

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial



DISSERTAÇÃO

**INFLUÊNCIA DA FORMULAÇÃO NO
CONGELAMENTO DE MASSAS DE BOLO E
NA QUALIDADE DO PRODUTO FINAL**

ENG. QUÍM. LAONE HELLWIG NEITZEL

Pelotas, 2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ENG. QUÍM. LAONE HELLWIG NEITZEL

**INFLUÊNCIA DA FORMULAÇÃO NO
CONGELAMENTO DE MASSAS DE BOLO E
NA QUALIDADE DO PRODUTO FINAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Ciência e Tecnologia Agroindustrial).

Orientador: Prof. Dr. Manoel Artigas Schirmer

Co-Orientador: Prof^a. Dr^a. Myriam de las Mercedes Salas-Mellado

Pelotas, 2006

Dados de catalogação na fonte:
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

N417i Neitzel, Laone Hellwig

Influência da formulação no congelamento de massas de bolo e na qualidade do produto final / Laone Hellwig Neitzel. - Pelotas, 2006.

122f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. - Pelotas, 2006, Manoel Artigas Schirmer; co-orientador Myriam de las Mercedes Salas-Mellado, Orientador.

1. Bolos 2. Formulação 3. Congelamento 4. Qualidade
5. Alimentos I. Schirmer, Manoel Artigas (orientador) II. Título.

CDD 664.02853 7

Banca examinadora:

Prof. Dr. Manoel Artigas Schirmer (orientador)

Prof^a. Dr^a. Janaína Fernandes de Medeiros Burkert

Prof^a. Dr^a. Márcia Arocha Gularte

Prof. Dr. Alvaro Renato Guerra Dias

Dedico este trabalho, em primeiro lugar, a Deus,
que me permitiu chegar até aqui.

À minha noiva, Vanessa, e meus pais, Dulce e Sidio,
por sempre acreditarem em mim.

E a todas as pessoas que foram importantes
nesses dois anos de caminhada.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Manoel Artigas Schirmer, pela orientação do trabalho e paciência para contornar cada obstáculo que surgiu.

À Prof^ª. Dr^ª. Myriam de las Mercedes Salas-Mellado, pela co-orientação e inestimável colaboração para a execução deste trabalho; a ela e a seu esposo, Prof. Dr. Carlos Prentice-Hernández, pela amizade e bom humor constantes.

Ao Prof. Dr. Alvaro Renato Guerra Dias, pela orientação na primeira metade do curso, e pela participação na banca examinadora do trabalho.

À Prof^ª. Dr^ª. Janaína Fernandes de Medeiros Burkert, pela participação na banca examinadora, e pelos conhecimentos de estatística compartilhados.

À Prof^ª. Dr^ª. Márcia Arocha Gularte, pela participação na banca examinadora, e pelos conhecimentos de análise sensorial.

Ao Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias, pela sua atuação como chefe do grupo de pesquisa.

À CAPES, pela bolsa concedida.

À Princesa Indústria e Comércio de Alimentos, na pessoa do Sr. Roberto Robe, pelos ingredientes e informações fornecidos.

Ao Departamento de Química da FURG, por disponibilizar suas instalações para a execução da parte experimental do trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Controle de Qualidade de Grãos da UFPel, pelos momentos de convivência; em especial à Mestranda Sandra Iunes Raimann, pelo auxílio nas análises de consistografia, alveografia e número de queda.

Aos colegas do Laboratório de Tecnologia de Alimentos da FURG, pelos momentos de convivência; em especial à Técnica Maria da Graça, pela colaboração em alguns procedimentos de laboratório.

À acadêmica de Engenharia de Alimentos Inajara Piotrowicz, pelo auxílio na execução experimental do trabalho.

Aos demais professores e colegas do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, pela troca de conhecimentos e experiências.

À Vanessa, minha noiva, pelo apoio, paciência e carinho, sempre abundantes, tanto nos momentos agradáveis como nos difíceis.

Aos meus pais, Dulce e Sidio, pelo suporte diário, e por sempre apostarem no meu sucesso profissional.

Aos meus demais familiares, bem como à família da Vanessa, pela sua presença e apoio constantes.

Aos meus irmãos na fé, da Comunidade Evangélica Martim Lutero, pela amizade e companheirismo.

E, principalmente, a Deus, “pois dele, por ele e para ele são todas as coisas. A ele seja a glória para sempre”.

“Descobri que não há nada melhor para o homem do que ser feliz e praticar o bem enquanto vive. Descobri também que poder comer, beber e ser recompensado pelo seu trabalho é um presente de Deus. Sei que tudo o que Deus faz permanecerá para sempre; a isso nada se pode acrescentar, e disso nada se pode tirar”.

(Ec 3.12-14b, NVI)

Resumo

NEITZEL, Laone Hellwig. **Influência da formulação no congelamento de massas de bolo e na qualidade do produto final**. 2006. 122f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Massas congeladas para produtos de panificação têm uma produção crescente, pois oferecem valor agregado tanto em termos de conveniência (prontas para o uso) como de armazenamento. As massas congeladas possuem uma série de vantagens, como o fato de não necessitarem de conservantes e de possibilitarem o consumo de produtos recém forneados. A expansão do setor gera a necessidade de uma gama maior de produtos, e a tecnologia atualmente utilizada no congelamento de massas de pão e a infraestrutura existente no setor podem ser aplicadas em outros tipos de massas. Uma situação de especial interesse é encontrada nos produtos com altos teores de açúcar e gordura, como bolos, cujo fator limitante do congelamento é o abaixamento da temperatura de congelamento (efeito criométrico), resultando em alto custo dos equipamentos e fragilidade logística do produto congelado, em função do rápido descongelamento. A possibilidade de reduzir o efeito criométrico mediante alterações na formulação das massas é limitada pelo efeito que essas alterações causam na qualidade do produto final. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência dos teores de açúcar e gordura no congelamento das massas e na qualidade dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas, congeladas e imediatamente descongeladas, e armazenadas sob congelamento. Foi realizado um planejamento fatorial completo 2^2 , que deu origem a quatro estudos: três referentes à qualidade dos bolos produzidos a partir de massas submetidas a diferentes processamentos e um sobre as características de congelamento das massas de bolo. Os bolos produzidos através dos diferentes processamentos também foram comparados entre si, para avaliação da influência do congelamento e do armazenamento sob congelamento das massas na qualidade do produto final. Nos bolos produzidos a partir de massas não congeladas ou congeladas e imediatamente descongeladas, os valores mais adequados para os parâmetros de qualidade foram obtidos com teores de açúcar de 48% e de gordura de 50% (base farinha). Nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento, os valores mais adequados foram obtidos com teores de açúcar de 48% e de gordura de 30%. O congelamento e imediato descongelamento das massas não causou alterações significativas nos parâmetros de qualidade dos bolos. O armazenamento por 28 dias sob congelamento das massas causou prejuízo nos parâmetros de qualidade dos bolos formulados com alto teor de gordura. Os valores mais adequados para as características de congelamento das massas foram obtidos com teores de açúcar de 48% e de gordura de 50%.

