nas mais escuras o assamento é mais rápido, pois absorvem e transmitem prontamente o calor radiante (Griswold, 1982).

2.2.3 Assamento

O assamento de bolos resulta em mudanças físico-químicas e bioquímicas como expansão do volume, evaporação de água, formação de poros, desnaturação de proteínas, gelatinização do amido, formação da crosta entre outros (Giannou et al., 2003).

A massa do bolo deve ser colocada em assadeira e inserida no forno para assar tão logo esteja pronta a mistura. Isso porque o fermento químico usado inicia a reação de produção do gás dióxido de carbono (CO_2) assim que é posto em solução. Quando a massa ainda está fluida há uma inevitável perda de gás e um aumento no tamanho das células de ar da massa, caso ela demore muito a ser assada.

Quando a formulação é rica em açúcar, a massa requer baixas temperaturas de forno (163°C a 177°C), enquanto que massas de formulação mais pobre podem ser assadas a temperaturas mais altas 177°C a 204°C . O tempo da massa no forno deve ser ajustado com a temperatura em relação

inversa, isto é, quanto mais alta a temperatura do forno, menor o tempo, que varia de 20 a 30 minutos (El-Dash & Germani, 1994).

Segundo Pateras (1998), durante o processo de assamento ocorre a gelatinização que é uma combinação do evento de fusão da porção cristalina do grânulo de amido. O grânulo de amido não é solúvel em água fria, mas quando aquecido em meio aquoso absorve água e intumescce. Inicialmente o entumescimento é reversível, tornando-se irreversível à medida que aumenta a temperatura, alterando a estrutura do grânulo. Com o aumento da temperatura, ligações de hidrogênio são rompidas permitindo a incorporação de água pelo amido. Esta incorporação aumenta a separação entre as cadeias e a aleatoriedade e diminui o número e o tamanho das regiões cristalinas. Quando a temperatura dos cristais é excedida, o estado do sistema fica próximo a um sólido. Este ponto é conhecido como ponto de gelatinização ou temperatura de gelatinização.

2.3 Análises físicas e químicas

2.3.1 Análise de cor

Para Giese (2003), a cor é um parâmetro crítico em alimentos e determina sua qualidade. Podem ser observadas transformações em todas as etapas: matéria - prima, processamento e armazenamento.

Hutchings (1999) sugere que a cor dourada de pães e torrada indica o ponto ótimo de assamento. Falta ou excesso de cocção é indicada por coloração muito clara em um extremo e pães escuros no outro.

Clydesdale (1984) classifica a colorimetria ou análise instrumental da cor em espectroscopia de absorção e espectroscopia de reflectância. A quantidade de energia absorvida ou refletida por um material é avaliada em comprimento de onda específico e as leituras são convertidas em modelos matemáticos associados com a percepção visual.

Existem vários sistemas para descrever uma cor em particular, entre eles, o Munsell, CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) e L^* , a^* , b^* (Hunterlab e Gardner).

No Sistema L^* , a^* , b^* as graduações de claro e escuro são representadas pelo L^+ e L^- , o vermelho por $+a$, verde por $-a$, amarelo por $+b$ e o azul por $-b$. A Figura 2 representa os eixos de cores para o sistema L^* , a^* , b^* .

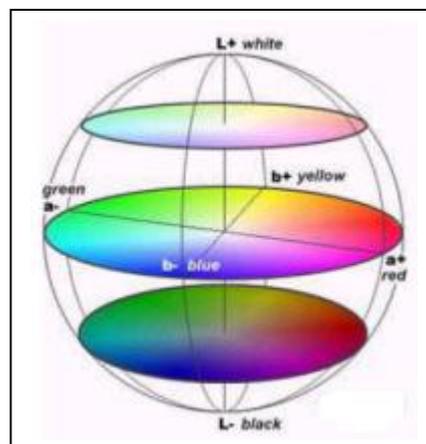


FIGURA 2 Representações dos eixos de cores para o sistema L^* , a^* , b^* .

2.3.2 Textura

A textura pode ser definida como todos os atributos mecânicos, geométricos e de superfície de um produto que sejam perceptíveis por meios instrumentais e sensoriais. Afeta o processamento, manuseio, conservação e aceitabilidade do produto. A textura de alimentos tem sido reconhecida como um parâmetro sensorial multidimensional (Rosenthal, 1999).

Conforme Szczesniak (2002), a definição de textura engloba os seguintes conceitos:

- propriedade sensorial perceptível e descrita pelo homem. Os analisadores de textura detectam e quantificam certos parâmetros físicos que posteriormente são interpretados em termos de percepção sensorial;
- atributo de múltiplos parâmetros;
- é derivada da estrutura do alimento;
- são detectados por vários sentidos, os mais importantes são o tato e a pressão.

2.3.2.1 Análise do perfil de textura (TPA)

A análise de textura de alimentos sólidos e semi-sólidos é realizada pelo método TPA (do inglês, “Texture Profile Analysis”) aplicável tanto para medidas sensoriais como para instrumentais. O método instrumental consiste em comprimir o alimento pelo menos duas vezes e quantificar parâmetros mecânicos a partir de curvas forças-deformação. Excelentes correlações entre análise de textura instrumental e sensorial foram encontradas para o parâmetro firmeza (Szczesniak, 2002).

A Tabela 3 mostra as definições dos parâmetros mecânicos de textura em relação ao sensorial.

TABELA 3 Definições de parâmetros mecânicos de textura (Szczesniak, 2002).

	Físico	Sensorial
Firmeza	Força necessária para atingir uma dada deformação	Força requerida para comprimir uma substância sólida entre os dentes incisivos
Coabilidade	Extensão em que o material pode ser deformado antes da ruptura	Grau de deformação da amostra antes da ruptura com os molares
Elasticidade	Taxa em que o material deformado volta para a sua condição inicial	Grau em que o produto retorna para sua forma original quando comprimido entre os dentes
Mastigabilidade	Energia requerida para desintegrar um alimento a um estado pronto para ser engolido	Número de mastigações necessárias, com força constante, para reduzir a amostra a uma consistência adequada para ser engolida

A curva força-tempo representada na Figura 3 da análise de TPA gerada por analisador de textura TA-TX2i da Stable Micro Systems está interpretada na Tabela 4.

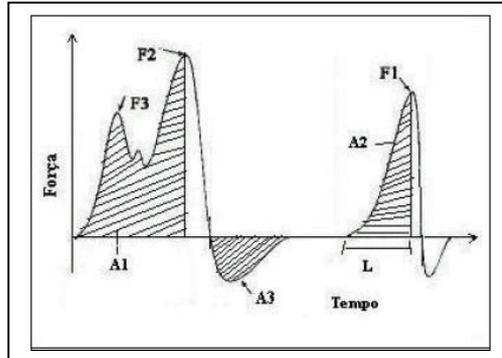


FIGURA 3 Curva força-tempo gerada pelo texturômetro TA-TX2i em análise de dupla compressão (Stable Micro Systems, 2002).

TABELA 4 Interpretação da curva força-tempo gerada pelo texturômetro (TTC, 2005).

Parâmetros	Unidade	Definição
Firmeza	N	Altura do pico do 1º ciclo (F2)
Coesividade	Adimensional	Relação entre as áreas do 2º ciclo (A2) e do 1º (A1), do contato inicial até o pico
Elasticidade	m	Distância medida do contato inicial da amostra no 2º ciclo até o pico F1 (L)
Adesividade	J	Área do pico negativo formado quando o êmbolo é puxado da amostra (A3)
Fraturabilidade	N	Caracterizada pela forma dos multi-picos do traçado do 1º ciclo e é medida como o 1º máximo local da 1º compressão (F3)
Mastigabilidade	N.m	Firmeza x coesividade x elasticidade
Gomosidade	N	Firmeza x coesividade x 100

A firmeza do bolo, avaliada por métodos instrumentais (texturômetros), é proporcional à força aplicada para ocasionar uma deformação ou rompimento da amostra e está correlacionada com a mordida humana durante a ingestão dos alimentos. A força máxima avaliada para alimentos dessa natureza depende da formulação (qualidade da farinha, quantidade de açúcares, gorduras, emulsificantes, fermento químico e ovos), umidade da massa e conservação (tempo de fabricação do produto e embalagem). No processo de batimento da massa, apesar da forte agitação e velocidade das pás, os ingredientes não são solubilizados completamente. Ocorre liberação de gás carbônico antes e durante o forneamento. Durante a cocção ocorre, também, volatilização do vapor de água da massa e formação de uma matriz complexa de amido gelatinizado e proteínas que aprisionam o material volátil e formam alvéolos de tamanhos variados. Esses “colchões” de ar, distribuídos de forma não uniforme, podem representar, em uma mesma amostra, variações nos valores de firmeza e influenciar os outros parâmetros de textura. As análises dos resultados de textura apontam para valores baixos de firmeza (ou maior maciez) para o miolo de bolos com bastante umidade, gordura e açúcar que exercem efeito amaciante na massa. Bolo com tempo excessivo de forneamento, que tenha perdido, de alguma forma, a umidade (embalagem aberta, por exemplo), apresenta-se como uma massa firme que necessita de maior salivação e mastigação (Esteller et al., 2004a,b).

Para a variável coesividade, a manutenção dela em derivados de trigo está relacionada principalmente às interações moleculares dos componentes, principalmente ligações de hidrogênio, dissulfeto e ligações cruzadas com participação de íons metálicos e mobilidade da água na massa. Durante o período de armazenamento ocorrem mudanças nas ligações (migração de água, cristalização do amido, hidrólise da gordura) que causam um desarranjo gradual da estrutura. Valores reduzidos de coesividade caracterizam bolos de difícil

manipulação e fatiamento porque esfarelam com facilidade (Esteller et al., 2004a).

A mastigabilidade é um parâmetro de textura facilmente correlacionado com análise sensorial. Amostras com maior teor de fibras ou ressecadas necessitam de maior salivação e número maior de mastigações antes da deglutição. O enrijecimento de massas provoca maior necessidade de trabalho mecânico e movimentação da boca (Esteller et al., 2004a).

Moscatto et al. (2004), pesquisando a utilização de farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate, encontraram valores para os parâmetros de textura, firmeza e coesividade de 5,467 N e 0,718 (formulação padrão), 3,638 N e 0,691 (formulação A – 20% farinha yacon), 3,792 N e 0,656 para a formulação B contendo 40% farinha yacon e 6% por inulina, respectivamente.

2.3.3 Umidade

Para Labuza & Hyman (1998), a perda e o ganho de umidade em um alimento vão ocorrer continuamente de uma região para outra, como forma de equilíbrio dinâmico entre os componentes e o meio.

Pães e bolos quebrados ou esfarelado são deixados de lado pelo consumidor no ponto de venda. Umidade em excesso aumenta a atividade microbiana e deixa os produtos panificados grudentos e “borrachudos”. Cabe ao fabricante, portanto, o controle do teor de umidade.

Cauvain (1998) relaciona algumas alterações que ocorrem em produtos panificados vinculadas às condições de armazenamento, embalagem, temperatura e umidade relativa:

- perda de crocância devido à absorção ou migração da água do miolo para a crosta;
- aumento da firmeza em pães e bolos devido à perda de água para a atmosfera;

- aumento da firmeza devido à perda de água no processo de retrogradação do amido;
- aumento da firmeza em bolos devido à migração da água do recheio para a massa;
- tendência ao esfarelamento devido a alterações na coesividade;
- modificações - normalmente perda no aroma e sabor.

2.4 Análise sensorial

No mundo atual, com o processo da globalização, as indústrias passaram a aperfeiçoar a qualidade de seus produtos para atender tanto as expectativas do mercado interno quanto externo. As técnicas da análise sensorial têm grande aplicação nesse processo.

Nos testes afetivos o objetivo é medir atitudes subjetivas, como aceitação ou preferência de produtos, de forma individual ou em relação a outros. No entanto, nem sempre um produto preferido em relação a outro é o mais consumido, já que a aceitação depende de fatores, tais como preço, qualidade nutricional, disponibilidade e propaganda, dentre outros. Aceitação aqui se refere à expectativa de uso efetivo do produto, isto é, disposição do consumidor de comprar e consumir o produto. Assim, um produto pode ser preferido a outro em um teste de preferência e nenhum dos dois ter boa aceitação. Os métodos mais empregados para medida da aceitação de produtos são as diversas formas de escala, como a hedônica e a de atitude (FACT)(Chaves & Sproesser, 1993).

No uso da escala hedônica, o provador expressa sua aceitação pelo produto seguindo uma escala previamente estabelecida que varia gradativamente, com base nos atributos gosta e desgosta. A preferência é implícita neste caso. Há diferentes tipos de escala hedônica, como as verbais: gosta extremamente/desgosta extremamente, excelente/péssimo e a escala

hedônica facial. Nas escalas do tipo verbal, a escolha das palavras ou frases que vão identificar os intervalos na escala é de grande importância, uma vez que essa associação verbal não somente deverá dar uma idéia de ordem sucessiva dos intervalos na escala, como também facilitar a decisão do provador em suas respostas. Os pontos da escala são associados a valores numéricos e possibilitam a análise estatística dos resultados por meio da análise de variância e de outras técnicas (Chaves & Sproesser, 1993).

2.5 Planejamento experimental

O planejamento experimental é uma ferramenta estatística que permite avaliar a influência de dois ou mais fatores em uma resposta. É utilizado a fim de minimizar o número de experimentos necessários para a obtenção de uma resposta.

De acordo com Fargestad (1999), em panificações, o planejamento experimental tem sido utilizado a fim de estudar variáveis de processo e de mistura (% de cada componente na formulação ou a variedade de farinhas de trigo).

2.5.1 Projeto de mistura

O projeto de mistura é um método de delineamento experimental que permite investigar propriedades de um sistema multicomponente em função da sua composição. A característica principal do projeto de mistura é que a soma de todos os componentes deve ser igual a 100%. O que significa que os componentes não podem ser manipulados independentemente (Barros Neto et al., 2002). A equação 2 corresponde à mistura qualquer de q componentes.

$$\sum_{i=1}^q X_i = 100\% = 1 \quad (2)$$

Em que X_i representa a proporção do i -ésimo componente. A equação 2 retira um grau de liberdade das proporções. Para especificar a composição da mistura, fixam-se as proporções de $q - 1$ componentes. A proporção do último componente será sempre o que falta para completar 100%.

Cornell (1990) utilizou projetos matriciais que podem ser definidos como conjuntos de pontos selecionados sobre o espaço da mistura no qual dados sobre a propriedade estudada são reunidos para ajustar uma equação resposta dentro do espaço estudado. Para um sistema de três componentes, o espaço é um triângulo equilátero no qual cada um dos lados representa a quantidade de um componente variando de 0 a 1. Pode-se também estudar subespaços da mistura, pois há uma relação linear entre estes e o espaço da mistura total.

De acordo com Calado & Montgomery (2003), os modelos matemáticos usualmente utilizados no planejamento de misturas estão representados nas equações 3, 4 e 5.

$$\text{- Linear: } Y = \sum_{i=1}^q \beta_i \cdot X_i \quad (3)$$

$$\text{- Quadrático: } Y = \sum_{i=1}^q \beta_i \cdot X_i + \sum_{i<j}^q \beta_{ij} \cdot X_i X_j \quad (4)$$

$$\text{- Cúbico: } Y = \sum_{i=1}^q \beta_i \cdot X_i + \sum_{i<j}^q \beta_{ij} \cdot X_i X_j + \sum_{i<j<k}^q \beta_{ijk} \cdot X_i X_j X_k \quad (5)$$

Em que:

- Y é o valor da variável resposta analisada;
- β_i , β_{ij} e β_{ijk} são coeficientes de interação de primeira, segunda e terceira ordens calculadas para os fatores X_i , X_j e X_k ;
- X_i , X_j e X_k são as proporções dos fatores;
- $i = 1, 2, \dots, q$ indica o número do componente em questão.