Palavras-chave: Bolos. Formulação. Congelamento. Qualidade. Alimentos.

Abstract

NEITZEL, Laone Hellwig. **Influência da formulação no congelamento de massas de bolo e na qualidade do produto final**. 2006. 122f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Frozen batters and doughs have an increasing production, since they offer added value both in terms of convenience (ready for use) and of storage. Frozen batters and doughs have a lot of advantages, as they do not need conservants and they enable the consumption of freshly baked products. The expansion of the sector generates a demand of product diversity, and the current bread dough freezing technology utilized and the present sector infrastructure may be applied in other products. An interesting situation is found in products with high levels of sugar and fat, as in cakes, which the limiting factor is the freezing temperature decrease (cryometric effect), resulting in high equipment cost and logistic fragility of the frozen product, due to the fast thawing. The possibility of reducing the cryometric effect through changes in batter formulation is limited by the effect that the changes cause in final product quality. The purpose of this work was to evaluate the influence of sugar and fat levels on the batter freezing characteristics and on the quality of cakes baked from batters produced without freezing, frozen and immediately thawed, and stored under freezing condition. A complete 2^2 factorial design was accomplished, which originated four studies: three of them referring to the quality of cakes produced from batters submitted to different processing, and one about batters freezing characteristics. The cakes produced through the different processing also have been compared in order to evaluate the influence of batter freezing and frozen storage on the final product quality. In the cakes produced from batters, not frozen or frozen and immediately thawed, the most suitable values for the quality parameters were obtained with a 48% sugar and a 50% fat (flour basis). In cakes produced from batters stored under freezing condition, the most suitable values were obtained with a 48% sugar and a 30% fat. The freezing and immediate thaw of the batters did not cause significant changes on the cake quality parameters. Cakes made from batters stored under freezing condition for 28 days had its quality parameters adversely affected when high fat concentration was used. The most suitable values for the batter freezing characteristics were obtained with a 48% sugar and a 50% fat.

Keywords: Cakes. Formulation. Freezing. Quality. Food.

Lista de Figuras

Figura 1	Montagem dos termopares no interior do freezer.....	55
Figura 2	Cortes realizados para avaliação dos bolos.....	56
Figura 3	Consistografia da farinha de trigo.....	59
Figura 4	Alveografia da farinha de trigo.....	59
Figura 5	Exemplo de curva de calibração de termopar.....	61
Figura 6	Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua interação nas variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	63
Figura 7	Superfície de resposta para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	65
Figura 8	Curva de contorno para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	66
Figura 9	Superfície de resposta para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	68
Figura 10	Curva de contorno para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	69
Figura 11	Superfície de resposta para a textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	71
Figura 12	Curva de contorno para a textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	71
Figura 13	Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua interação nas variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	73
Figura 14	Superfície de resposta para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	76

Figura 15	Curva de contorno para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	76
Figura 16	Superfície de resposta para o escore tecnológico dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	78
Figura 17	Curva de contorno para o escore tecnológico dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	78
Figura 18	Superfície de resposta para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	80
Figura 19	Curva de contorno para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	80
Figura 20	Superfície de resposta para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	83
Figura 21	Curva de contorno para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	83
Figura 22	Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua interação nas variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento.....	85
Figura 23	Superfície de resposta para o volume específico dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento..	88
Figura 24	Curva de contorno para o volume específico dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento..	88
Figura 25	Superfície de resposta para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento..	90
Figura 26	Curva de contorno para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento..	90
Figura 27	Superfície de resposta para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento..	92
Figura 28	Curva de contorno para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento..	92

Figura 29	Superfície de resposta para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento..	94
Figura 30	Curva de contorno para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento..	94
Figura 31	Comparação de médias do volume específico dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos.....	98
Figura 32	Comparação de médias da umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos.....	98
Figura 33	Comparação de médias do escore tecnológico dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos.....	99
Figura 34	Comparação de médias do escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos.....	100
Figura 35	Comparação de médias do escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos.....	100
Figura 36	Comparação de médias da textura dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos.....	101
Figura 37	Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua Interação nas variáveis respostas do congelamento das massas.....	103
Figura 38	Superfície de resposta para a temperatura de congelamento das massas.....	106
Figura 39	Curva de contorno para a temperatura de congelamento das massas.....	106
Figura 40	Superfície de resposta para a taxa de sub-resfriamento das massas.....	108
Figura 41	Curva de contorno para a taxa de sub-resfriamento das massas..	108
Figura 42	Superfície de resposta para o tempo de descongelamento das massas.....	111
Figura 43	Curva de contorno para o tempo de descongelamento das massas.....	111

Lista de Tabelas

Tabela 1	Matriz de planejamento experimental.....	50
Tabela 2	Formulações empregadas no preparo dos bolos.....	53
Tabela 3	Formulações expressas com base em cem partes de farinha.....	53
Tabela 4	Composição química e número de queda da farinha de trigo.....	58
Tabela 5	Alveografia da farinha de trigo.....	60
Tabela 6	Equações de correção dos termopares.....	60
Tabela 7	Valores médios das variáveis respostas medidas nos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	62
Tabela 8	Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua interação nas variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	62
Tabela 9	Valores de F calculado e F tabelado para as variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	64
Tabela 10	Coeficientes de regressão para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	64
Tabela 11	Tabela ANOVA para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	65
Tabela 12	Valores de F calculado e F tabelado para as variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	67
Tabela 13	Coeficientes de regressão para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	67
Tabela 14	Tabela ANOVA para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	68
Tabela 15	Coeficientes de regressão para a textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	70
Tabela 16	Tabela ANOVA para a textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	70

Tabela 17	Valores médios das variáveis respostas medidas nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	72
Tabela 18	Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua interação nas variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	73
Tabela 19	Valores de F calculado e F tabelado para as variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	74
Tabela 20	Coeficientes de regressão para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	75
Tabela 21	Tabela ANOVA para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	75
Tabela 22	Coeficientes de regressão para o escore tecnológico dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	77
Tabela 23	Tabela ANOVA para o escore tecnológico dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas..	77
Tabela 24	Coeficientes de regressão para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	79
Tabela 25	Tabela ANOVA para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas..	79
Tabela 26	Valores de F calculado e F tabelado para as variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	81
Tabela 27	Coeficientes de regressão para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	82
Tabela 28	Tabela ANOVA para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	82
Tabela 29	Valores médios das variáveis respostas medidas nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento..	84

Tabela 30	Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua interação nas variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento.....	85
Tabela 31	Valores de F calculado e F tabelado para as variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento.....	86
Tabela 32	Coeficientes de regressão para o volume específico dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento..	87
Tabela 33	Tabela ANOVA para o volume específico dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento.....	87
Tabela 34	Coeficientes de regressão para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento..	89
Tabela 35	Tabela ANOVA para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento.....	89
Tabela 36	Coeficientes de regressão para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento..	91
Tabela 37	Tabela ANOVA para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento.....	91
Tabela 38	Coeficientes de regressão para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento..	93
Tabela 39	Tabela ANOVA para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento.....	93
Tabela 40	Comparação de médias dos parâmetros de qualidade dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos.....	97
Tabela 41	Valores médios das variáveis respostas medidas no congelamento das massas.....	102
Tabela 42	Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua interação nas variáveis respostas do congelamento das massas.....	103
Tabela 43	Valores de F calculado e F tabelado para as variáveis respostas do congelamento das massas.....	104
Tabela 44	Coeficientes de regressão para a temperatura de congelamento das massas.....	105

Tabela 45	Tabela ANOVA para a temperatura de congelamento das massas.....	105
Tabela 46	Coefficientes de regressão para a taxa de sub-resfriamento das massas.....	107
Tabela 47	Tabela ANOVA para a taxa de sub-resfriamento das massas.....	107
Tabela 48	Valores de F calculado e F tabelado para as variáveis respostas do congelamento das massas.....	109
Tabela 49	Coefficientes de regressão para o tempo de descongelamento das massas.....	110
Tabela 50	Tabela ANOVA para o tempo de descongelamento das massas..	110

Sumário

1	Introdução.....	21
1.1	Hipótese.....	22
1.2	Objetivo.....	22
2	Revisão de literatura.....	23
2.1	Formulação.....	23
2.1.1	Farinha.....	24
2.1.2	Açúcar.....	26
2.1.3	Gordura.....	28
2.1.4	Ovos.....	30
2.1.5	Líquido.....	31
2.2	Fermento químico.....	32
2.2.1	Agentes de crescimento.....	32
2.2.2	Produção de gás carbônico.....	33
2.2.3	Tipos de fermento químico.....	34
2.3	Preparo dos bolos.....	36
2.3.1	Métodos de manipulação.....	37
2.3.2	Forneamento.....	40
2.4	Congelamento.....	42
2.4.1	Aspectos teóricos.....	42
2.4.2	Aspectos práticos.....	44
2.4.3	Armazenamento sob congelamento.....	45

3	Material e métodos.....	48
3.1	Material.....	48
3.1.1	Ingredientes.....	48
3.1.2	Equipamentos.....	48
3.2	Métodos.....	49
3.2.1	Planejamento experimental.....	49
3.2.1.1	Planejamento experimental para avaliação da influência da formulação no congelamento da massa e na qualidade do bolo.....	49
3.2.1.2	Tratamento estatístico dos resultados.....	51
3.2.2	Processamento de amostragem.....	51
3.2.2.1	Caracterização da farinha de trigo.....	51
3.2.2.2	Calibração dos termopares.....	52
3.2.2.3	Testes preliminares.....	52
3.2.2.4	Preparo das massas.....	52
3.2.2.5	Forneamento.....	54
3.2.2.6	Congelamento.....	54
3.2.2.7	Armazenamento sob congelamento.....	55
3.2.2.8	Descongelamento.....	55
3.2.3	Avaliações.....	55
3.2.3.1	Volume específico.....	56
3.2.3.2	Umidade do miolo.....	56
3.2.3.3	Escore tecnológico.....	56
3.2.3.4	Textura do miolo.....	57
3.2.3.5	Características de congelamento.....	57
4	Resultados e discussão.....	58

4.1 Caracterização da farinha de trigo.....	58
4.1.1 Composição química e número de queda.....	58
4.1.2 Consistografia e alveografia.....	59
4.2 Calibração dos termopares.....	60
4.3 Influência da formulação da massa na qualidade do bolo.....	61
4.3.1 Massas não congeladas.....	61
4.3.1.1 Efeito da formulação da massa na qualidade do bolo.....	62
4.3.1.2 Verificação de modelos empíricos lineares que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas.....	63
4.3.1.2.1 Verificação do modelo linear para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	64
4.3.1.3 Verificação de modelos empíricos quadráticos que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas.....	66
4.3.1.3.1 Verificação do modelo quadrático para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	67
4.3.1.3.2 Verificação do modelo quadrático para a textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.....	69
4.3.2 Massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	72
4.3.2.1 Efeito da formulação da massa na qualidade do bolo.....	72
4.3.2.2 Verificação de modelos empíricos lineares que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas.....	74
4.3.2.2.1 Verificação do modelo linear para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	74
4.3.2.2.2 Verificação do modelo linear para o escore tecnológico dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	77
4.3.2.2.3 Verificação do modelo linear para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	79
4.3.2.3 Verificação de modelos empíricos quadráticos que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas.....	81

4.3.2.3.1 Verificação do modelo quadrático para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.....	81
4.3.3 Massas armazenadas sob congelamento.....	84
4.3.3.1 Efeito da formulação da massa na qualidade do bolo.....	84
4.3.3.2 Verificação de modelos empíricos lineares que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas.....	86
4.3.3.2.1 Verificação do modelo linear para o volume específico dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento.....	86
4.3.3.2.2 Verificação do modelo linear para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento.....	89
4.3.3.2.3 Verificação do modelo linear para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento.....	91
4.3.3.2.4 Verificação do modelo linear para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento.....	93
4.3.3.3 Verificação de modelos empíricos quadráticos que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas.....	95
4.3.4 Discussão geral.....	95
4.4 Influência do congelamento e do armazenamento sob congelamento da massa na qualidade do bolo.....	97
4.5 Influência da formulação no congelamento da massa.....	102
4.5.1 Efeito da formulação no congelamento da massa.....	102
4.5.2 Verificação de modelos empíricos lineares que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas.....	104
4.5.2.1 Verificação do modelo linear para a temperatura de congelamento das massas.....	105
4.5.2.2 Verificação do modelo linear para a taxa de sub-resfriamento das massas.....	107
4.5.3 Verificação de modelos empíricos quadráticos que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas.....	109
4.5.3.1 Verificação do modelo quadrático para o tempo de descongelamento das massas.....	109

5 Conclusões.....	113
Referências.....	115
Apêndices.....	120

1 Introdução

A crescente expansão do setor de massas congeladas e o sistema de distribuição através de pontos de venda, chamados de “pontos quentes”, têm estimulado a demanda de consumo de pão quente e outros produtos de panificação forneados na hora.