Para Barros Neto et al. (1995) existem dois tipos de planejamento:

a) Simplex – Lattice: $m + 1$ proporções, igualmente espaçadas, são testadas para cada fator ou componente no modelo. Os níveis dos fatores são obtidos através de:

$$X_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, 1 \quad i = 1, 2, \dots, q$$

b) Simplex – Centróide: para um experimento com q ingredientes existem $2^q - 1$ pontos que correspondem a q permutações de $(1, 0, 0, 0, \dots, 0)$ ou as q formulações puras; a $\binom{q}{2}$ permutações de $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0, 0, \dots, 0)$ ou todas as formulações binárias; $\binom{q}{3}$ permutações de $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, 0, 0, \dots, 0)$ ou todas as formulações ternárias e um ponto centróide global $(\frac{1}{q}, \frac{1}{q}, \frac{1}{q}, \dots, \frac{1}{q})$ ou formulação q -nária.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente experimento foi realizado no Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal Lavras nos Laboratórios de Engenharia e Microestrutura Alimentar, Laboratório de Grãos Cereais e Laboratório de Análise Sensorial.

3.1 Etapa 1 - Coleta de informações dos componentes das pré-misturas de bolo e dos fermentos comerciais.

Nesta etapa realizou-se a coleta de informações a respeito dos principais ingredientes utilizados nos fermentos em pó comerciais (Fermento 1, Fermento 2, Fermento 3), assim como sua quantificação por métodos físico-químicos. Os fermentos foram adquiridos no mercado sendo analisado 1 frasco por fermento em triplicata. Para as pré-misturas (Marca 1, Marca 2, Marca 3) foram feitas apenas as coletas de informações dos componentes químicos, com base nas informações dos rótulos.

O fermento químico é constituído de componentes ácidos misturados a uma quantidade equivalente de bicarbonato de sódio diluído com o amido. Foram realizadas as seguintes análises físico-químicas:

3.1.1 Acidez titulável

Teve por objetivo determinar a acidez por meio da titulação das amostras dos fermentos comerciais, sendo um indicativo da concentração total de ácidos presentes na amostra (IAL, 1985).

3.1.2 Minerais

Foram quantificados os principais minerais presentes na amostra de fermento através da digestão com ácido nítrico perclórico e posterior leitura no espectrofotômetro (AOAC, 1990).

3.1.3 Ácido cítrico

A análise de titulação foi realizada para quantificar a porcentagem de ácido cítrico presente nas amostras de fermento (IAL, 1985).

3.1.4 Ácido tartárico e cremor de tártaro

Análises de titulações foram realizadas para quantificar o ácido tartárico e o cremor de tártaro da amostra de fermento (IAL, 1985).

3.1.5 Dióxido de carbono total

A análise de gasometria determina a quantidade de dióxido de carbono desprendido de uma amostra de fermento. Tendo por objetivo conhecer a potencialidade do produto quanto à produção de gás carbônico. Adaptou-se a metodologia descrita pelas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 1985). A metodologia e o equipamento adaptado utilizado para esta determinação está representado na Figura 1A, do Anexo A.

3.1.6 Amido

O amido presente no fermento em pó comercial tem por função atuar como diluente, separando e revestindo as partículas de bicarbonato e ácido que poderiam, de outra forma, reagir entre si, bem como conservar seco o material e padronizar a mistura. Para a quantificação do amido utilizou-se a análise de glicídios redutores em glicose (IAL, 1985).

3.2 Etapa 2 - Seleção da formulação do fermento químico empregando-se a regra da mistura.

Selecionados a partir da etapa 1, os principais componentes que foram utilizados como ingredientes da formulação do fermento químico, a qual foi estudada empregando-se a regra da mistura com planejamento simplex-centróide para descrever a influência de cada componente do fermento químico e a interação destes com as variáveis respostas: densidade específica da massa crua, teor de umidade, volume, densidade específica do bolo, pH, altura, textura (TPA) e diferença de cor do miolo. Realizaram-se três repetições para cada variável resposta.

A Tabela 5 apresenta os níveis das variáveis utilizadas no planejamento simplex-centróide empregando-se a regra da mistura.

TABELA 5 Planejamento estatístico das misturas (tratamentos) mostrando os níveis das variáveis empregadas no planejamento simplex-centróide.

Misturas	Variáveis			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0,5	0,5	0	0
4	0	0	1	0
5	0,5	0	0,5	0
6	0	0,5	0,5	0
7	0,3333	0,3333	0,3333	0
8	0	0	0	1
9	0,5	0	0	0,5
10	0	0,5	0	0,5
11	0,3333	0,3333	0	0,3333
12	0	0	0,5	0,5
13	0,3333	0	0,3333	0,3333
14	0	0,3333	0,3333	0,3333
15	0,25	0,25	0,25	0,25

Em que X₁ é a proporção do componente ácido tartárico; X₂ é a proporção do componente pirofosfato ácido de sódio; X₃ é a proporção do componente fosfato monocálcio; X₄ é a proporção do componente sulfato de alumínio e sódio.

O modelo geral da função da regressão que pode ser ajustado aos valores das variáveis respostas possui termos lineares, quadráticos e cúbicos, e está representada pela equação 6.

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{14} X_1 X_4 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{24} X_2 X_4 + \beta_{34} X_3 X_4 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 + \beta_{124} X_1 X_2 X_4 + \beta_{134} X_1 X_3 X_4 + \beta_{234} X_2 X_3 X_4 + \varepsilon \quad (6)$$

Em que:

- Y: é a variável resposta em estudo;
- X_1, X_2, X_3, X_4 : são os níveis das variáveis codificadas;
- β_i, β_{ij} e β_{ijk} são os coeficientes do modelo;
- \mathcal{E} : é o erro experimental.

Os dados obtidos de cada variável resposta foram submetidos à análise de variância para avaliar o ajuste do modelo selecionado. Também é necessário verificar se a regressão é significativa e se existe evidência da falta de ajuste, conforme sugestão de Barros Neto et al. (1995).

3.2.1 Elaboração do bolo

3.2.1.1 Matéria - prima

Foram utilizadas as seguintes matérias-primas: farinha de trigo especial, açúcar cristal, amido de milho, gordura vegetal hidrogenada, fermento químico, leite pausterizado, ovos “in natura” e emulsificante (monoglicerídeos).

3.2.1.2 Utensílios

Utilizaram-se os seguintes utensílios: fôrmas de alumínio retangulares (5 cm de altura, 8 cm de largura por 19 cm de comprimento), papel impermeável (papel manteiga), embalagem de polipropileno e filme plástico de polietileno.

3.2.1.3 Equipamentos

Foram utilizados os seguintes equipamentos: balança semi-analítica (marca GEHAKA), batedeira Arno modelo BPA (50/60 HZ) de 350 W – 5 velocidades, forno elétrico - marca Lary, paquímetro, colorímetro Minolta, texturômetro TA-TX2i, phmetro e aqualab modelo 3-TE.

3.2.2 Métodos de elaboração

3.2.2.1 Formulação dos bolos

As formulações padrão para os bolos da segunda e terceira etapa estão representadas na Tabela 6. As únicas modificações apareceram entre os componentes do fermento químico e a adição do emulsificante na formulação do bolo da etapa 3.

TABELA 6 Quantidade dos ingredientes utilizados na elaboração dos bolos e suas respectivas porcentagens em relação à farinha de trigo, nas etapas 2 e 3.

Ingredientes	ETAPA 2		ETAPA 3	
	Quantidade	%	Quantidade	%
Farinha Trigo	155,15 g	100	152,00 g	100
Açúcar	152,25 g	98,13	149,00 g	98,03
Sal	1,1 g	0,71	1 g	0,66
Amido	45,50 g	29,33	46,00 g	30,26
Fermento	15 g	9,67	15 g	9,87
Gordura	31 g	19,98	31 g	20,39
Emulsificante	-	-	6 g	3,95
Leite	150 mL	-	150 mL	-
Ovos	2 ovos	-	2 ovos	-

3.2.2.2 Preparação das massas dos bolos

No preparo da massa tem-se por objetivo, ao misturar os ingredientes, obter uma dispersão homogênea com um máximo de incorporação de ar e um mínimo de desenvolvimento do glúten da farinha.

Todos os ingredientes secos, pré-mistura e a formulação do fermento químico foram adicionados na batedeira Arno modelo BPA (50/60 HZ) de 350 W, 5 velocidades, inicialmente, ligada na velocidade 1 para homogeneização dos ingredientes por um período de 3 minutos. Decorrido esse tempo adicionaram-se

os ovos e o leite até que todos os ingredientes sólidos se umidificassem, passando-se, a seguir, para a velocidade 4 da batedeira. O tempo total desta segunda fase variou entre 10 e 15 minutos. Adicionou-se o emulsificante na etapa 3 durante o processo de mistura da massa.

3.2.2.3 Cozimento da massa

Foram inseridas 300 g de massa do bolo em formas de alumínio de formato retangular, previamente envolvidas com papel manteiga e imediatamente colocadas no forno elétrico (Marca Layr) pré-aquecido entre 160°C - 180°C e assadas por 30 minutos.

3.2.2.4 Resfriamento

Os bolos, após o assamento, foram resfriados durante toda a noite, à temperatura ambiente protegidos contra insetos por meio de uma tela plástica. Posteriormente, os produtos foram desinformados, pesados e acondicionados em filmes plásticos de polietileno para posteriores análises.

3.2.3 Análises da massa crua do bolo

3.2.3.1 Determinação da densidade específica da massa crua do bolo

Foi determinada a densidade específica da massa do bolo com o objetivo de verificar possíveis liberações de gases pelos componentes da formulação do fermento durante o processo de elaboração da massa. A densidade da massa formulada, proveniente das diferentes misturas de fermento, foi calculada dividindo-se o peso da massa contida em um béquer pelo volume deste mesmo béquer (Paton et al., 2001). O volume padronizado para o presente experimento foi de 40 mL.

3.2.4 Análises do bolo assado

3.2.4.1 Dimensões e peso do bolo

O comprimento, a espessura e a altura da massa assada foram determinados por meio de um paquímetro. As leituras foram realizadas em três pontos do bolo, obtendo suas respectivas médias. O peso foi obtido em balança semi-analítica (marca GEHAKA).

3.2.4.2 Determinação da densidade específica do bolo

Para a determinação da densidade específica do bolo assado a amostra foi envolvida por um filme plástico de polietileno e pesada em balança semi-analítica. Em seguida, foi colocada em um recipiente de volume conhecido, o qual foi completado com semente de painço. O volume das sementes de painço utilizado foi determinado utilizando-se uma proveta graduada calibrada. O volume da amostra de bolo foi obtido pela subtração do volume do painço utilizado pelo volume do recipiente. A densidade específica foi obtida pela razão entre a massa e o volume da amostra do bolo (Pizzinato & Campagnolli, 1993).

3.2.4.3 Análises físico-químicas do bolo

3.2.4.3.1 Teor de umidade

Para a análise de umidade o bolo foi picado e homogeneizado (casca+miolo) pesando-se 10 g da amostra em cápsula de alumínio tarada. Os conjuntos (triplicata) foram inseridos em estufa a 105 °C por 24 horas. Após desidratação, foram mantidos em um dessecador contendo sílica-gel, até atingir a temperatura ambiente, sendo então pesados. O teor de umidade foi calculado pela diferença entre o peso inicial e final das amostras e expresso em porcentagem em base seca, conforme método da Association of Official Analytical Chemistry (AOAC, 1990).

3.2.4.3.2 pH

A metodologia descrita por Plata Oviedo (1998) foi empregada para determinação do pH. Foram pesados dez gramas de amostras em um béquer e misturados com um bastão de vidro em 100 mL de água destilada. Procedeu-se à trituração e posterior leitura do pH utilizando-se o phmetro.

3.2.4.4 Análise de textura

As análises de textura de amostras do bolo assado foram realizadas através do teste de TPA (análise de perfil de textura) utilizando-se um analisador de textura TA.TX2i Stable Micro Systems, (Goldaming, England) no Laboratório de Engenharia e Microestrutura Alimentar do DCA da UFLA.

Após o resfriamento, os bolos foram fatiados com um cortador de aço inoxidável e as três fatias centrais, medindo 1 cm de espessura, foram submetidas à análise.

Na análise de TPA utilizou-se uma probe cilíndrica de 4,5 cm de diâmetro. A amostra do bolo foi submetida a um ciclo de dupla compressão, sendo à distância de compressão de 2,5 mm, velocidade do teste 1,0 mm/s, velocidade do pré-teste 1,0 mm/s e velocidade do pós-teste 10,0 mm/s. Os parâmetros dureza, elasticidade, coesividade, fraturabilidade, gomosidade, adesividade, mastigabilidade e resistência foram determinados empregando-se o Software Texture Expert Versão 1.22, 1999.

A Figura 4 apresenta o equipamento texturômetro TA TX2i Stable Micro Systems durante a realização de uma análise de TPA da amostra do bolo.



FIGURA 4 Equipamento texturômetro TA TX2i Stable Micro Systems.

3.2.4.5 Diferença de cor

A cor dos bolos foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Giese (1996). Os valores de L^* , a^* e b^* foram obtidos com aparelho colorímetro Minolta modelo CR 400, trabalhando com D_{65} (luz do dia) e usando-se os padrões CIE Lab: em que L^* varia de 0 (preto) a 100 (branco), a^* varia do verde (-) ao vermelho (+), b^* varia de azul (-) ao amarelo (+).

Os bolos foram colocados sobre uma superfície branca (papel) e realizaram-se às leituras. As análises foram realizadas na superfície, lateral e miolo dos bolos em triplicata, ou seja, em cada parte do bolo foram feitas três leituras para cada amostra com 3 repetições. A diferença de cor (ΔE^*) foi obtida por meio da equação 7:

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0,5} \quad (7)$$

em que:

ΔE^* = valor para a diferença de cor;

L^* = 92,40 padrão branco;

$a^* = 0,3162$ padrão branco;

$b^* = 0,3326$ padrão branco;

ΔL^* = diferença entre o L^* do padrão branco e o L^* da leitura da amostra;

Δa^* = diferença entre o a^* do padrão branco e o a^* da leitura da amostra;

Δb^* = diferença entre o b^* do padrão branco e o b^* da leitura da amostra.

3.3 Etapa 3 - Otimização da mistura do fermento empregando-se o planejamento com limites inferiores e superiores.

As formulações das misturas desta etapa foram definidas de acordo com os resultados alcançados na etapa 2. Portanto, as proporções das misturas foram definidas na região ótima de trabalho empregando-se o planejamento simplex-centróide com limites inferiores e superiores. Assim, as restrições foram as seguintes:

$$0,0 \leq X_2 \leq 0,15$$

$$0,8 \leq X_3 \leq 1,00$$

$$0,0 \leq X_4 \leq 0,20$$

A Tabela 7 apresenta os níveis das variáveis nos pontos propostos para realizar o planejamento, gerados pelo programa estatística, com as suas devidas restrições, em que: X_2 é a proporção do componente pirofosfato ácido de sódio; X_3 é a proporção do componente fosfato monocalcício; X_4 é a proporção do componente sulfato de alumínio e sódio.

Nesta etapa analisaram-se as variáveis respostas volume, densidade específica do bolo, pH, altura, diferença de cor do miolo, atividade de água e textura (TPA) de acordo com a mesma metodologia adotada na etapa 2. Essas análises foram realizadas em três repetições.

TABELA 7 Planejamento estatístico das misturas (tratamentos) mostrando os níveis das variáveis nos pontos propostos para o planejamento com restrições.

Misturas	Variáveis		
	X ₂	X ₃	X ₄
1 V	0	1	0
2 V	0,15	0,85	0
3 V	0	0,8	0,2
4 V	0,15	0,8	0,05
5 C(1)	0	0,9	0,1
6 C(1)	0,075	0,925	0
7 C(1)	0,15	0,825	0,025
8 C(1)	0,075	0,8	0,125
9 C(2)	0,075	0,8625	0,0625

V = vértice; C(1) = centróide; C(2) = centróide global.

Na representação do ajuste dos valores das variáveis respostas, utilizou-se a fórmula geral contendo termos lineares, quadráticos e cúbicos representada pela equação 8. A significância estatística da equação foi feita através da análise de variância, a nível de 5% de confiança.

$$Y = \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{24} X_2 X_4 + \beta_{34} X_3 X_4 + \beta_{234} X_2 X_3 X_4 + \varepsilon \quad (8)$$

Em que:

- Y: é a variável resposta em estudo;
- X₂, X₃, X₄: são os níveis das variáveis codificadas;
- β_i , β_{ij} e β_{ijk} são os coeficientes do modelo;
- \mathcal{E} : é o erro experimental.

3.3.1 Atividade de água

A atividade de água para as amostras do bolo assado foi avaliada empregando-se o equipamento Higrômetro Decagon modelo 3 TE (Aqualab), à temperatura constante ($25,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$) no modo normal. Estas análises foram realizadas em três repetições na etapa 3 do projeto. A Figura 5 apresenta o equipamento higrômetro decagon modelo 3 TE.



FIGURA 5 Equipamento Aqualab Modelo 3 TE.

3.3.2 Avaliação sensorial do bolo assado

Realizou-se o teste de preferência, na etapa 3 do projeto, no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Fez-se um teste de preferência do consumidor, com escala hedônica estruturada de 9 pontos. Com ele foram avaliados, separadamente, os seguintes atributos: aparência, cor, sabor, textura e volume.

A análise sensorial, realizada em escala laboratorial, foi composta por 50 provadores não treinados, de ambos os sexos, numa faixa etária de 18 a 50 anos

no período da tarde. Os provadores receberam as 3 amostras simultaneamente, codificadas com três dígitos e em ordem casualizada, e um copo com água, à temperatura ambiente, para enxaguar a boca, antes de cada avaliação. As amostras foram servidas em cabines individuais iluminadas com lâmpadas fluorescentes (luz do dia). Deste teste os provadores selecionaram a amostra com maior preferência para os atributos aparência, cor, sabor e textura.

Procedeu-se novamente à mesma metodologia para a amostra selecionada. Nesta fase realizou-se a comparação de três níveis (4 g, 5 g e 6 g) de fermento químico da melhor amostra com o fermento padrão comercial (15 g). Desta fase, os provadores selecionaram a amostra de maior aceitação para os atributos aparência, cor, sabor, textura e volume.

O modelo da ficha de avaliação utilizada na análise é mostrado na Figura 2A, do Anexo A.

3.4 Etapa 4 - Análise de custo da pré-mistura e do fermento químico.

Nesta etapa procedeu-se ao levantamento do custo, no varejo, de cada ingrediente da pré-mistura e de cada componente do fermento químico. Baseado em um peso padrão de 400 g para a pré-mistura, efetuou-se o cálculo do custo total dela e da porcentagem de cada ingrediente sobre o valor total. O mesmo procedimento foi adotado para o custo do fermento químico.

3.5 Análise estatística e delineamento experimental

No planejamento da etapa 2 utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições, sendo os tratamentos gerados pela regra da mistura empregando-se o planejamento simplex-centróide para quatro componentes. Os tratamentos encontram-se na Tabela 5. A escolha do planejamento simplex – centróide deve-se ao fato dele gerar tratamentos com a mistura de todos os componentes. As variáveis respostas analisadas nesta etapa

foram: umidade, pH, volume, densidade específica da massa crua e do bolo, altura, diferença de cor miolo e análise de textura (TPA).

Para o planejamento da etapa 3, utilizou-se a mesma metodologia para a determinação das variáveis respostas empregada na etapa 2. Empregou-se um planejamento simplex-centróide com restrições nos limites inferiores e superiores.

Para as etapas 2 e 3 foi realizada a análise de variância com a finalidade de verificar a adequação dos modelos. Foi observada a significância da regressão e da falta de ajuste, utilizando-se um coeficiente de 95% de confiança. Também, obteve-se o coeficiente de determinação (R^2) que estabelece uma idéia proporcional de ajuste de um dado modelo, ou seja, quanto mais próximo de 1 melhor o ajuste do modelo (Barros Neto et al., 1995).

Portanto, os critérios para a seleção do melhor modelo levam em consideração o maior R^2 e o menor quadrado médio do erro (QM_{erro}). Para se determinar o efeito das variáveis independentes nas respostas avaliadas foram realizados gráficos de curvas de nível quando a ANAVA mostrou diferença significativa e o modelo foi ajustado.

Após conclusão do planejamento experimental (regra da mistura), foram selecionados os melhores tratamentos para comparação com o fermento padrão em termos de análise sensorial.

Os dados gerados pelos resultados da análise sensorial foram submetidos à análise estatística utilizando-se o programa Sistema para Análise de Variância (SISVAR). Foi aplicado o teste de Scott & Knott, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Etapa 1 - Coleta de informações dos componentes das pré-misturas de bolo e dos fermentos comerciais.

Na Tabela 8 encontram-se os componentes identificados nos rótulos das pré-misturas de bolos e nos rótulos dos fermentos comerciais.

TABELA 8 Identificação da presença (+) ou ausência (-) dos componentes especificados nos rótulos para os diferentes fermentos comerciais e para as pré-misturas de bolo.

		FM ¹	SSA ²	CC ³	PAS ⁴	BS ⁵
Fermento	1	+	-	+	-	+
	2	+	-	-	+	+
	3	+	-	-	+	+
Pré - Mistura	Marca 1	+	-	-	+	+
	Marca 2	+	-	-	+	+
	Marca 3	+	+	-	-	+

¹FM: Fosfato Monocálcio; ²SSA: Sulfato de sódio e Alumínio; ³CC: carbonato de cálcio; ⁴PAS: Pirofosfato ácido de sódio; ⁵BS: bicarbonato de sódio.

De acordo com os resultados da Tabela 8, verifica-se que o componente fosfato monocálcio (FM) aparece em todas as formulações dos fermentos químicos e das pré-misturas, evidenciando sua importância na qualidade do produto final.

Segundo El-Dash & Camargo (1982); Pirozi (2004) e Vitri et al. (1988), no início do processo de mistura com a massa, o fosfato monocálcio anidro

reage muito vagarosamente com o bicarbonato de sódio, mas, à medida que a água penetra no envoltório das suas partículas, a velocidade aumenta. As massas contendo este componente crescem pouco durante a manipulação, porque pouco gás carbônico é liberado, mas crescem rapidamente no início do período de assamento. Os sais residuais de reação com o bicarbonato de sódio não são desagradáveis em sabor. Além disso, apresenta alta estabilidade quando armazenado por longos períodos. Por essas razões é que o fosfato monocálcio é largamente utilizado em fermentos comercial e em pré-misturas para bolos.

A presença de pirofosfato ácido de sódio (PAS) não foi relatada nos rótulos do fermento 1 e na pré-mistura Marca 3. De acordo com Vitri et al. (1988), o pirofosfato ácido de sódio é um ácido de ação lenta e comumente usado no preparo de fermento químico em pó e nas pré-misturas para bolo. É parcialmente solúvel em água fria e a maior parte de sua ação ocorre na fase de assamento. Excesso de pirofosfato pode dar origem a sabor ácido ao produto, além de um sabor característico.

Já o bicarbonato de sódio (BS) apareceu em todos os fermentos e pré-misturas. Este componente é de fundamental importância para o bom funcionamento do fermento químico por ser o responsável pela reação com o ácido que resulta no desprendimento de gás (dióxido de carbono). Segundo Vitri et al. (1988), o bicarbonato de sódio deve sempre estar acompanhado por algum ácido, porque quando utilizado sozinho produz o resíduo carbonato de cálcio que permanece no bolo. Este resíduo, quando presente em excesso, combina-se com a gordura presente na receita, com formação de sabão, o qual causa sabor desagradável e coloração escura do bolo.

O carbonato de cálcio, apesar do custo baixo, não é relatado sua presença nos rótulos das pré-misturas de bolo, estando presente apenas no fermento 1. Isto se deve à sua taxa de reação com o bicarbonato de sódio ser muito rápida o que prejudica sua atuação nas pré-misturas. Portanto, este

componente é indicado apenas para o preparo do bolo tradicional, em que se adiciona o fermento apenas no final do processo de mistura, evitando perdas prematuras de dióxido de carbono.

No caso do sulfato de alumínio e sódio (SSA) ele não consta no rótulo de nenhum dos fermentos comerciais, a não ser na pré-mistura Marca 3. O SSA é um ácido de ação muito lenta e por isso normalmente se usa combinado com outro tipo de ácido, como o fosfato monocálcio, tornando-se um fermento de dupla ação (Griswold, 1982; Pirozi, 2004).

4.1.1 Acidez titulável

A Tabela 9 apresenta os valores da acidez (%) para os fermentos comerciais. Nota-se que o fermento 2 apresenta o maior valor para acidez, quando comparado aos demais, evidenciando que esta marca utiliza grandes quantidades de ácidos na elaboração do fermento.

Já o fermento 1 apresentou um valor de acidez intermediário evidenciando menor concentração de ácidos presentes na amostra.

Para o fermento 3, a acidez revelou um valor muito reduzido, apesar de seus componentes serem iguais aos do fermento 2. Este fato se explica pela menor concentração de ácidos no fermento 3 (Tabela 10).

TABELA 9 Valor médio de acidez e respectivo desvio padrão dos fermentos comerciais.

Fermento	Acidez	Desvio Padrão
1	11,97% V/m	0,681
2	18,43% V/m	0,586
3	9,90% V/m	0,432

4.1.2 Minerais

A Tabela 10 apresenta os minerais quantificados para as três marcas de fermento. Verifica-se que o fermento 2 indicou um valor maior em peso dos ácidos, seguido pelos fermentos 1 e 3. Isto justifica os valores mais elevados da acidez para o fermento 2 (Tabela 9). Observa-se que as marcas comerciais, apesar de empregarem os mesmos componentes, utilizam quantidades diferentes, como os fermentos 2 e 3. Isso sugere a existência de uma ampla faixa de variabilidade entre as formulações. Além, é claro, da utilização de outro componente como, por exemplo, o carbonato de cálcio para o fermento 1.

TABELA 10 Valores percentuais dos minerais fósforo, sódio e cálcio presentes nos fermentos comerciais.

Minerais	Fermentos		
	1 (%) ¹	2 (%) ¹	3 (%) ¹
Fósforo ²	31,75	35,29	31,50
Sódio ³	-	21,20	20,90
Cálcio ⁴	21,45	-	-

¹% expressa em g do componente por 100 g da mistura em base livre de amido.

²Mineral presente na forma do íon ácido fosfato monocálcio.

³Mineral presente na forma do íon pirofosfato ácido de sódio.

⁴Mineral presente na forma do íon carbonato de cálcio.

4.1.3 Acido cítrico, tartárico e cremor de tártaro

Para essas determinações os resultados foram todos negativos, ou seja, não foi encontrado nenhum componente do tipo nos fermentos comerciais analisados.

4.1.4 Dióxido de carbono total

A Tabela 11 apresenta a quantificação do desprendimento de dióxido de carbono (CO₂) das amostras. Verifica-se que o fermento 1 revela o maior valor para o desprendimento de dióxido de carbono, seguido pelos fermentos 2 e 3. Comparando-se com os valores encontrados para acidez, esperava-se que o fermento 2 desprenderia maior quantidade de gás, por ser o fermento com maior quantidade de ácido. Uma possível explicação seja o balanço entre os componentes no fermento 1, o que provocou maior rendimento na liberação de gás.

Outro ponto a ressaltar seria a atuação destes fermentos no crescimento dos bolos. É de se esperar que o fermento que produz maior quantidade de dióxido de carbono, no caso, o fermento 1, produza bolos com elevado volume. Na prática, porém, isto não acontece, porque o importante não é a quantidade de gás liberada e sim o momento em que essa liberação ocorre. O ideal é que a maior parte de dióxido de carbono seja liberado no processo de assamento, o que possibilitaria maior crescimento do produto.

TABELA 11 Valores médios da porcentagem de gás carbônico (CO₂) desprendido e respectivo desvio padrão dos fermentos comerciais.

Fermento	mL médio CO ₂ desprendido	Desvio Padrão	CO ₂ Total (%) ¹
1	21,30 mL	2,08	19,16%
2	17,25 mL	2,22	15,52%
3	11,70 mL	2,52	10,52%

¹% de gás carbônico liberado para 2 g da amostra.

4.1.5 Amido

A Tabela 12 apresenta a quantificação do amido de milho para os fermentos comerciais.

TABELA 12 Porcentagem (%) do amido de milho presente nos fermentos comerciais.

	Fermentos		
	1	2	3
Amido (%)	30	37	40

De acordo com o resultado, a porcentagem de amido nas amostras de fermento foi, em torno, de 30% a 40%. O amido não contribui em nada para a reação do fermento, pois sua função é evitar que o bicarbonato de sódio reaja com a fonte ácida durante a vida de prateleira do fermento, evitando assim, a perda de eficiência deste.

4.2 Etapa 2 - Seleção da formulação do fermento químico empregando-se modelagem de mistura.

Nesta etapa foram selecionados os componentes bicarbonato de sódio, fosfato monocálcio (FM), pirofosfato ácido de sódio (PAS), sulfato de alumínio e sódio (SSA) e ácido tartárico para compor a formulação.

Esta seleção teve como critério os resultados apresentados nas análises físico-químicas realizadas, pela presença destes ácidos nas pré-misturas comerciais conforme resultados da Tabela 8 e pela revisão da literatura.

A Tabela 5 mostra os níveis proporcionais das variáveis utilizadas no planejamento simplex-centróide, empregando-se a regra da mistura, em que X_1

representa a proporção do componente ácido tartárico; X_2 a proporção do componente pirofosfato ácido de sódio; X_3 a proporção do componente fosfato monocalcário; X_4 a proporção do componente sulfato de alumínio e sódio.

4.2.1 Densidade específica da massa crua

Através da análise de variância do modelo quadrático para a variável densidade específica da massa, verifica-se que a regressão não é significativa na descrição dos resultados experimentais, indicando que o modelo não é adequado, conforme estabelecido na Tabela 5A, do Anexo A.

Os resultados da variável densidade específica variaram de 1,085g/mL (tratamento 01) a 1,126 g/mL (tratamento 12), conforme apresentado na Tabela 1B, do Anexo B, e são semelhantes aos encontrados por Borges et al. (2006) que, estudando a utilização de farinha mista de aveia e trigo na elaboração de bolos, encontraram valores para a densidade da massa crua de 1,04 g/mL a 1,10 g/mL.