As massas congeladas possuem uma série de vantagens como, por exemplo, o fato de não necessitarem de conservantes e de possibilitarem o consumo de produtos frescos (recém forneados). O crescimento do sistema centralizado de produtos de panificação gera uma necessidade de desenvolvimento de uma gama maior de produtos para garantir sua viabilização. Complementarmente, a tecnologia atualmente utilizada no congelamento de massas de pão e a infraestrutura existente nesse setor podem ser utilizadas para outros tipos de massas.

Uma situação de especial interesse no setor de massas congeladas é encontrada nos produtos com altos teores de açúcar e gordura (“massas ricas”), como bolos. O fator limitante do processo de congelamento de “massas ricas” é o abaixamento da temperatura de congelamento (efeito criométrico), resultando em alto custo dos equipamentos e fragilidade logística do produto congelado, em função do seu rápido descongelamento.

A possibilidade de se reduzir o efeito criométrico mediante alterações na formulação das massas é limitada pelo efeito que essas alterações invariavelmente causam na qualidade do produto final. Portanto, torna-se necessário encontrar um ponto de equilíbrio entre os dois efeitos, o que só pode ser conseguido conhecendo-os adequadamente.

1.1 Hipótese

Os teores de açúcar e gordura das massas de bolo influenciam o congelamento das massas e a qualidade dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas, congeladas e imediatamente descongeladas, e armazenadas sob congelamento.

1.2 Objetivo

Avaliar a influência dos teores de açúcar e gordura no congelamento das massas e na qualidade dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas, congeladas e imediatamente descongeladas, e armazenadas sob congelamento.

2 Revisão de literatura

2.1 Formulação

Os bolos são divididos, geralmente, em dois grupos, de acordo com seus ingredientes básicos. Os do primeiro grupo compreendem os bolos de “anjo” e “esponja”, que não contêm gordura e fermento químico. As formulações para os bolos do segundo grupo incluem, geralmente, além de gordura, fermento químico ou bicarbonato de sódio. Os bolos com gordura são, às vezes, chamados de bolo “amarelo”, “branco” ou “ouro”, dependendo do uso de ovos inteiros, claras ou gemas no seu preparo. A maior parte das pesquisas tem sido feitas com bolos contendo ovos inteiros, porém seus resultados também se aplicam aos outros dois tipos de bolos (GRISWOLD, 1972).

O sucesso no preparo de bolos depende tanto da formulação como do método de manipulação usado. A proporção dos ingredientes é estudada facilmente se a massa de cada ingrediente for expressa em porcentagem da massa de farinha. Às vezes, a mudança do nível de um dos ingredientes deve ser balanceada, ajustando-se o nível de um ou mais ingredientes. As regras para o balanceamento entre ingredientes bem como algumas formulações comerciais para bolos estão disponíveis na literatura (MATZ, 1992). A quantidade preparada de cada vez pode também influir no produto de um modo ainda não totalmente explicado. Por exemplo, uma formulação que é bem sucedida em pequena quantidade pode falhar quando executada em quantidades maiores.

2.1.1 Farinha

Para bolos, a farinha de baixo conteúdo protéico é a preferida. Um branqueamento bastante intenso, que abaixa o pH da farinha, melhora sua qualidade para o preparo de bolo. Um estudo (WHITAKER; BARRINGER, 2004) comparou volumes de bolos preparados com farinha tratada com cloro (pH 4,8) e não tratada (pH 6,0). O tratamento com cloro aumentou em 53,9% a taxa de mudança de volume durante o forneamento.

Uma granulação fina é também importante, como foi indicado por uma pesquisa na qual a farinha para bolo foi fracionada em grupos de acordo com três tamanhos de partículas. A fração da farinha de partículas menores, que também provou ser a mais pobre em proteínas, produziu os melhores bolos (SHELLENBERGER; WICHSER; LAKAMP, 1950).

Apesar de poder se preparar bolos satisfatórios com farinha para todos os fins, os preparados com farinha para bolo tendem a ser maiores, mais macios e de textura mais uniforme. Os bolos preparados com farinha específica para bolo são, também, mais compressíveis e têm um maior poder de absorver umidade do que os preparados com farinha para todos os fins (DAVIS; HALLIDAY, 1939). Caso se substitua a farinha para bolo por farinha de uso geral, será necessária a redução do volume desta última, por ter maior massa específica.

Tem-se admitido que o amido da farinha de trigo merece maior importância na relação com o potencial de panificação do que simplesmente agindo como um “excipiente”, como se pensava anteriormente. A literatura relativa ao papel do amido na panificação foi amplamente revisada e resumida pelas seguintes funções: 1) diluir o glúten para uma consistência desejável; 2) prover uma superfície ao glúten para formar a parede das células de gás; 3) tornar-se flexível por gelatinização durante o forneamento, contribuindo assim para o filme das células de gás; e 4) absorver muita água após a gelatinização, o que leva o filme das paredes das células a fixar e se tornar rígido (PARK; CHUNG; SEIB, 2005).

A avaliação reológica da farinha é de vital importância para a indústria de panificação, ajudando a predizer as características de processamento da massa e a qualidade dos produtos finais. A reologia também desempenha importante papel no controle de qualidade e na especificação de ingredientes dos produtos elaborados (RAO; RAO, 1993). As análises reológicas se baseiam em métodos que estudam o

comportamento das massas frente a um trabalho mecânico. Entre as determinações disponíveis para avaliar as propriedades da massa e definir o uso final da farinha de trigo na panificação, incluem-se as de características de mistura (farinografia e mixografia), características de extensão (extensografia, alveografia e consistografia), viscosidade (número de queda, viscoamilografia) e de produção ou retenção de gás (reofermentometria e maturografia).

O consistógrafo é um equipamento de aparição recente no mercado. Ele registra a pressão que a massa exerce ao entrar em contato com um sensor, em cada volta do braço amassador. A pressão que se quer alcançar é de 2200 milibares. Realiza-se um ensaio prévio (consistograma à hidratação constante) que determinará a quantidade de água a ser adicionada à massa para que em um segundo ensaio (consistograma à hidratação adaptada) se alcance os 2200mb de pressão máxima (QUIRCE et al., 2002).