Portanto, os gases liberados pela ação do fermento durante o processo de mistura não influenciaram, do ponto de vista estatístico, a densidade específica da massa crua.

4.2.2 Umidade do bolo

Para a variável umidade também não houve diferença estatística, ao nível de 5%, para o modelo quadrático (Tabela 5B, do Anexo B). Para os resultados encontrados, os valores médios variaram de 27,15% (tratamento 03) a 30,91% em base seca (tratamento 12), conforme mostrado na Tabela 1B, do Anexo B. Isso significa que as diversas formulações de fermento não interferiram na variável resposta em estudo.

De acordo com Moscatto et al. (2004), maiores teores de umidade são obtidos quando se utiliza um maior conteúdo de líquido (leite, água e ovos).

Segundo o autor, estudando a farinha de yacon e inulina como ingrediente na formulação de bolo de chocolate, o maior teor de umidade foi dado pelo bolo obtido da formulação padrão que apresentava o maior conteúdo em água (180 ml – 43,57% umidade), seguida das formulações A (158 ml – 38,91% umidade) e B (137 ml – 38,57% umidade).

4.2.3 Volume e densidade específica do bolo

A Tabela 13 apresenta os valores dos coeficientes da equação linear (diferença de cor do miolo) e quadrático (volume, altura, pH e densidade específica do bolo) dos resultados experimentais para o planejamento simplex-centróide da regra da mistura, relacionados ao modelo que obteve o melhor ajuste. Para os quais verificou-se que a regressão se mostra significativa na descrição dos resultados experimentais. Todos os termos dos coeficientes dos modelos para cada variável são significativos. A análise de variância para essas variáveis estão nas Tabelas 2B e 3B, do Anexo B.

TABELA 13 Resultados dos modelos ajustados para as variáveis respostas volume (mL), altura (cm), diferença cor miolo, pH e densidade específica do bolo (g/mL) com seus respectivos erros padrão.

	Volume	Altura	Cor	pH	Densidade específica bolo
Modelo	Quadrático	Quadrático	Linear	Quadrático	Quadrático
R²	0,75	0,72	0,72	0,95	0,77
β_1	503,81 ± 23,62	3,66 ± 0,14	29,10 ± 1,06	6,47 ± 0,12	0,57 ± 0,01
β_2	752,90 ± 26,00	4,67 ± 0,15	42,49 ± 1,06	9,76 ± 0,11	0,41 ± 0,02
β_3	865,30 ± 23,62	5,56 ± 0,12	29,89 ± 1,06	7,97 ± 0,12	0,36 ± 0,01
β_4	819,91 ± 26,00	5,20 ± 0,14	39,64 ± 1,06	8,99 ± 0,11	0,38 ± 0,01
β_{12}	404,02 ± 122,26	2,31 ± 0,71	-	4,18 ± 0,54	-0,28 ± 0,07
β_{13}	-	-	-	1,82 ± 0,54	-
β_{14}	-	-	-	3,29 ± 0,54	-
β_{23}	-	-	-	3,36 ± 0,54	-
β_{24}	350,99 ± 122,39	1,463 ± 0,71	-	-	0,18 ± 0,07
β_{34}	269,13 ± 122,26	-	-	2,57 ± 0,54	-

O volume e a densidade específica do bolo mostram claramente a relação entre o teor de sólidos e a fração de ar existente na massa assada. Massas com densidade alta ou volume baixo (embatumadas) apresentam aspecto desagradável ao consumidor, associado com baixo teor de umidade, falhas no batimento e cocção, pouca aeração, difícil mastigação, sabor impróprio e baixa conservação. Por isso os bolos necessitam de quantidade adequada de líquidos, fermento químico, emulsificantes e aeração adequada. Granulometria mais “aberta” é característica de massas com grande volume (maior fração ar sólidos)

e menor densidade. Os bolos, pelo seu alto teor de líquidos, apresentam-se como produtos macios e aerados (Esteller et al., 2005).

O volume do bolo resulta do uso de clara e suas proteínas, importantes na produção de produtos com baixa densidade e elevada expansibilidade, em virtude da capacidade de incorporar ar e formar espumas (Sgarbieri, 1996).

Foegeding et al. (2006) constataram que, com a elevação da temperatura no forneamento, a desnaturação protéica e a gelatinização do amido determinam o volume do bolo, firmeza ou colapso de sua estrutura.

Nos testes realizados com pré-misturas adquiridas no mercado os valores encontrados para densidade específica do bolo variavam de 0,316 g/mL a 0,389 g/mL; para o volume os valores variavam de 800 mL a 1000 mL.

Nesta etapa os valores médios encontrados para a variável volume foi de 510 mL (tratamento 1) a 850 mL (tratamento 4). Já para a densidade específica do bolo, os valores médios variaram de 0,365 g/mL para o tratamento 4 a 0,584 g/mL para o tratamento 1, conforme Tabela 1B, do Anexo B.

Pela análise do modelo, Tabela 13, a maior influência na resposta é exercida pelo componente fosfato monocalcário (X_3) seguido pelo componente sulfato de alumínio e sódio (X_4), ou seja, eles atuam de forma positiva no aumento do volume do produto e o resultado é uma estrutura do miolo bem homogênea. O componente ácido tartárico (X_1) proporcionou um bolo com volume reduzido, ou seja, mais denso e pesado. Dentre as interações a mais significativa para o aumento do volume está entre o ácido tartárico e o pirofosfato ácido de sódio (X_1X_2), indicando que eles apresentam efeitos sinérgicos na mistura, quer dizer, os componentes 1 e 2 da mistura produzem um maior volume do que seria esperado se fossem utilizados somente os componentes puros.

Verifica-se na Tabela 13 que a densidade específica do bolo tem efeito inverso ao volume, ou seja, o componente ácido tartárico (X_1) atua elevando a

densidade do produto, ao passo que este mesmo componente atua reduzindo o volume do bolo. Portanto, volume elevado resulta em bolos com densidade específica reduzida.

Para Clarke et al. (2003), o aumento do volume em bolos está diretamente relacionado com a quantidade de gases produzidos e a capacidade de retenção deles pela massa até o final do assamento.

4.2.4 Altura

O desenvolvimento simétrico e a qualidade de contorno de massa durante o forneamento constituem características importantes no processamento de produtos de panificação. Para bolos, uma simetria ideal significa crescimento uniforme da massa e manutenção estrutural durante a cocção. A forma ou simetria de produtos de panificação deve ser uniforme e bem definida, caso contrário indica manuseio e processamento inadequados.

Para a variável altura, quanto mais elevado estiver seu valor melhor será, desde que se mantenham intactas as características de homogeneidade do miolo. Resultados dos bolos elaborados com pré-misturas do mercado apresentam valores para a altura entre 5,6 cm a 6,6 cm.

Nesta etapa a maior altura foi observada para o tratamento 4 (5,52 cm), em que se utilizou somente o componente fosfato monocálcio. Já para tratamento 1, à formulação a base de ácido tartárico puro apresentou valor reduzido de 3,49 cm (Tabela 1B, do Anexo B), quando comparado com os demais tratamentos.

Na análise do modelo (Tabela 13) para a altura do produto verifica-se um aumento com elevação da proporção do fosfato monocálcio (X_3), seguido pelo sulfato de alumínio e sódio (X_4). O aumento da proporção do ácido tartárico (X_1) exerceu o menor efeito sobre a altura do bolo. Os resultados para altura concordam com os valores encontrados para o volume, ou seja, quanto maior o

volume do bolo, maior será sua altura ou vice-versa. Dentre as interações a mais significativa para o aumento da altura está entre o ácido tartárico e o pirofosfato ácido de sódio (X_1X_2) resultando uma maior altura do que seria esperado se fosse feita somente a média das alturas dos componentes puros.

4.2.5 Diferença de cor do miolo

Os bolos foram assados em forno com resistência elétrica “exposta”, o que permite melhor acabamento de superfície e abertura da crosta, características para este tipo de bolo. No centro do miolo a temperatura atinge cerca de 98°C. A presença de açúcares e ovos na formulação assim como o calor acelera reações de caramelização e Maillard que provocam escurecimento progressivo da crosta e miolo, o que pode ser desejável ou não (Giese, 2003).

Para a variável diferença de cor do miolo (ΔE) as características desejáveis seriam um miolo de coloração clara, pois os bolos são à base de farinha de trigo sem qualquer adição de corantes ou outra substância que possa vir a interferir na cor. Bolos escuros não são aceitos por boa parte dos consumidores.

De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que os fermentos com maior proporção de pirofosfato ácido de sódio (X_2) foram os que apresentaram maiores valores médios para a diferença de cor do miolo, como nos tratamentos 11, 2 e 10 com valores de ΔE equivalentes a 41,08; 40,51 e 40,43 respectivamente (Tabela 1B, do Anexo B). Resultados contrários foram obtidos pelo tratamento 5 ($\Delta E=27,64$), tratamento 1 ($\Delta E=27,95$) e tratamento 4 ($\Delta E=28,61$) com formulações de fermento com elevadas proporções de fosfato monocálcio (X_3).

De acordo com Griswold (1982), os resíduos da ação do pirofosfato ácido de sódio combinam-se com os pigmentos da farinha e com a gordura hidrogenada vegetal, originando bolos com colorações escuras. Entretanto, nos

bolos de chocolate este efeito não é prejudicial, pois eles já apresentam uma coloração escura.

Portanto, o pirofosfato ácido de sódio deve ser utilizado em quantidades reduzidas, já que atua de forma positiva para as outras variáveis respondidas.

Pela análise do modelo (Tabela 13), verifica-se que a diferença de cor do miolo aumentou com a proporção de pirofosfato ácido de sódio (X_2) e que as elevações nas proporções de ácido tartárico (X_1) e de fosfato monocalcico (X_3) exerceram os menores efeitos no aumento da diferença de cor do miolo.

4.2.6 pH

Nos produtos aerados quimicamente, o pH é de grande importância na determinação da cor. Os sais residuais da reação do fermento químico podem combinar-se com os ingredientes do bolo, causando cor amarelada e sabor alcalino. Bolos com pH baixo ou elevado apresentam um maior grau de rejeição por parte dos consumidores; pH neutro a levemente alcalino seria o ótimo. Testes realizados com pré-misturas do mercado revelaram valores entre 7,30 a 7,85.

Resultados semelhantes foram encontrados por Moscatto et al. (2004), em que os valores para o pH variaram de 7,18 a 7,76.

Observando-se os resultados obtidos, a faixa de pH variou de 7,5 para o tratamento 5 a 9,87 para o tratamento 2 (Tabela 1B, do Anexo B). Esses resultados podem ser explicados pelo excesso de bicarbonato presente nas formulações. Como as formulações possuíam o mesmo peso 15g de fermento para todos os tratamentos, não foi possível respeitar os valores de neutralização para cada ácido utilizado, ou seja, alguns ácidos são neutralizados com quantidades diferentes de bicarbonato.

Analisando o modelo quadrático (Tabela 13), percebe-se que o aumento da proporção de pirofosfato ácido de sódio (X_2) contribui para aumentar a

variável pH. Dentre os ácidos estudados, a proporção do ácido tartárico (X_1) é a que menos contribui para o aumento do pH. Dentre as interações, a mais significativa para o aumento do pH está entre o ácido tartárico e o pirofosfato ácido de sódio (X_1X_2).

4.2.7 Textura (TPA)

4.2.7.1 Coesividade

Nos tratamentos analisados, as variações nas formulações de fermento não alteraram de forma significativa, ao nível de 5%, a variável coesividade. Os valores para esta variável foram de 0,451 para o tratamento 14 que contém os ácidos pirofosfato ácido de sódio, fosfato monocálcio e sulfato de alumínio e sódio a 0,559 para o tratamento 3 que contém o ácido tartárico e o pirofosfato ácido de sódio (Tabela 1B, do Anexo B).

Resultados semelhantes para coesividade foram encontrados por Esteller et al. (2006), em que a formulação controle apresentou valor de 0,620 e de 0,560 – 0,630 nas formulações com kefir e pó de cupuaçu.

Já Moscatto et al. (2004) obtiveram valores para a coesividade que oscilaram de 0,656 para uma formulação contendo farinha trigo substituída em 40% por farinha de yacon e em 6% por inulina a 0,718 para a formulação padrão à base de farinha de trigo.

4.2.7.2 Adesividade

Nos tratamentos analisados, as variações nas formulações de fermento não alteraram de forma significativa, ao nível de 5%, a variável adesividade. Os valores médios para a adesividade variaram de -0,0074 N.s para o tratamento 3 que contém em sua formulação o ácido tartárico e o pirofosfato ácido de sódio a 0,0001 N.s para o tratamento 4 que contém o ácido fosfato monocálcio (Tabela 1B, do Anexo B).

Realizando testes em bolos preparados com pré-misturas do mercado seus valores médios para adesividade variaram de $-0,163$ N.s a $0,013$ N.s.

Esteller et al. (2006) encontraram valores para adesividade oscilando de $0,001$ N.s a $0,004$ N.s. Segundo o autor, esses resultados podem ser considerados baixos, levando-se em consideração a grande porcentagem de açúcares nas formulações, o que poderia tornar a massa bastante pegajosa.

4.2.7.3 Elasticidade

Uma avaliação subjetiva da elasticidade, o chamado *squeeze test*, é normalmente feita pelo consumidor no ponto de venda e consiste em apertar ligeiramente com os dedos a massa assada, para verificar quão facilmente esta retorna ao formato original. Quanto mais rápido esse processo maior será seu valor para a elasticidade.

Nos tratamentos analisados, as variações nas formulações de fermento não alteraram de forma significativa, ao nível de 5%, os modelos para a variável elasticidade. Portanto, os valores médios encontrados oscilaram de $0,939$ m para o tratamento 1 (a base de ácido tartárico) a $1,371$ m para o tratamento 2 (à base pirofosfato ácido de sódio).

De acordo com Esteller et al. (2004a), produtos envelhecidos, com maior tempo de estocagem perdem sua elasticidade. Segundo seus resultados, a formulação controle apresentou valor de $0,740$ m e de $0,670$ m a $0,760$ m nas formulações com kefir e pó de cupuaçu.

4.2.7.4 Mastigabilidade

Na Tabela 14 consta os resultados experimentais para o planejamento da regra da mistura para os parâmetros de textura firmeza, gomosidade e mastigabilidade ajustados ao modelo quadrático (firmeza) e cúbico (gomosidade

e mastigabilidade). A análise de variância para essas variáveis estão nas Tabelas 3B e 4B, do Anexo B.

TABELA 14 Resultados dos modelos ajustados para os parâmetros de textura (TPA) firmeza (N), gomosidade (N) e mastigabilidade (N.m).