O alveógrafo, inventado por Chopin em 1935, permite determinar as características mecânicas das massas, e é essencial para conhecer o comportamento das farinhas em cada uma das etapas do processo em que vão ser utilizadas. O ensaio consiste na preparação de uma massa (à hidratação constante) de farinha de trigo e cloreto de sódio sob condições específicas. Com ela são preparadas cinco porções de massa, de uma espessura determinada. Após um período de repouso, os pedaços de massa são inflados, fazendo uma bolha até que se rompa, de maneira que a massa se submete a uma extensão biaxial. A variação de pressão dentro dessa bolha é registrada em um gráfico, que é a média das cinco curvas obtidas ao inflar os cinco pedaços de massa (QUIRCE et al., 2002).

Os parâmetros obtidos nos alveogramas são: resistência à extensão ou tenacidade (P), que é determinada pela medida da sobrepressão máxima exercida na expansão da massa (expressa em mm de coluna d'água); extensibilidade (L), que é determinada pela medida do comprimento da curva (mm); o quociente P/L, que é a relação entre tenacidade e extensibilidade; e a energia de deformação da massa (W), que corresponde ao trabalho mecânico necessário para expandir a bolha até a ruptura (expressa em 10^{-4} joules). A interpretação da curva alveográfica é muito importante para predizer o comportamento das massas (QUIRCE et al., 2002).

A atividade de α -amilase é medida através da análise do número de queda, que é realizada no equipamento chamado Falling Number. O método se baseia na gelatinização rápida de uma suspensão aquosa de farinha, seguida da degradação

do amido da amostra pela α -amilase, ocasionando uma perda de viscosidade; essa perda é avaliada pelo tempo de queda de uma haste metálica no interior do gel, que pode ser relacionado à atividade da enzima. O grau de α -amilase, que está relacionado com a germinação, varia bastante, dependendo das condições de colheita e armazenagem do trigo (CALAVERAS, 1996).

2.1.2 Açúcar

As formulações de bolo contendo gordura hidrogenada são freqüentemente divididas em dois grupos: aquelas onde a massa de açúcar é menor e outras onde tal massa é maior do que a de farinha. Nas formulações tradicionais para bolos contendo um nível baixo ou médio de ovos, manipuladas pelo método convencional, a massa de açúcar raramente excede 100% da massa de farinha. Nas formulações comerciais, porém, níveis mais elevados de açúcar são usados (GRISWOLD, 1972).

O papel do açúcar se estende muito além de prover energia e doçura. Ele atua como um amaciante, retardando e restringindo a formação do glúten, aumentando as temperaturas de desnaturação da proteína do ovo e de gelatinização do amido, e contribuindo para o tamanho e volume. Por isso, a redução dos níveis de sacarose em um sistema de bolo afeta as propriedades estruturais e sensoriais (RONDA et al., 2005).

A popularidade das formulações que contêm níveis elevados de açúcar se baseia na qualidade macia e úmida dos bolos. Num experimento (GOUMOIS; HANNING, 1953), formulações que eram idênticas exceto para o nível de açúcar foram usadas. O acréscimo de 15% de açúcar à formulação básica, que já continha 100%, não melhorou as qualidades gerais do bolo; porém o acréscimo de mais 30% tornou a massa mais viscosa e os bolos maiores, mais macios e de textura mais sedosa. As notas para sabor foram semelhantes para os três níveis de açúcar.

Em outro experimento (HUNTER; BRIANT; PERSONIUS, 1950) os níveis de líquido, ovo e gordura foram aumentados bem como o do açúcar (de 100% para 140%). Como no experimento anterior, os bolos preparados com os níveis mais elevados de açúcar eram mais macios, úmidos e sedosos do que os preparados com 100%. Embora os degustadores parecessem preferir o sabor dos bolos com pouco açúcar, o total de suas notas favoreceu os bolos com muito açúcar. Os bolos com nível elevado de açúcar apresentaram tendência a encolher durante o

forneamento, proporcionando o aparecimento de uma camada compacta na parte inferior do bolo, pelo colapso de células. Os bolos com pouca quantidade de açúcar tinham contorno mais arredondado do que os com níveis mais elevados. As notas superiores dadas aos bolos com muito açúcar foram devidas a fatores diversos.

Em algumas formulações, é possível fazer um aumento moderado do açúcar sem outras mudanças. Frequentemente, porém, a elevação do nível de açúcar é acompanhada do aumento de líquido total, ovos e gordura, como pode ser observado em duas séries de receitas para bolo, balanceadas, contendo várias proporções de açúcar (HUNTER; BRIANT; PERSONIUS, 1950; PYKE; JOHNSON, 1940). Uma razão para o aumento de líquido, e que inclui a água presente nos ovos, é a de dissolver o açúcar acrescentado à massa. Outra é que, se o nível de açúcar for muito elevado em relação ao de líquido, as proteínas do glúten e do ovo não se coagularão e o amido não se enrijecerá apropriadamente, à medida que o bolo for sendo assado. A elevação do nível dos ovos usados, à medida que o açúcar se eleva, contribui para a necessária estrutura do bolo.

Níveis mais elevados de gordura ajudam a manter bom o volume dos bolos ricos em açúcar, talvez devido à importante função da gordura na massa, na formação das células de ar (PYKE; JOHNSON, 1940). Bolos contendo uma grande proporção de açúcar requerem mais batimento do que aqueles contendo menos açúcar. Um bolo rico em açúcar perde em altura se batido menos do que a quantidade necessária. Essa conclusão, e a maior maciez de tais bolos, podem ser devidas ao efeito do açúcar sobre a formação do glúten.

Quando farinha, água e quantidades variáveis de açúcar foram misturadas através de batedeira elétrica, o tempo necessário para formar uma massa dura aumentou à medida que o nível do açúcar se elevou até que sua concentração alcançou 60% ou mais, sendo que em tal nível não se formou massa dura num tempo designado (BAXTER; HESTER, 1958). Menos glúten poderia ser recuperado das massas contendo níveis mais elevados de açúcar. Os autores sugeriram que a interferência do açúcar no desenvolvimento do glúten poderia ter sido devida à ação competitiva de ambos pela água na massa. Parece possível, segundo esse experimento e o conhecimento geral acerca do comportamento do glúten, que concentrações elevadas de açúcar possam contribuir para a maciez, mas interferindo no desenvolvimento do glúten, daí a necessidade de um batimento

extraordinário para esse desenvolvimento, a fim de se evitar o colapso da massa durante o período de assar.

A granulação do açúcar é importante para a qualidade do bolo. Verificou-se que seu volume melhora, com regularidade, à medida que a granulação do açúcar se torna mais fina (DUNN; WHITE, 1937). Assim, o açúcar com cristais especialmente finos pode ser melhor, para o preparo de bolos, do que o granulado comum. O açúcar em pó, ou de confeito, não é recomendado para esse objetivo, porque sua estrutura cristalina foi rompida pela moagem.

2.1.3 Gordura

Como poderia se esperar, pelo importante papel desempenhado pela gordura na estrutura da massa do bolo, a qualidade deste é afetada pela quantidade e pelo tipo de gordura usado. Um aumento do nível de gordura de 20% para 40% numa formulação contendo 100% de açúcar, sem nenhuma outra mudança, melhorou a qualidade dos bolos preparados pelo método rápido (HANNING; GOUMOIS, 1952). Os níveis elevados de gordura melhoraram a maciez e o sabor, produzindo uma granulação mais fina e mais uniforme, além de uma textura mais úmida e sedosa. Provavelmente, pela propriedade de a gordura prender ar, a viscosidade das massas aumentou com a elevação do nível de gordura. Quantidades excessivas desta tendem a produzir um bolo pequeno e gorduroso.

Um estudo (ZAMBRANO et al., 2004) visando à substituição da gordura por gomas guar e xantana, em níveis de 25, 50, 75 e 100%, mostrou que o escore para as características internas decaiu com o aumento no nível de substituição, resultando na formação de túneis com células desiguais, granulosidade áspera e um miolo seco, exceto para os bolos com 100% de substituição, que apresentaram células completamente fechadas, produzindo um bolo altamente compactado. Níveis superiores a 75% de substituição reduziram consideravelmente a maciez dos bolos.

Uma distribuição uniforme de tamanhos das bolhas de ar minimiza a coalescência das bolhas controlada pela difusão, e uma massa compacta reduz as correntes de convecção durante o aquecimento no forno. A distribuição uniforme das bolhas no interior da massa de bolo é uma função da gordura, enquanto que uma massa compacta é acentuada pela presença de agregados gordura/cristal, favorecida pela sacarose (HICSASMAZ et al., 2003).

Os efeitos de diferentes tipos de gordura têm sido largamente estudados por sua importante influência na qualidade do bolo. Antes do amplo uso das gorduras hidrogenadas, a manteiga e a banha eram, provavelmente, as únicas gorduras usadas no preparo de bolos. Porém, por questão de conveniência, as gorduras hidrogenadas, a margarina e os óleos vegetais ganharam grande aceitação (GRISWOLD, 1972).

A maior parte das gorduras hidrogenadas vendida para uso doméstico e industrial contém monoglicerídeos. Essas gorduras são, às vezes, chamadas gorduras superglicerizadas, emulsificadoras ou gorduras do tipo emulsificante. Os dois últimos termos se referem à propriedade de os monoglicerídeos ajudarem na distribuição da gordura e dos ingredientes nela solúveis por todo o produto, em partículas pequenas. Sua ação emulsificante é devida à presença, em suas moléculas, de um grupo solúvel na gordura – o ácido graxo – e de um grupo solúvel na água – o glicerol. Os monoglicerídeos mais eficazes são aqueles onde o ácido graxo é insaturado e com o qual não existem diglicerídeos misturados (KUHRT; WELCH, 1950). Os diglicerídeos são derivados do processo de fabricação.

A adição de monoglicerídeos à massa do bolo torna os aglomerados de gordura e as células de ar nela contidos menores e mais numerosos (CARLIN, 1944). Esse acréscimo torna também a massa menos viscosa e menos sujeita à coagulação. Embora o peso específico da massa aumente pela adição de monoglicerídeos, indicando uma diminuição da quantidade total de gás nela presente, o volume do bolo cresce. Evidentemente, apesar de menor quantidade de ar presente na massa, este é usado com mais vantagens do que na ausência de um emulsificador.

Foi mencionado o fato de o gás carbônico liberado pelo fermento em pó dirigir-se para as células de ar já existentes em vez de formar novas células e, quando numerosas células pequenas de ar estão presentes, o gás de fermentação pode difundir-se nessas células sem as tornar muito grandes; porém, quando o número das células de ar é pequeno, como em alguns bolos preparados com gordura não-emulsificada, o mesmo volume de gás carbônico aumenta tanto o tamanho das células de ar que elas se elevam para o topo da massa durante o forneamento. O resultado é um bolo de volume pequeno com uma camada pesada no fundo e uma granulação aberta no topo (HANDLEMAN; CONN; LYONS, 1961).

Foi também sugerido que o acréscimo de um emulsificador pode tornar as superfícies das bolhas de ar mais elásticas e, desta, forma, capazes de melhor reterem o gás durante os últimos estágios do processo de assar. Evidentemente, o efeito estabilizador do emulsificador sobre a gordura e a distribuição do ar é mais eficiente quando as proteínas coagulam no princípio do processo de assar. Essa teoria é sustentada pelos volumes de bolos contendo emulsificador, que aumentaram a cada elevação na temperatura de assar (entre 149°C e 218°C), enquanto que, quando nenhum emulsificador foi acrescentado, os volumes mantiveram-se aproximadamente os mesmos, apesar das temperaturas (JOOSTE; MACKEY, 1952). Se o nível de monoglicerídeos for aumentado além do nível ótimo, a dispersão da gordura na massa será muito fina, diminuindo o volume do bolo.

Não obstante serem menos macios quando um emulsificador é usado, seu volume superior e sua estrutura celular tornam sua aceitabilidade mais elevada, de um modo geral, do que os preparados sem monoglicerídeos (JOOSTE; MACKEY, 1952). Os efeitos benéficos dos monoglicerídeos no preparo de bolos explicam seu uso generalizado nas gorduras hidrogenadas destinadas a esse fim.

Dois outros métodos usados no processamento das gorduras são, também, benéficos para os bolos. Depois da hidrogenação, a gordura é batida à medida que se resfria, passando da forma líquida para a plástica a fim de melhorar sua textura. Cerca de 10% de gás por volume dispersam-se através dela em bolhas finas. Ambos os processos auxiliam na produção de bolos de boa qualidade, porém a omissão de qualquer um destes procedimentos pode ser compensada pelo maior batimento da massa (THOMPSON; GANNON, 1956).

2.1.4 Ovos

Ao contrário de ingredientes como o açúcar e a gordura, os ovos têm efeitos endurecedores nos bolos (GÉLINAS; ROY; GUILLET, 1999).