	Firmeza (N)	Gomosidade (N)	Mastigabilidade (N.m)
Modelo	Quadrático	Cúbico	Cúbico
R^2	0,63	0,88	0,83
β_1	713,44 ± 43,03	411,67 ± 14,17	379,61 ± 20,88
β_2	535,09 ± 38,64	283,31 ± 13,24	403,23 ± 19,03
β_3	295,33 ± 43,03	171,43 ± 14,39	222,48 ± 19,07
β_4	385,76 ± 38,64	207,93 ± 13,24	245,28 ± 17,74
β_{12}	-	-	-203,52 ± 89,55
β_{13}	505,88 ± 223,53	511,64 ± 80,51	558,35 ± 94,85
β_{14}	-	-	440,17 ± 94,92
β_{23}	-	-	-367,45 ± 93,77
β_{123}	-	2749,52 ± 493,07	-
β_{134}	-	3298,25 ± 493,07	-4032,09 ± 636,61
β_{234}	-	1759,66 ± 472,00	1630,91 ± 601,89

As melhores formulações para a mastigabilidade foram os tratamentos 4 – 2,166 N.m (base fosfato monocálcio) e 6 – 2,288 N.m (pirofosfato ácido de sódio e fosfato monocálcio). Já o tratamento 5 (ácido tartárico e fosfato

monocálcio) apresentou um valor de 4,434 N.m muito elevado para o produto em questão (Tabela 1B, do Anexo B).

De acordo com resultados de Esteller et al. (2006), as massas com adição de cupuaçu e kefir não tiveram a mastigabilidade alterada (1,59 N.m – 2,19 N.m), ficando muito próximos do controle (1,80 N.m).

Analisando-se o modelo (Tabela 14), verifica-se a afirmação acima, ou seja, valores reduzidos da mastigabilidade para as formulações com elevadas proporções de fosfato monocálcio (X_3) e sulfato de alumínio e sódio (X_4). E valores elevados para as formulações com proporções elevadas de ácido tartárico (X_1) e pirofosfato ácido de sódio (X_2). Dentre as interações a mais significativa para a redução da mastigabilidade foi à presença dos componentes ácido tartárico, fosfato monocálcio e sulfato de alumínio e sódio ($X_1 X_3 X_4$).

4.2.7.5 Firmeza

No caso da variável firmeza é desejável que o produto apresente uma textura macia agradável ao paladar. Realizando testes com as pré-mituras do mercado, os valores para a firmeza variavam entre 2,330 N a 2,438 N.

Nos tratamentos analisados os valores para firmeza oscilaram de 3,371 N para o tratamento 4 a 7,151 N para o tratamento 1 (Tabela 1B, do Anexo B). A formulação do tratamento 1 contendo o ácido tartárico puro (X_1) apresentou valores superiores para a firmeza. Este fato deve-se à taxa de reação deste ácido ser muito rápida, o que ocasiona a liberação de dióxido de carbono durante a etapa da mistura da massa e no início do processo de assamento, quando a estrutura do bolo ainda não é capaz de aprisionar o CO_2 desprendido. O resultado é um produto com característica do miolo densa, provocando alterações na maciez. Este fato pode ser correlacionado com os valores encontrados para o volume, ou seja, bolo com baixo volume resulta em um produto com firmeza elevada. Já o contrário ocorreu para a formulação do

tratamento 4 à base de fosfato monocalcício (X_3) que possui uma taxa de reação menos veloz do que o ácido tartárico e deixa o produto com uma boa maciez ou menor dureza. A maciez do bolo é um parâmetro importante para a aceitação por parte dos consumidores, que preferem um bolo macio.

Moscatto et al. (2004), estudando a farinha de yacon e inulina como ingrediente na formulação de bolo de chocolate, encontraram valores para firmeza que variaram de 3,638 N a 5,467 N.

Zambrano et al. (2005), estudando o efeito da goma guar e xantana em bolos, como substitutos de gordura, realizaram análise de textura e os valores obtidos para o parâmetro firmeza variaram de 9,63 N a 15,899 N.

4.2.7.6 Gomosidade

São poucas as referências para avaliação do parâmetro gomosidade. Sabe-se que este parâmetro é o resultado da multiplicação da firmeza x coesividade.

Analisando-se bolos elaborados com pré-misturas disponíveis no comércio, os valores para a gomosidade oscilaram entre 1,604 N a 2,674 N.

Observando-se os resultados obtidos, verifica-se que a gomosidade para os bolos variaram de 1,795 N para o tratamento 4 (fosfato monocalcício) a 3,964 N para o tratamento 1 (ácido tartárico). Comparando-se este resultado com os valores encontrados para os bolos comerciais, verifica-se que o fermento com elevada proporção de ácido tartárico, como no tratamento 1, possui um valor extremamente elevado e fora da faixa de gomosidade encontrada para os bolos comerciais. Já o aumento da proporção do fosfato monocalcício (X_3) eleva a gomosidade do bolo e o tratamento 4 ($X_3=1$) apresentou resultado dentro da faixa estabelecida pelos bolos do mercado. Mais uma vez o ácido tartárico não atuou de forma positiva na variável resposta em estudo.

4.3 Curvas de nível obtidas com a exclusão do ácido tartárico

Os resultados negativos causados pelo ácido tartárico sugerem que sua ação é extremamente rápida, ou seja, sua reação com o bicarbonato de sódio começa a ocorrer na etapa de mistura da massa e no início do processo forneamento, levando à perda de gases que seriam fundamentais para o crescimento da massa. Portanto, optou-se por excluir o componente 1, ácido tartárico, da etapa 2 de seleção da formulação do fermento, devido aos resultados negativos apresentados para as variáveis respostas: volume, altura, firmeza, gomosidade e mastigabilidade.

Ajustaram-se novamente os modelos, excluindo-se o componente 1 (ácido tartárico). A Tabela 15 apresenta os resultados experimentais para o planejamento simplex-centróide da regra da mistura para as variáveis: densidade específica do bolo, altura, diferença de cor do miolo, pH e firmeza relacionados ao modelo que obteve o melhor ajuste, que mostraram significativas. A análise de variância para essas variáveis estão apresentadas nas Tabela 6B e 7B, do Anexo B.

TABELA 15 Resultados dos modelos ajustados com exclusão do ácido tartárico (componente 1) para as variáveis respostas firmeza (N), altura (cm), diferença de cor miolo, pH e densidade específica do bolo (g/mL).

	Firmeza	Altura	Cor	pH	Densidade específica bolo
Modelo	Linear	Linear	Linear	Quadrático	Quadrático
R²	0,71	0,49	0,68	0,92	0,68
β_2	568,02 ± 25,52	4,58 ± 0,14	41,19 ± 1,15	9,81 ± 0,09	0,41 ± 0,009
β_3	311,72 ± 25,52	5,46 ± 0,14	30,61 ± 1,15	8,01 ± 0,11	0,36 ± 0,01
β_4	391,44 ± 25,52	5,06 ± 0,14	38,75 ± 1,15	9,01 ± 0,09	0,37 ± 0,01
β_{23}	-	-	-	2,80 ± 0,49	-
β_{24}	-	-	-	-	0,13 ± 0,05
β_{34}	-	-	-	2,25 ± 0,49	0,18 ± 0,05

Nas Figuras 6, 7, 8, 9 e 10 são apresentados os gráficos das curvas de nível dos modelos ajustados de acordo com a Tabela 15, para as variáveis respostas analisadas.

4.3.1 Densidade específica do bolo

Na Figura 6 observa-se que os vértices do triângulo correspondem aos componentes puros; os lados correspondem à mistura de dois componentes e o interior, à mistura de três componentes. Neste gráfico, observa-se também que as regiões próximas ao vértice correspondente ao fosfato monocálcio ($X_3=1$) apresentam valores de densidades reduzidas, o que é interessante no caso de bolos. Já à medida que se aproxima do vértice do componente pirofosfato ácido de sódio ($X_2=1$) verifica-se aumento gradativo da densidade. Para o componente

sulfato de alumínio e sódio (X_4) seu vértice corresponde a valores intermediários para a variável densidade. Assim, a área ótima de trabalho para esta variável visualiza-se do lado direito do triângulo.

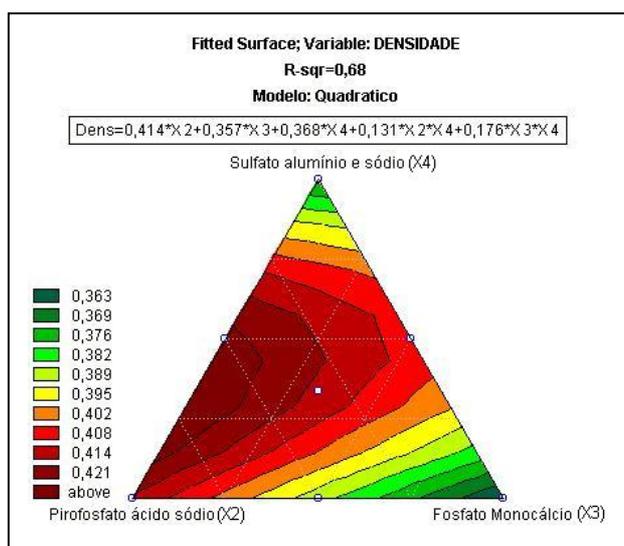


FIGURA 6 Curvas de nível para a variável densidade específica do bolo.

4.3.2 Altura

De acordo com a Figura 7 observa-se que, quando se caminha para o vértice do componente fosfato monocálcio ($X_3=1$), verificam-se os maiores valores para a altura, o que é desejável, pois o produto apresenta um bom volume. Quando se aproxima do componente pirofosfato ácido de sódio ($X_2=1$), ocorre uma diminuição dos valores de altura, mas quando utilizado em pequenas proporções com fosfato monocálcio os resultados são melhores. Para o componente ($X_4=1$) puro o gráfico mostra resultados positivos. Quando, porém,

misturado ao componente (X_2), o valor da altura diminui bastante, e quando combinado com o componente (X_3) atingem-se valores de alturas intermediárias. Deste modo, a região correspondente ao vértice do componente (X_3) apresenta os níveis desejáveis para a variável.

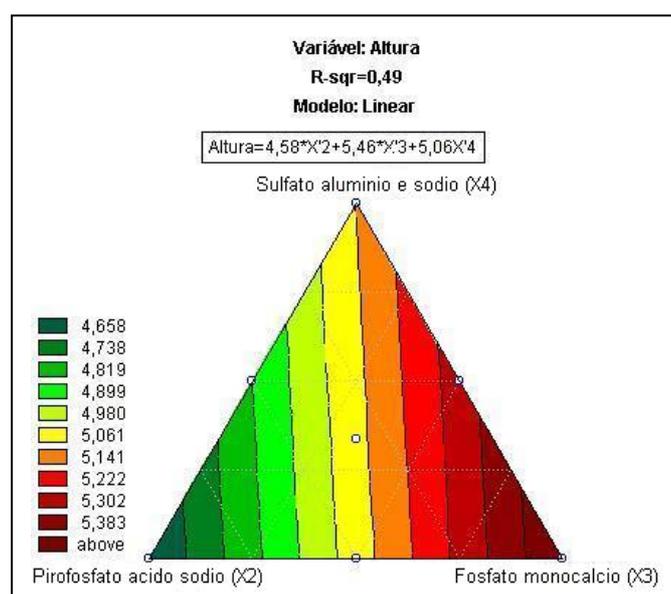


FIGURA 7 Curvas de nível para a variável altura.

4.3.3 Firmeza

De acordo com a Figura 8, os componentes 3 e 4 atuam de forma positiva tanto puros quanto combinados, ou seja, os valores de firmeza encontrados são baixos, evidenciando a maciez do produto que é uma característica extremamente importante para a qualidade do produto final. Já para proporções elevadas do componente 2 localizado no vértice esquerdo do

triângulo, os valores encontrados foram muito elevados, ou seja, o produto apresentou alta consistência. Mas, quando combinado com o componente 3 em maiores proporções, os resultados para a firmeza são satisfatórios.

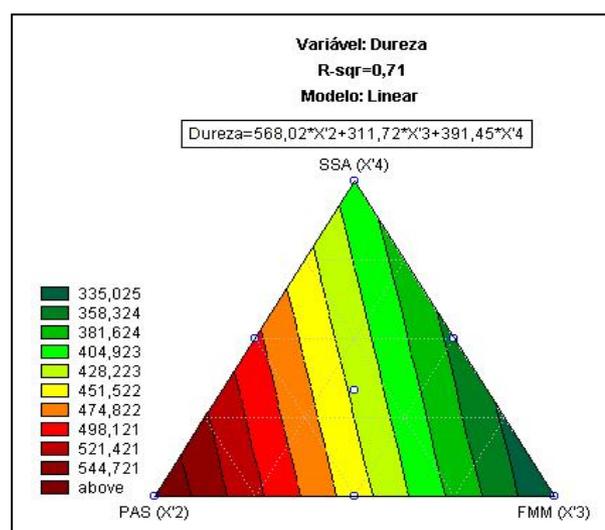


FIGURA 8 Curvas de nível para a variável firmeza.

4.3.4 Diferença de cor do miolo

De acordo com a Figura 9, a diferença de cor do miolo aumentou com a proporção de pirofosfato ácido de sódio (X_2), lado esquerdo do triângulo; e quanto maior a proporção do componente fosfato monocálcio (X_3), menor foi o índice para a diferença de cor do miolo. Produtos resultantes desta região são de coloração bem clara, o que é extremamente desejável, já que o produto foi elaborado a base de trigo sem adição de nenhum tipo de corante.

Na região de elevada proporção do componente sulfato de alumínio e sódio (X_4), próximo ao vértice superior do triângulo, houve valores para a diferença de cor mais para escuro do que para claro. Portanto, apenas para altas proporções de fosfato monocalcário resultaram produtos com coloração clara.

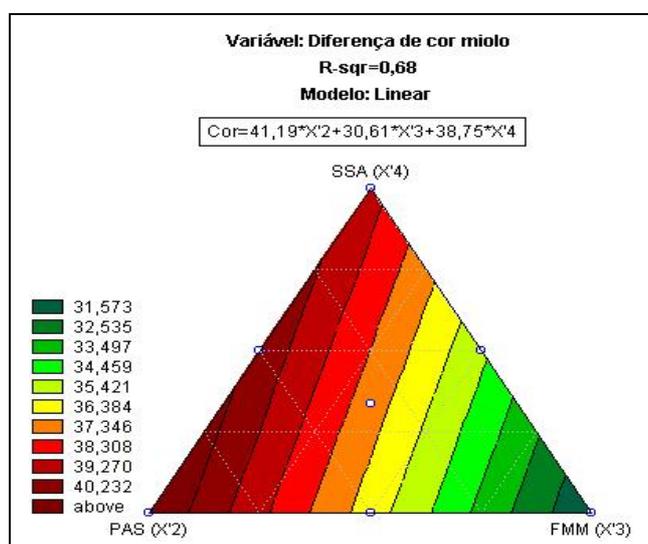


FIGURA 9 Curvas de nível para a variável diferença de cor miolo.

4.3.5 pH

Conforme demonstrado na Figura 10, a região onde os valores de pH estão próximos à neutralidade localiza-se no vértice direito do triângulo correspondente a elevadas proporções do componente 3. Para as outras regiões os valores para o pH estão na faixa alcalina.

As análises dos bolos elaborados com pré-misturas do comércio indicam que a faixa ótima para os valores de pH encontra-se na faixa da neutralidade.

Portanto, deve-se utilizar uma maior quantidade do componente fosfato monocálcio, já que ele apresenta os valores desejáveis para o pH.

Deste modo, a região próxima ao vértice do componente 3 mostra os níveis desejáveis para todas as variáveis comentadas acima, e portanto, serão utilizadas na próxima etapa de otimização da formulação.