Os efeitos importantes dos ovos sobre a qualidade do bolo podem ser apreciados comparando-se bolos com gordura, contendo baixas e elevadas quantidades de ovos. Numa série de bolos experimentais (PYKE; JOHNSON, 1940), o nível de ovos inteiros foi aumentado sem qualquer outra mudança na fórmula. Inicialmente, os bolos tornaram-se mais duros e o volume aumentou para em seguida diminuir. Contudo, quando o conteúdo líquido da massa foi conservado

constante, por sua redução de acordo com o conteúdo úmido de ovos acrescentados, o volume dos bolos continuou a crescer com a quantidade de ovos acima da escala estudada. Nas formulações práticas de bolos, o efeito endurecedor do ovo é superado, aumentando-se o conteúdo de gordura e açúcar da formulação. Quando tais ajustes são feitos, as formulações ricas em ovos produzem, geralmente, bolos mais delicados e de melhor sabor do que as pobres deles.

Os ovos influem na estrutura dos bolos, devido às suas funções de coagulação, emulsificação e formação de espuma. Através da coagulação, tomam parte na estrutura do bolo pronto. A função de emulsificação, especialmente da gema, é sem dúvida importante. A espuma resulta na incorporação do ar. Por esse motivo, torna possível uma diminuição do fermento com o aumento da quantidade de ovo e a produção de bolos de boa qualidade com gorduras, tais como óleo e banha, que não se tornaram bem cremosas (GRISWOLD, 1972).

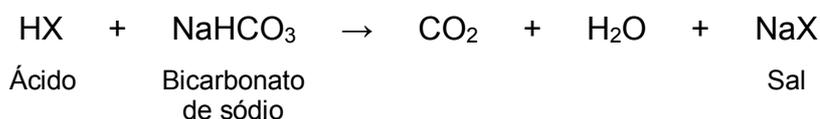
2.1.5 Líquido

É importante, naturalmente, usar-se a quantidade correta de líquido nos bolos com gordura por causa de suas múltiplas funções, que incluem a gelatinização do amido e o desenvolvimento do glúten. O emprego de muito pouco líquido, assim como o excesso de farinha, resulta uma massa muito dura. O inverso é verdadeiro com o emprego de muito líquido ou de farinha insuficiente. O leite in natura integral é, provavelmente, o líquido mais freqüentemente usado para bolos, porém outras formas de leite podem também ser usadas. Os panificadores, especialmente, usam o leite em pó desnatado. Têm sido feitas tentativas para o emprego de soro do leite coalhado desidratado, por causa de seu alto valor nutritivo e de sua fácil disponibilidade como subproduto da indústria de queijo (GRISWOLD, 1972).

A quantidade de líquido também afeta a viscosidade da massa. A viscosidade da massa de bolo é um fator controlador no volume final do bolo, devido a seus efeitos na incorporação e movimento das bolhas. A taxa pela qual as bolhas ascendem é inversamente proporcional à viscosidade. Assim, a perda no volume do bolo pode acontecer como um resultado da rápida ascensão das bolhas em uma massa de baixa viscosidade. Altas viscosidades na massa de bolo auxiliam na incorporação de mais bolhas de ar e protegem as bolhas da ascensão para a superfície, o que provê maior estabilidade para o bolo (LEE; KIM; INGLET, 2005).

2.2 Fermento químico

A fermentação química é, quase universalmente, produzida pelo dióxido de carbono resultante da reação do bicarbonato de sódio com um ácido. A reação, onde 'X' é um ânion qualquer, é a seguinte:



O ácido que produz essa reação pode estar presente no próprio alimento ou no fermento em pó (GRISWOLD, 1972).

2.2.1 Agentes de crescimento

As massas, duras e moles, crescem a poder de vapor de água, dióxido de carbono e ar, ou por uma mistura desses três gases. O vapor é formado da água no assar as massas moles e duras. O ar é importante nos alimentos que contêm claras batidas, porém é também incorporado de outras maneiras, como no bater a gordura. O dióxido de carbono forma-se nos alimentos pela reação química que ocorre entre o bicarbonato de sódio e um ácido ou pela ação biológica de microrganismos. Esses três gases raramente, ou talvez nunca, atuam sozinhos. Nos produtos levedados pelo dióxido de carbono, seja este formado por ação química ou biológica, todos os três gases estão presentes, porque o vapor é formado da água, durante o forneamento, e algum ar está sempre contido nas massas duras ou moles. Contudo, a importante função que o dióxido de carbono desempenha no crescimento de alguns desses produtos pode ser demonstrada facilmente omitindo-se o fermento químico ou a levedura (GRISWOLD, 1972).

Um estudo (HOOD; LOWE, 1948) demonstrou o papel dos três agentes de crescimento nos bolos preparados pelo método convencional modificado. Neste método, a gordura e parte do açúcar foram batidas juntas até adquirirem um aspecto cremoso; a farinha e o leite foram, depois, acrescentados, alternadamente; um merengue, preparado com ovos inteiros batidos com o restante do açúcar, foi incorporado. Bolos fermentados pelo dióxido de carbono, vapor de água e ar foram preparados no modo usual de uma receita que incluía fermento químico em pó. Massa de bolo, preparada sem o fermento, foi utilizada para bolos fermentados pelo

vapor de água e ar. Bolos fermentados somente pelo vapor d'água foram produzidos retirando-se o ar dessa massa com uma bomba a vácuo. O maior aumento do volume do bolo foi produzido pelo dióxido de carbono, seguindo-se o do vapor de água. O ar foi responsável somente por uma pequena proporção do aumento total do volume, porém foi importante porque a eficiência do vapor de água como agente de crescimento depende da pressão e distribuição do ar na massa.

A distribuição do ar é, também, importante para a levedação pelo dióxido de carbono, como foi demonstrado num outro estudo (CARLIN, 1944), onde o dióxido de carbono não formou novas células de gás, mas expandiu as bolhas de ar formadas quando a gordura e o açúcar foram batidos juntos no preparo do bolo.

2.2.2 Produção de gás carbônico

O agente de fermentação é produzido misturando-se um material de reação ácida e bicarbonato de sódio, com ou sem adição de amido ou farinha. Deve liberar, no mínimo, 12% de gás carbônico utilizável. Os ingredientes de reação ácida no fermento químico são: 1) ácido tartárico ou seus sais ácidos; 2) sais ácidos do ácido fosfórico; 3) compostos de alumínio; ou 4) qualquer combinação em proporções substanciais dos ingredientes mencionados (BAILEY, 1940). A fim de prevenir alguma deterioração durante o armazenamento, grande parte dos fermentos em pó, vendidos para uso caseiro produzem 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.

As diferenças entre os fermentos químicos não estão na produção de gás carbônico disponível, mas na velocidade pela qual esse gás é liberado durante a manipulação e cocção ao forno. Um estudo (NOBLE; HALLIDAY, 1931) mostra que de 70% a 80% do gás carbônico produzido no preparo de massas moles é perdido das mesmas. Maior quantidade de gás é produzida, bem como perdida da massa, quando o fermento reage mais rapidamente do que quando a reação é lenta.