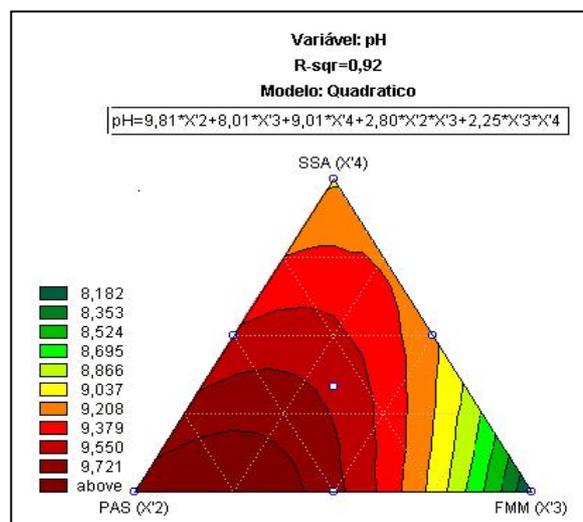


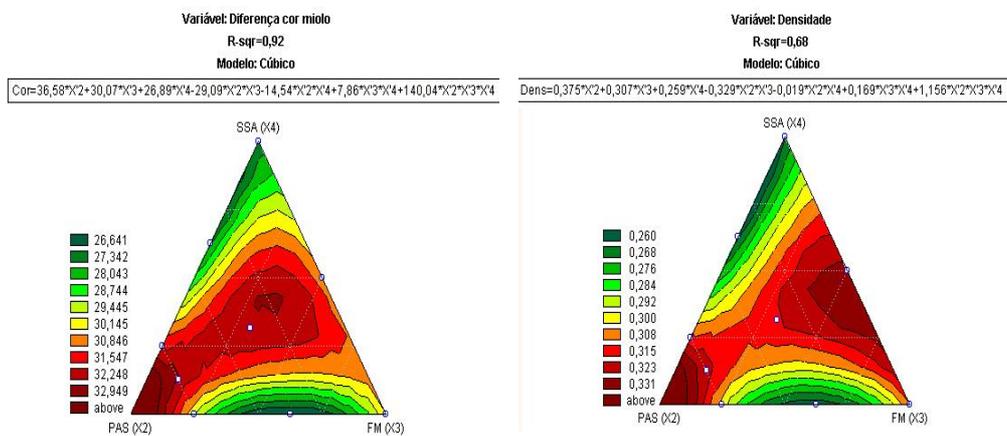
FIGURA 10 Curvas de nível para a variável pH.

Anexo B. Pela análise estatística não houve diferença significativa, ao nível de 5%, para os tratamentos. Portanto, esta análise serviu apenas para indicar que os bolos poderiam apresentar degradação microbiológica, já que alimentos com atividade de água acima de 0,6 favorecem o desenvolvimento microbiano.

Moscatto et al. (2004), estudando o efeito farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate, encontraram valores para A_w que variaram de 0,946 a 0,965. Já em pesquisas de Zambrano et al. (2005), os valores para A_w oscilaram de 0,856 a 0,870.

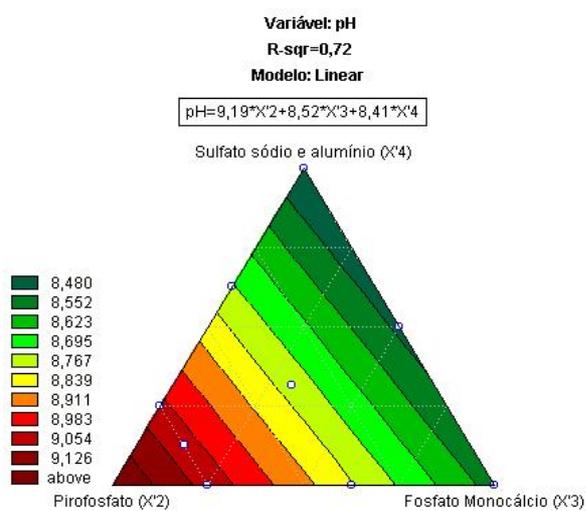
Somente para as variáveis densidade específica do bolo, diferença de cor do miolo e pH da massa houve diferença estatística para os modelos, ao nível de 5% (Tabela 9B, do Anexo B), conforme estabelecido nas Figuras 12 (a) (b) e (c).

A Figura 12 (a) representa o ajuste cúbico para o parâmetro diferença de cor do miolo, (b) ajuste cúbico para o parâmetro densidade e (c) linear para o parâmetro pH.



(a)

(b)



(c)

FIGURA 12 (a) representa o ajuste cúbico para o parâmetro diferença de cor do miolo, (b) ajuste cúbico para o parâmetro densidade e (c) linear para o parâmetro pH.

De acordo com os modelos obtidos verifica-se que para as variáveis respostas diferença de cor miolo e densidade específica do bolo há regiões nos gráficos, com valores semelhantes aos dos bolos elaborados com pré-misturas do comércio. As regiões ótimas correspondem às formulações 3(V), 6C(1) e 8C(1).

As Figuras 13, 14, 15 e 16 mostram os bolos elaborados com quatro formulações que representam os tratamentos 2V, 3V, 4V e 8C(1).

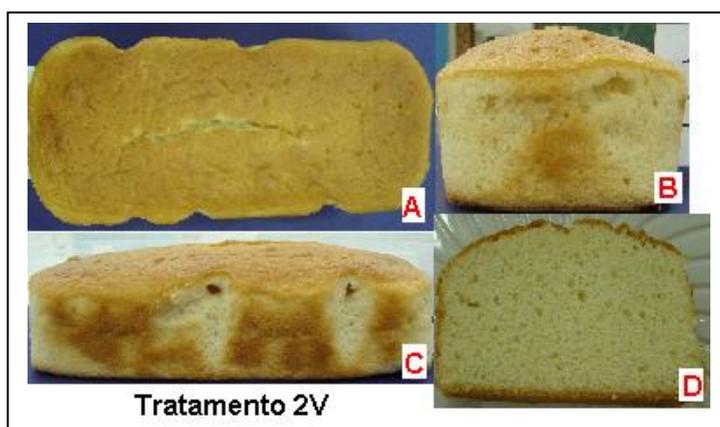


FIGURA 13 Aspectos externos (A- vista superior, B- vista frontal e C- vista lateral) e interno do bolo (D- estrutura do miolo).

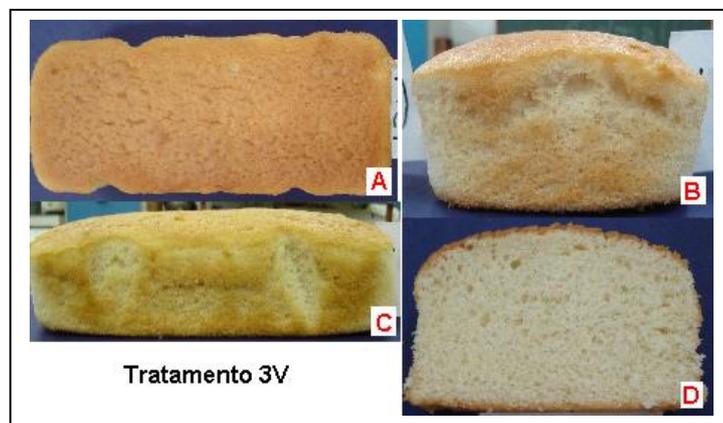


FIGURA 14 Aspectos externos (A- vista superior, B- vista frontal e C- vista lateral) e interno do bolo (D- estrutura do miolo).

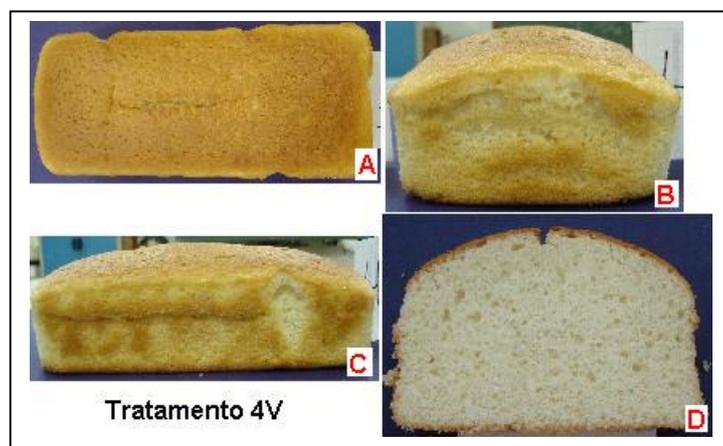


FIGURA 15 Aspectos externos (A- vista superior, B- vista frontal e C- vista lateral) e interno do bolo (D- estrutura do miolo).

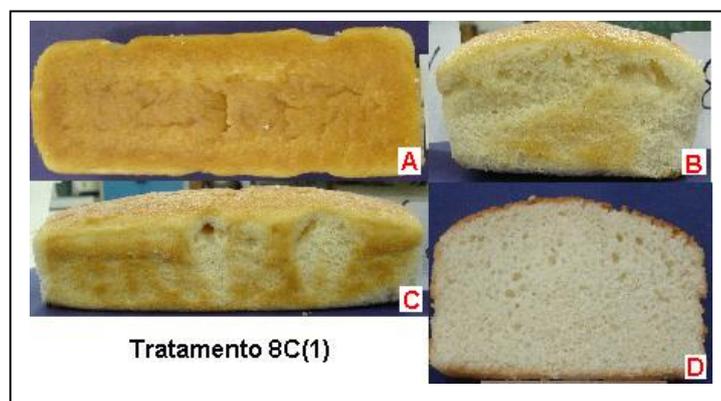


FIGURA 16 Aspectos externos (A- vista superior, B- vista frontal e C- vista lateral) e interno do bolo (D- estrutura do miolo).

Observa-se nas Figuras 13, 14, 15 e 16 que não existe diferença nas características das crostas e na estrutura do miolo entre os tratamentos. Mas em relação à cor do miolo o tratamento 2(V) apresentou coloração ligeiramente amarelada (Figura 13-d). Entretanto, selecionaram-se os tratamentos 2(V), 3(V) e 8C(1) para a análise sensorial destas formulações no intuito de selecionar o tratamento que apresenta maior preferência, levando-se em consideração a opinião dos provadores.

4.4.1 Análise sensorial

Foram selecionadas três formulações da Tabela 07. Essa seleção teve como critério os melhores resultados para as variáveis respostas estudadas. Portanto foram selecionados os tratamentos 2(V), 3(V) e 8C(1).

A Tabela 16 revela as médias para a análise sensorial em função das formulações utilizadas em cada tratamento. Verificou-se efeito significativo pelo teste de Scott & Knott, a 5% de probabilidade, nas comparações das médias da análise sensorial para as três formulações de fermento selecionadas.

De acordo com a Tabela 16, percebeu-se que as formulações de fermento 2(V) e 8C(1) mostraram-se iguais para todos os atributos diferentes porém da formulação 3(V), a que apresentou maior média quanto à preferência dos provadores para os atributos aparência, cor, sabor e textura.

Os valores médios obtidos na aceitação sensorial localizam-se entre os pontos hedônicos 6 e 8, correspondentes aos termos “ligeiramente boa” e “muito boa”.

TABELA 16 Valores das médias¹ para a preferência dos bolos obtidos das formulações 2(V), 3(V) e 8C(1).

Atributos	Formulação 2(V)	Formulação 3(V)	Formulação 8C(1)
Aparência	6,41 b	8,29 a	6,65 b
Cor	6,59 b	8,29 a	6,62 b
Sabor	6,56 b	8,41 a	6,71 b
Textura	6,79 b	8,18 a	6,68 b

¹Médias seguidas de mesma letra na linha não diferiram entre si pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade.

Portanto, a formulação 3(V) foi selecionada para ser comparada com uma marca de fermento padrão (comercial). A fim de se determinar a concentração ótima de fermento a ser empregado na elaboração do bolo, realizou-se a variação de suas quantidades. Determinaram-se três quantidades respectivamente de 4 gramas, 5 gramas e 6 gramas para serem comparadas com o fermento padrão na quantidade de 15 gramas.

A Tabela 17 apresenta as médias para a análise sensorial em função das quantidades da formulação 3(V) utilizadas em cada tratamento. Percebeu-se efeito significativo pelo teste de Scott & Knott, a 5% de probabilidade, nas comparações das médias da análise sensorial para as quatro quantidades de fermento utilizadas para os atributos aparência, cor, sabor, textura e volume.

TABELA 17 Valores das médias¹ para a preferência dos bolos elaborados com 4g, 5g, 6g da formulação 3(V) e o fermento padrão.

Atributos	4 g	5 g	6 g	Padrão
Aparência	7,07 c	7,95 a	6,60 c	7,36 b
Cor	7,57 a	7,79 a	7,00 b	7,79 a
Sabor	7,05 a	7,36 a	6,95 a	7,19 a
Textura	7,09 a	7,57 a	7,26 a	7,29 a
Volume	7,45 b	7,98 a	6,98 b	7,12 b

¹Médias seguidas de mesma letra na linha não diferiram entre si pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade.

Os resultados da análise sensorial da Tabela 17 demonstram que não houve diferença significativa entre os bolos das formulações 4g, 5g, 6g e padrão, quanto à preferência nos atributos sabor e textura. Mas, a formulação com 5

gramas de fermento obteve a melhor média de preferência para ambos os atributos, quando comparada com as demais formulações, inclusive a padrão.

Quanto ao atributo aparência referente à presença de porosidade ao longo do produto, as formulações com 4g e 6g foram iguais e diferentes do padrão e da formulação com 5 gramas de fermento a que obteve também neste atributo a melhor média para a preferência.

Em relação ao atributo cor, as formulações com 4g, 5g e padrão foram semelhantes e diferentes da formulação com 6 gramas de fermento. Para este atributo, a formulação com 5 gramas apresentou a melhor média para a preferência.

Para o atributo volume, as formulações com 4g, 6g e padrão, pela estatística foram semelhantes e diferentes da formulação com 5 gramas de fermento que foi a mais apreciada pelos provadores por sua maior média para a preferência.

Considerando-se que ao desenvolver um novo produto, um dos pontos fundamentais é avaliar sua aceitabilidade, a fim de prever seu comportamento frente ao mercado consumidor, a variação nos componentes do fermento químico assim como suas concentrações não modificaram as formulações dos bolos de forma a alterar a sua preferência ou aceitação.

4.5 Etapa 4 - Análise do custo da pré-mistura e do fermento químico

Finalmente, deve-se levar em consideração o preço de cada ingrediente da pré-mistura e o custo final da formulação. De acordo com os resultados da análise sensorial, a formulação 3(V) na concentração de 5 gramas apresentou os melhores resultados para a preferência ou aceitação. Conseqüentemente ela foi selecionada para realizar a análise do custo final da pré-mistura (Tabela 18).

TABELA 18 Análise do custo da pré-mistura para bolo no varejo.

Ingrediente	R\$/kg*	Padrão (g)	R\$	% Sobre o valor total
Farinha trigo	1,27	157,25	0,199	27,29%
Amido	2,16	46,50	0,100	13,71%
Açúcar	1,08	153,15	0,165	22,63%
Sal	0,85	1,1	0,00094	0,12%
Fermento químico	8,93	5	0,038	5,21%
Gordura	6,00	31	0,186	25,51%
Emulsificante	6,90	6	0,041	5,62%
Total		400 g	0,729	100%

*Dados obtidos em 10/10/2006 (1 Dólar = 2,14).

Analisando-se a Tabela 18, verifica-se que a formulação otimizada do fermento químico está longe de ser o componente que inviabiliza o custo da pré-mistura. Seu valor representa 5,21% do valor total da pré-mistura. As mesmas observações podem ser feitas para o sal (0,12%) e para o emulsificante que corresponde a 5,62% do custo final da mistura. Já em relação aos ingredientes farinha de trigo, açúcar e gordura, os custos representaram um aumento significativo no preço final do produto. A farinha de trigo é o componente de custo mais elevado.

Portanto, no intuito de minimizar o custo da pré-mistura, uma das alternativas seria substituir uma fração da farinha de trigo por farinhas sucedâneas ao trigo. É importante ressaltar que estas modificações não interfiram na qualidade do produto pronto.

A Tabela 19 apresenta a análise dos custos dos fermentos para o planejamento da quarta etapa.

TABELA 19 Análise do custo dos fermentos para o planejamento experimental da quarta etapa.

Ingrediente	Pirofosfato ácido sódio	Fosfato monocálcio	Sulfato alumínio e sódio	Bicarbonato de sódio
R\$/g	0,004	0,0038	0,00813	0,0106
Tratamentos	Custos das formulações (R\$) – 5g fermento			
1 V			0,036	
2 V			0,036	
3 V			0,038	
4 V			0,037	
5 C(1)			0,037	
6 C(1)			0,036	
7 C(1)			0,036	
8 C(1)			0,037	
9 C(2)			0,037	

De acordo com a Tabela 19, verifica-se que os custos para as formulações dos diversos tratamentos não apresentam nenhum valor que se destaque dos demais. As formulações dos tratamentos 1V, 2V, 6C(1) e 7C(1) indicam valores reduzidos 0,036 centavos e para a formulação do tratamento 3V resulta o maior custo (0,038 centavos). Estas variações podem ser consideradas desprezíveis.

5 CONCLUSÕES

Na primeira etapa foram identificados os principais ácidos usados nos fermentos químicos comerciais e nas pré-misturas para bolos, sendo selecionados para a elaboração da mistura do fermento químico os ácidos fosfato monocálcio, pirofosfato ácido sódio, sulfato de alumínio e sódio e o ácido tartárico.

Para a etapa 2, as formulações de fermentos à base de fosfato monocálcio resultaram em bolos com melhores qualidades, quando usado puro na formulação ou misturado com os ácidos pirofosfato ácido de sódio e sulfato de alumínio e sódio em menores proporções. Efeitos contrários foram observados para as formulações de fermentos à base de ácido tartárico que foi excluído da formulação do fermento químico.

Em relação à etapa 3, os resultados demonstraram que a região otimizada com os ácidos pirofosfato ácido de sódio, fosfato monocálcio e sulfato de alumínio e sódio apresentaram variáveis respostas equivalentes, quando comparadas aos bolos elaborados com pré-misturas do mercado. Pela análise sensorial, as melhores notas para os atributos aparência, cor, sabor e textura foram obtidas pela formulação 3V (fosfato monocálcio e sulfato de alumínio e sódio) na concentração de 5 gramas.

Na quarta etapa a análise de custo da formulação de fermento otimizada mostrou que ele não inviabiliza o custo da pré-mistura, pois seu valor representa 5,21% do custo final da pré-mistura.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA).
Disponível em: <www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 01 set. 2005.

AIKAR, A.; ABDEL-FADEEL, M. G.; MONA, A.; EI-RAKAYBI, A. M. A.; MOSTAFA, G. A. Studies on the introduction of dietetic cake using sweeteners as sugar substitute. **Deutsche Lebensmittel-Rundschau**, Nurnberg, v. 83, p. 389, 1993.

ARAÚJO, M. S. **Falando de panificação**. 2. ed. São Paulo: Editora W. Cor Gráfica, 1994. 235p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of the Association of the Agricultural Chemists**. 15. ed. Washington, 1990. v. 2.

BAKER, B. A.; DAVIS, E. A.; GORDON J. The influence of sugar and emulsifier type during microwave and conventional heating of a lean formula cake batter. **Cereal Chemical**, St. Paul, v. 67, n. 5, p. 451-457, Sept./Oct. 1990.

BARONI, C. F. S. C.; PENTEADO, P. T. P. S.; GEMIN, C. A. B.; BORGET, L. D.; WHILLE, G. M. F. C. Desenvolvimento de mistura em pó para bolo inglês ligít com frutas. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 113-120, jul./dez. 2003.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos** – Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. 2. ed. Campinas: Editora Unicamp, 2002. 401 p.

BARROS NETO, B.; SACARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. 2. ed. Campinas: Editora da Universidade Estadual de Campinas, 1995.

BATH, D. E.; SHELKE, K.; HOSENENEY, R. C. Fat replacers in high-ratio layer cakes. **Cereal Foods World**, St. Paul, v. 37, n. 7, p. 495-500, July 1992.

BENNION, E. B.; BAMFORD, G. S. T. **The technology of cake making**. Warcester: Billing, 1993. 389 p.

BIRNBAUM, H. Surfactants and shortenings in cakemaking. **Bakers Digest**, Kansas City, v. 52, n. 1, p. 28-38, 1988.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2001.

BORGES, J. T. S.; PIROZI, M. R.; LUCIA, S. M. D.; PEREIRA, P. C.; MORAES, A. R. F.; CASTRO, V. C. Utilização de farinha mista de aveia e trigo na elaboração de bolos. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 145-162, jan. /jun. 2006.

CALADO, V.; MONTGOMERY, D. C. **Planejamento de Experimentos usando Estatística**. Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais, 2003. 260 p.

CAUVAIN, S. P. Improving the control of staling in frozen bakery products. **Trends Food Science Technology**, Oxford, v. 9, n. 2, p. 56-61, Feb. 1998.

CHAVES, J. B. P.; SPROESSER, R. L. **Práticas de laboratório de análise sensorial e alimentos e bebidas**. Viçosa, MG: UFV, 1993. 81 p.

CLARKE, C. I.; SCHOBERT, T. J.; ANGST, E.; ARENDT, E. K. Use of response surface methodology to investigate the effects of processing conditions on sourdough wheat bread quality. **European Food Research and Technology**, New York, v. 217, n. 1, p. 23-33, July 2003.

CLYDESDALE, F. M. Color measurement. In: GRUENWEDEL, D. W.; WHITAKER, J. R. **Food analysis: principles and techniques**. New York: Marcel Dekker, 1984. v. 1, p. 95-149.

COCUP, R. O.; SANDERSON, W. B. Functionality of dairy ingredients in bakery products. **Food Technology**, Chicago, v. 41, n. 9, p. 86-90, Sept. 1987.

CORNELL, J. A. **How to run mixture experiments for product quality**. American Society for Quality Control, 1990. v. 5, 96 p.

EL-DASH, A.; GERMANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas: uso de farinhas mistas na produção de bolos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. v. 7, 31 p.

EL-DASH, A. A.; CAMARGO, C. O. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. 1982. 349 p. 9. (Série Tecnologia Industrial).

EMULZINT. **Curso técnico de panificação**. Campinas: Emulzint Indústria e Comércio, 1985. 91 p.

ESTELLER, M. S.; AMARAL, R. L.; LANNES, S. C. S. Effect of Sugar and Fat Replacers on the Texture of Baked Goods. **Journal of Texture Studies**, Trumbull, v. 35, n. 4, p. 383-393, Oct. 2004a.

ESTELLER, M. S.; LANNES, S. C. S. Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 802-806, out./dez. 2005.

ESTELLER, M. S.; JÚNIOR, O. Z.; LANNES, S. C. S. Bolo de chocolate produzido com pó de cupuaçu e kefir. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 42, n. 3, p. 447-454, jul./set. 2006.

ESTELLER, M. S.; YOSHIMOTO, R. M. O.; AMARAL, R. L.; LANNES, S. C. S. Uso de açúcares em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 602-607, out./dez. 2004b.

FARGESTAD, E. M. et al. Influence of flour quality and baking process on herth bread characteristics made usind gentle mixing. **Journal of Cereal Science**, New York, v. 30, n. 1, p. 61-70, 1999.

FOEGEDING, E. A.; LUCK, P. J.; DAVIS, J. P. Factors deterring the physical properties of protein foams. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 20, n. 2/3, p. 284-292, May/June 2006.

GETEC Guanabara Química. **Xarope de frutose**. Resende: GETEC, 2002. 2 p. [Boletim técnico].

GIANNOU, V.; KESSOGLOU, V.; TZIA, C. Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. **Trends in Food Science and Technology**, Oxford, v. 14, n. 1, p. 99-108, Jan. 2003.

GIESE, J. Color measurement in foods as a quality parameter. **Food Technology**, Chicago, v. 54, n. 2, p. 62-63, Feb. 2003.

GIESE, J. Fats, oils, and fat replacers, **Food Technology**, Chicago, v. 50, n. 4, p. 78-83, Apr. 1996.

GRISWOLD, R. M. **Estudo experimental dos alimentos**. Ed: Edgard Blücher, 1982. 469 p.

HANOVER, L. M.; WHITE, J. S. Manufacturing, composition, and applications of fructose. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 58, n. 5, p. 724-732, Nov. 1993. Supplement.

HOSENEY, R. C.; LINEBACK, D. R.; SEIB, P. A. Role of starch in baked food. **Bakers Digest**, Kansas city, v. 57, n. 4, p. 65-71, 1983.

HOOD, M. P. Air, water vapor, and carbon dioxide as leavening gases in cakes made different types of fats. **Cereal Chemical**, St. Paul, v. 25, n. 4, p. 244-254, July/Aug. 1988.

HUTCHINGS, J. B. **Food color and appearance**. Gaithersburg: Aspen Publishers, 1999. 610 p.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas do Instituto Adolfo Lutz**. São Paulo, 1985. v. 1.

JOUPPILA, K.; ROOS, Y. H. The physical state of amorphous corn starch and its impact on crystallization. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 95-104, Jan. 1997.

KAMEL, B. S. "Surfactants in bakery foods". **Technical Bolletin - American Institute of Baking Research Department**, Baking, v. 15, n. 7, 1993.

KROG, N. Emulsifiers in cake and bread production. **Baking Industry**, Chicago, v. 38, n. 5, p. 40-43, 1989.

LABUZA, T. P., HYMAN, C. R. Moisture migration and control in multi-domain foods. **Trends Food Science Technology**, Oxford, v. 9, n. 1, p. 47-55, Jan. 1998.

MIZUKOSHI, M. Model studies of cake baking. VI. Effects of cake ingredients and cake formula on shear modulus of cake. **Cereal Chemical**, St. Paul, v. 62, n. 4, p. 247-251, July/Aug. 1985.

MORR, C. V.; HOFFMANN, W.; BUCHHEIM, W. Use of applied air pressure to improve the baking properties of whey protein isolates in Angel food cakes. **Lebensmittell Wissenschaft und Technologie**, San Diego, v. 36, n. 1, p. 83-90, 2003.

OSCATO, J. A.; FERREIRA, S. H. P.; HAULY, M. C. O. Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo chocolate. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 634-640, out./nov. 2004.

PATERAS, I. M. C. Bread spoilage and staling. In: CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **Technology of Breadmaking**. London: Blackie Academic & Professional, 1998. p. 240-261.

PATON, D.; LAROCQUE, G. M.; HOLME, J. Development of cake structure: influence of ingredients on the measurement of cohesive force during baking. **Cereal Chemical**, St. Paul, v. 58, n. 6, p. 527-529, Nov./Dec. 2001.

PAVANELLI, A. P.; CICHELO, M. S.; PALMA, E. J. **Emulsificante como agentes de aeração em bolos**. Oxiten S/A Indústria e Comércio, 2006.

PIROZI, M. R. **Tecnologia de Panificação**. Anotação de aula, disciplina de Tecnologia de Pães, Massas, Amidos e Derivados. Departamento de Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Viçosa, 2004.

PIZZINATTO, A.; CAMPAGNOLLI, D. M. F. **Avaliação tecnológica de produtos derivados de farinha de trigo** (pão, macarrão, biscoito). Campinas: Ital, 1993. 58 p.

PLATA OVIEDO, M. S. V. **Secagem do amido fermentado de mandioca: modificação química relacionada com a propriedade de expansão e características físico-químicas**. 1998. 114 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade de Campinas, Campinas.

ROOS, Y. Water activity and physical state effects on amorphous food stability. **Journal of Food Processing Preservation**, Trumbull, v. 16, n. 6, p. 433-477, 1993.

ROSENTHAL, A. J. **Food texture – measurement and Perception**. London: Chapman & Hall, 1999. 311 p.

SEGALL, S. D. **Utilização de farinhas mistas na formulação de bolos**. 1994. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradação e modificações**. São Paulo: Varela, 1996. 520 p.

- STABLE MICRO SYSTEMS. Texture analysis.
Disponível em: <<http://www.stablemicrosystems.com>>. Acesso em: 23 jun. 2002.
- STAUFFER, C. E. “Emulsifiers and dough strenghteners”. In: STAUFFER, C. E (Ed.). **Functional ingredients for bakery foods**. New York: AVI, 1990.
- STAUFFER, C. E. Emulsifiers as antistaling agents – **Cereal Foods World**, St. Paul, v. 45, n. 3, p. 106-110, Mar. 2000.
- STAUFFER, C. E. Fats and oils in bakery products. **Cereal Foods World**, St. Paul, v. 43, n. 3, p. 120-126, Mar. 1998a.
- STAUFFER, C. E. Principles of dough formation. In: CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **Technology of breadmaking**. London: Blackie Academic & Professional, 1998b. p. 262-295.
- SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, Oxford, v. 13, n. 4, p. 215-225, June 2002.
- TEDRUS, G. A. Uso de Conservadores em Panificação. **CEPEC News**, v. 2, n. 3, abr. /jun. 1996.
- TEXTURE TECHNOLOGIES CORP. Foods. **Cereal and bakery**. Disponível em: <http://www.texturetechnologies.com/Food_Texture_Analysis/foods-cereal.html>. Acesso em: 20 set. 2005.
- VITRI, P.; GARCIA, E. E. C.; OLIVEIRA, L. M. **Tecnologia de biscoitos**. Campinas, 1988. (Manual técnico, n. 1).
- ZAMBRANO, F. et al. Efeito da goma guar e xantana em bolos como substitutos de gordura. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 63-71, jan./mar. 2005.

ANEXOS

ANEXO A

	Página
FIGURA 1A Metodologia e aparelho Chittick modificado para determinação do desprendimento de dióxido de carbono (CO ₂) de uma amostra de fermento químico.....	95
FIGURA 2A Ficha da análise sensorial dos bolos para o teste de aceitação.....	96

Metodologia e aparelho Chittick modificado

O aparelho funciona da seguinte forma: uma amostra de fermento químico, de peso determinado, é inserida no balão de vidro do aparelho da Figura 1A. Acrescenta-se, aos poucos, o ácido sulfúrico presente na bureta. A reação entre o ácido e o fermento provoca a liberação de dióxido de carbono (CO₂) resultando no deslocamento do fluido presente na bureta invertida, indicando o volume de gás carbônico liberado. O cálculo do desprendimento de gás é dado pela equação:

$$\frac{44 \times 100 \times P \times V \times 273}{22400 \times T \times 760 \times A} = \text{CO}_2 \text{ total por 100g}$$

- P = pressão ambiente em mm de mercúrio.
- V = N° ml de CO₂ desprendido.
- T = temperatura ambiente em graus absolutos (°C + 273).
- A = N° de gramas da amostra.

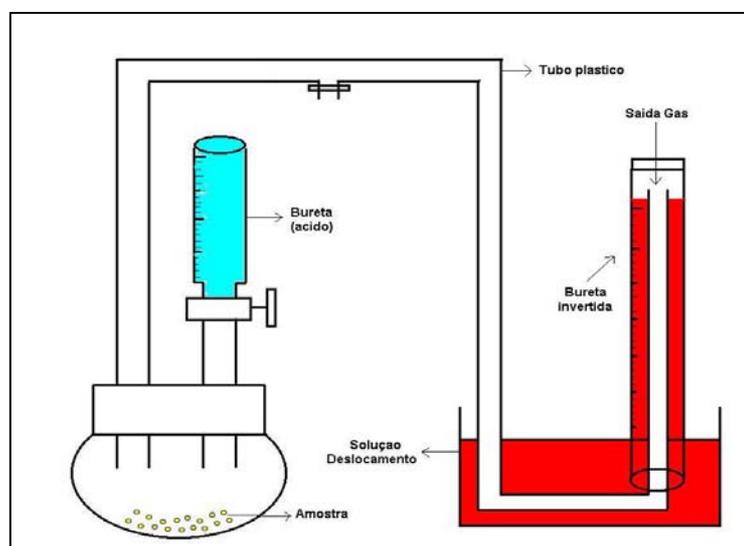


FIGURA 1A Metodologia e aparelho Chittick modificado para determinação do desprendimento de dióxido de carbono (CO₂) de uma amostra de fermento químico.

Teste de Consumidor – Preferência

Data:/...../..... Hora do teste: Sexo: Masc: Fem:.....

Faixa etária: até 18 anos: 19 a 25 anos: 26 a 35 anos:.....

36 a 45 anos: acima de 46 anos:

Produto: Bolo

Estamos fazendo uma pesquisa sobre a preferência do consumidor para este bolo. Por favor, prove da esquerda para a direita e avalie sua qualidade (aparência, cor, sabor, textura e volume) de acordo com a escala abaixo. Lave a boca antes e entre uma amostra e outra.

1. Péssima
2. Muito ruim
3. Moderadamente ruim
4. Ligeiramente ruim
5. Indiferente
6. Ligeiramente boa
7. Moderadamente boa
8. Muito boa
9. Ótima

Amostras

Aparência

Cor

Sabor

Textura

Volume

FIGURA 2A Ficha da análise sensorial dos bolos para o teste de aceitação.

ANEXO B

		Página
TABELA 1B	Valores médios obtidos para os parâmetros de qualidade do bolo em todas as formulações da etapa 2.....	99
TABELA 2B	Análise de variância dos modelos de regressão linear para diferença de cor miolo e quadrático para os dados volume e altura.....	100
TABELA 3B	Análise de variância dos modelos de regressão quadrático dos dados densidade específica do bolo, pH e firmeza.....	100
TABELA 4B	Análise de variância dos modelos de regressão cúbico para os dados gomosidade e mastigabilidade.....	101
TABELA 5B	Análise de variância dos modelos de regressão para os dados umidade e densidade específica da massa crua.....	101
TABELA 6B	Análise de variância dos modelos de regressão linear para as variáveis altura e diferença de cor do miolo e quadrático para a variável densidade específica do bolo com exclusão do componente ácido tartárico.....	102
TABELA 7B	Análise de variância dos modelos de regressão linear para a variável firmeza e quadrático para a variável pH com exclusão do componente ácido tartárico.....	102
TABELA 8B	Valores médios obtidos para os parâmetros de qualidade do bolo em todas as formulações da etapa 3.....	103
TABELA 9B	Análise de variância dos modelos de regressão linear para a variável pH e cúbico para os dados diferença de cor do miolo e densidade específica do bolo na etapa 3 do projeto.....	104
TABELA 10B	Quadrados médios da análise da variância e respectivos níveis de significância para os atributos aparência, cor, sabor e textura para as formulações 2(V), 3(V) e 8C(1)....	104

TABELA 11B	Quadrados médios da análise da variância e respectivos níveis de significância para os atributos volume, aparência, cor, sabor e textura para as formulações 4 g, 5 g, 6 g e padrão.....	105
------------	--	-----

TABELA 1B Valores médios obtidos para os parâmetros de qualidade do bolo em todas as formulações da etapa 2.

Formulação	01	02	03	04	05	06	07	08	9	10	11	12	13	14	15
Análise Perfil de Textura (TPA)															
Firmeza (N)	7,151	5,522	5,798	3,371	7,667	3,993	4,311	3,739	5,878	5,087	5,578	3,478	3,535	4,743	4,751
Fraturab. (N)	0,203	0,199	0,204	0,200	0,202	0,201	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,201	0,201	0,201
Adesiv. (N.s)	0,0005	0,0002	-0,0074	0,0	-0,0017	-0,0025	-0,001	0,0001	-0,0001	-0,0006	-0,001	-0,0007	-0,0002	-0,0007	-0,0017
Elastic. (m)	0,939	1,371	1,041	1,223	1,079	1,086	1,328	1,248	1,231	1,096	1,189	1,281	1,274	0,946	1,195
Coesividade	0,552	0,537	0,559	0,533	0,543	0,535	0,545	0,534	0,554	0,456	0,551	0,538	0,534	0,451	0,544
Gomosid.(N)	3,964	2,326	3,241	1,795	4,161	2,139	2,360	1,994	3,254	2,293	3,071	1,871	1,886	2,703	2,585
Mastig.(N.m)	3,727	4,083	3,335	2,166	4,434	2,288	3,084	2,490	4,005	3,017	3,677	2,376	2,405	3,066	3,064
Resistência	0,521	0,451	0,493	0,469	0,533	0,467	0,476	0,479	0,552	0,677	0,522	0,486	0,479	0,634	0,521
Fatores de qualidade															
Umidade	28,496	29,942	27,155	28,528	29,172	29,560	28,459	27,640	30,362	29,992	30,203	30,908	28,977	30,468	30,108
Volume	510,0	730,0	750,0	850,0	660,0	840,0	740,0	820,0	660,0	720,0	650,0	760,0	730,0	710,0	710,0
Densidade	0,584	0,422	0,415	0,365	0,460	0,367	0,413	0,369	0,463	0,420	0,470	0,404	0,411	0,434	0,438
Altura	3,485	4,685	4,880	5,520	4,785	5,035	4,770	5,200	4,535	4,630	4,300	5,250	4,900	4,685	5,07
Dens. Aparen	1,085	1,085	1,105	1,100	1,086	1,085	1,099	1,094	1,108	1,118	1,113	1,126	1,091	1,112	1,095
pH	6,49	9,87	9,14	8,10	7,50	9,73	9,37	9,07	8,59	9,35	9,02	9,15	8,81	9,52	9,29
Diferença de cor (Δ E)															
Miolo	27,95	40,51	37,42	28,61	27,64	37,65	34,06	37,45	34,49	40,43	41,08	36,34	34,08	38,85	35,22

*Média de 3 repetições.

TABELA 2B Análise de variância dos modelos de regressão linear para diferença de cor miolo e quadrático para os dados volume e altura.

Fonte Variação	Volume				Altura				Diferença cor miolo			
	S.Q	G.L	M.Q	F	S.Q	G.L	M.Q	F	S.Q	G.L	M.Q	F
Modelo	290063,1	6	48343,85	19,3958	8,4223	5	1,6845	20,2371	667,4581	3	222,486	34,8823
Resíduos	94714,7	38	2492,49		3,2462	39	0,0832		261,5053	41	6,3782	
Falta Ajuste	22648,0	8	2831,00	1,1785	1,0114	9	0,1124	1,5086	124,3910	11	11,3083	2,4742
Erro puro	72066,7	30	2402,22		2,2348	30	0,0745		137,1143	30	4,5705	
Total	384777,8	44	8744,95		11,6685	44	0,2652		928,9634	44	21,1128	

TABELA 3B Análise de variância dos modelos de regressão quadrático dos dados densidade específica do bolo, pH e firmeza.

Fonte Variação	Densidade específica do bolo				pH				Firmeza			
	S.Q	G.L	M.Q	F	S.Q	G.L	M.Q	F	S.Q	G.L	M.Q	F
Modelo	0,112098	5	0,0224	25,4595	32,6529	8	4,0816	85,8252	562620,8	4	140655,2	16,8346
Resíduos	0,034343	39	0,0009		1,7121	36	0,0476		334205,5	40	8355,1	
Falta Ajuste	0,013888	9	0,0015	2,2631	0,6057	6	0,1009	2,7376	268958,1	10	26895,8	12,3663
Erro puro	0,020455	30	0,0007		1,1063	30	0,0369		65247,4	30	2174,9	
Total	0,146442	44	0,0033		34,3651	44	0,7810		896826,3	44	20382,4	

TABELA 4B Análise de variância dos modelos de regressão cúbico para os dados gomosidade e mastigabilidade.

Fonte Variação	Gomosidade				Mastigabilidade			
	S.Q	G.L	M.Q	F	S.Q	G.L	M.Q	F
Modelo	242755,8	7	34679,40	38,6262	231207,5	9	25689,72	19,3211
Resíduos	33219,3	37	897,82		46536,7	35	1329,62	
Falta Ajuste	7563,5	7	1080,50	1,2635	7898,8	5	1579,76	1,2266
Erro puro	25655,8	30	855,19		38637,9	30	1287,93	
Total	275975,1	44	6272,16		277744,2	44	6312,37	

TABELA 5B Análise de variância dos modelos de regressão quadrático para a etapa 2 do projeto para os dados umidade e densidade específica da massa crua.

Fonte variação	Umidade				Densidade específica da massa crua			
	S.Q	G.L	M.Q	F	S.Q	G.L	M.Q	F
Modelo	41,6649	9	4,6294	1,9557	0,0101	9	0,0011	0,7551
Resíduos	82,8486	35	2,3671		0,0520	35	0,0015	
Falta Ajuste	15,9131	5	3,1826	1,4264	0,0016	5	0,0003	0,1904
Erro puro	66,9355	30	2,2312		0,0504	30	0,0017	
Total	124,5135	44	2,8299		0,0621	44	0,0014	

TABELA 6B Análise de variância dos modelos de regressão linear para as variáveis altura e diferença cor miolo e quadrático para a variável densidade específica do bolo com exclusão do componente ácido tartárico.

Fonte Variação	Densidade Específica Bolo				Altura				Diferença Cor Miolo			
	S.Q	G.L	M.Q	F	S.Q	G.L	M.Q	F	S.Q	G.L	M.Q	F
Modelo	0,0118	4	0,0029	8,3659	1,4785	2	0,7392	8,4851	230,2793	2	115,1396	19,4947
Resíduos	0,0057	16	0,0004		1,5682	18	0,0871		106,3117	18	5,9062	
Falta Ajuste	0,0027	2	0,0013	6,2021	0,5151	4	0,1288	1,7119	42,7367	4	10,6842	2,3528
Erro puro	0,0029	14	0,0002		1,0531	14	0,0752		63,5750	14	4,5411	
Total	0,0175	20	0,0009		3,0467	20	0,1523		336,5910	20	16,8295	

TABELA 7B Análise de variância dos modelos de regressão linear para a variável firmeza e quadrático para a variável pH com exclusão do componente ácido tartárico.

Fonte Variação	pH				Firmeza			
	S.Q	G.L	M.Q	F	S.Q	G.L	M.Q	F
Modelo	6,4047	4	1,6012	47,0790	129026,5	2	64513,24	22,3258
Resíduos	0,5442	16	0,0340		52013,4	18	2889,63	
Falta Ajuste	0,0636	2	0,0318	0,9269	31719,7	4	7929,94	5,4706
Erro puro	0,4805	14	0,0343		20293,6	14	1449,55	
Total	6,9489	20	0,3474		181039,9	20	9051,99	

TABELA 8B Valores médios obtidos para os parâmetros de qualidade do bolo em todas as formulações da etapa 3.

Formulação	1(V)	2(V)	3(V)	4(V)	5C(1)	6C(1)	7C(1)	8C(1)	9C(2)
Análise Perfil Textura (TPA)									
Firmeza (N)	3,048	2,564	2,885	3,077	2,713	3,313	2,869	2,689	2,547
Fraturab. (N)	3,048	2,564	2,885	3,077	2,713	3,313	2,869	2,689	2,547
Adesivid. (N.s)	0,0	-0,002	-0,0001	-0,004	-0,004	-0,0006	-0,0033	-0,0017	-0,0055
Elasticidade (m)	1,223	1,12	1,149	1,222	1,106	1,116	1,193	1,095	1,058
Coesividade	0,533	0,530	0,526	0,53	0,530	0,540	0,538	0,537	0,536
Mastigab. (N.m)	1,987	1,507	1,678	2,069	1,646	2,033	1,789	1,562	1,644
Fatores de qualidade									
Densidade (g/mL)	0,301	0,268	0,265	0,328	0,326	0,275	0,329	0,241	0,312
Altura (cm)	6,03	6,00	6,02	5,93	5,96	6,03	6,18	6,08	6,22
pH	8,51	8,88	8,33	9,27	8,52	8,88	8,87	8,75	8,65
Aw	0,925	0,926	0,923	0,921	0,920	0,931	0,913	0,930	0,915
Diferença de cor (ΔE)									
Miolo	29,91	29,09	27,09	32,46	30,41	26,17	31,62	26,44	32,50

*Média de 3 repetições.

TABELA 9B Análise de variância dos modelos de regressão linear para a variável pH e cúbico para os dados diferença de cor miolo e densidade específica do bolo na etapa 3 do projeto.

Fonte Variação	Densidade específica do bolo				Diferença cor miolo				pH			
	S.Q	G.L	M.Q	F	S.Q	G.L	M.Q	F	S.Q	G.L	M.Q	F
Modelo	0,0196	6	0,0033	6,9991	141,7050	6	23,6175	37,1437	1,3936	2	0,6968	31,5847
Resíduos	0,0093	20	0,0005		12,7168	20	0,6358		0,5295	24	0,0221	
Falta Ajuste	0,0059	2	0,0029	16,0901	7,1629	2	3,5815	11,6075	0,4361	6	0,0727	14,0066
Erro puro	0,0033	18	0,0002		5,5539	18	0,3086		0,0934	18	0,0052	
Total	0,0289	26	0,0011		154,4218	26	5,9393		1,9231	26	0,0739	

TABELA 10B Quadrados médios da análise de variância e respectivos níveis de significância para os atributos aparência, cor, sabor e textura para as formulações 2V, 3V e 8C(1).

Fonte de variação	G.L	Quadrados Médios			
		Aparência	Cor	Sabor	Textura
Formulações	2	35,7647*	32,4216*	36,0686*	23,6568*
Erro	99	0,4349	0,4780	0,8048	0,8681
CV (%)		9,27	9,65	12,42	12,91

* significativo, a 5% probabilidade, pelo teste Scott & Knott.

TABELA 11B Quadrados médios da análise de variância e respectivos níveis de significância para os atributos volume, aparência, cor, sabor e textura para as formulações 4 g, 5 g, 6 g e padrão.

Fonte de variação	G.L	Quadrados Médios				
		Volume	Aparência	Cor	Sabor	Textura
Formulações	3	8,2857*	13,5139*	5,7857*	1,3075ns	1,6409ns
Erro	164	1,5534	1,4539	1,2221	1,3410	1,4427
CV (%)		16,89	16,65	14,67	16,23	16,45

*significativo, a 5% probabilidade, pelo teste Scott & Knott.

ns não-significativo, pelo teste Scott & Knott.