2.2.3 Tipos de fermento químico

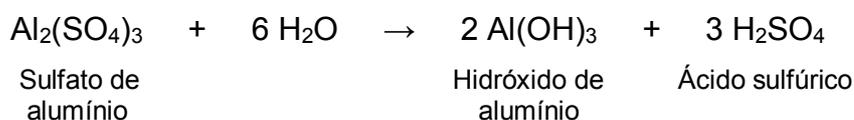
Os fermentos químicos se assemelham entre si, porque todos têm bicarbonato de sódio e um diluente. Diferem, porém, nos seus constituintes ácidos. A função do diluente é separar e revestir as partículas de bicarbonato e ácido, que poderiam, de outra forma, reagir entre si, bem como conservar seco o material e padronizar a mistura. Se somente soda e ácido estivessem presentes, o material não se conservaria bem e a produção de gás carbônico seria muito grande e diferente para os vários tipos de fermento, dificultando o emprego dos mesmos nas formulações. O diluente, na maior parte dos fermentos químicos, é o amido de milho; no entanto alguns contêm carbonato de cálcio precipitado (CaCO_3). Este sal não fornece gás carbônico, porque é quimicamente inerte na manipulação e forneamento. Os ingredientes de reação ácida, usados nos fermentos químicos, fornecem íons-hidrogênio quando são misturados com água, possibilitando aos fermentos liberarem gás carbônico do bicarbonato de sódio. Um deles, o ácido tartárico, é um ácido orgânico, porém muitos deles são sais metálicos de ácidos neutralizados parcialmente. O sulfato de sódio e alumínio não contém íons-hidrogênio na molécula, porém reage com água, originando-os (GRISWOLD, 1972).

Os fermentos de tartaratos contêm cremor de tártaro e ácido tartárico. Representam somente uma pequena porção do fermento químico 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 (GRISWOLD, 1972).

O fosfato monocálcico monoidratado, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 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 o fosfato de cálcio, a hidroxiapatita ($\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$), em geral chamada, erroneamente, fosfato tricálcico, bem como os sais de sódio solúveis, como fosfato monossódico, NaH_2PO_4 , e fosfato dissódico, Na_2HPO_4 (VAN WAZER; ARVAN, 1954). Além disso, existem reações complicadas envolvendo permuta do íon do fermento com outros ingredientes como o leite e a farinha. A forma anidra do fosfato monocálcico não contém água de cristalização e é envolvida ou tratada com calor para baixar sua velocidade de dissolução. A reação deste sal é muito mais vagarosa do que a do monoidrato, porque é necessário algum tempo para a água penetrar no

envoltório do sal anidro, retardando assim a liberação dos íons-hidrogênio. Com toda probabilidade, os produtos da reação são os mesmos para as duas formas de fosfato monocálcico. As massas contendo sais de fosfato monocálcico anidro crescem pouco durante a manipulação, porque pouco gás carbônico é liberado, mas crescem rapidamente no início do período de assar.

O sulfato de sódio e alumínio, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, é outro sal que reage lentamente com o bicarbonato de sódio para a 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, porém rapidamente quando é aplicado calor. O ácido sulfúrico libera, então, gás carbônico do bicarbonato de sódio. O sulfato de alumínio e sódio não é usado sozinho, porém é combinado nos fermentos químicos com fosfato monocálcico monoidratado, que são denominados fermentos de fosfato-SSA, fermentos de sulfato e fosfato, fermentos combinados ou de ação dupla (BARACKMAN, 1954). No referido fermento, há, provavelmente, alguma interação entre os dois constituintes ácidos para formar produtos de reação complexa.

Os fermentos químicos diferem na velocidade com que liberam o gás carbônico. Para alguns objetivos, os fermentos de fosfato e tartarato são chamados de “ação rápida” e os fermentos de fosfato-SSA, de “ação lenta”. É importante que o gás carbônico seja liberado antes que uma crosta seja formada durante o assar, visto que uma liberação muito vagarosa de gás formará rachaduras na crosta do produto. As massas, moles e duras, são macias e facilmente estiradas quando recém colocadas no forno, porém se tornam firmes à medida que o amido se gelatiniza e a proteína se desnatura. Nesse estágio, que é alcançado quando a temperatura interna da massa mole ou dura é de mais ou menos 85°C e o período de assar é de cerca de metade do período total, forma-se uma crosta (BARACKMAN, 1954). É necessário que o produto alcance o máximo volume antes que ocorra a gelatinização e que qualquer liberação adicional de gás carbônico ou vapor seja suficiente, meramente, para manter a estrutura durante o restante do período de forneamento. Se ocorrer muito crescimento, depois que a crosta foi

formada, como acontece quando se usa fermento de ação lenta ou uma temperatura de forno muito elevada, aparecerá rachaduras. Temperaturas baixas do forno são, às vezes, mais recomendadas para os fermentos de ação lenta do que para os fermentos de ação rápida, para que seja alcançado o volume máximo, antes da gelatinização. Com os fermentos de ação rápida há menos perigo de rachaduras durante o forneamento.

É importante comparar-se os vários tipos de fermento químico somente quando cada um for usado no seu nível apropriado, porque a qualidade diminuirá quando houver exageros para mais ou para menos no uso de qualquer fermento. Com muito pouco fermento o bolo é compacto e com granulação fina, porque não existe gás carbônico disponível para expandir as células até um volume apropriado. Por outro lado, com excesso de fermento, as paredes celulares são estiradas além de seus limites pelo gás carbônico produzido e acabam por se romperem. A expansão em excesso e o colapso das células resultam em uma estrutura aberta com células grandes, logo abaixo da crosta, e uma estrutura celular compacta próxima à base do bolo, quando um excesso não tão grande de fermento for usado. Com grande excesso de fermento o bolo perde volume (baixa). Em qualquer dos casos, o miolo do bolo é de granulação grossa, friável e áspera (GRISWOLD, 1972).

O melhor paladar é comumente obtido com quantidades de fermento mais baixas do que as que resultariam num volume máximo. Dados de um estudo (HUNTER; BRIANT; PERSONIUS, 1950), sobre efeitos na qualidade do bolo de três níveis de fermento de fosfato-SSA, mostram que apesar de o volume dos bolos ter aumentado com o aumento do nível de fermento, as notas para palatabilidade foram maiores para 4% de fermento – o menor dos três níveis usados. Este fato se torna especialmente evidente com as notas para caracterizar o miolo e maciez dos bolos.

2.3 Preparo dos bolos

Muito poucos são os alimentos para os quais o método de combinar os ingredientes seja tão importante para seu sucesso como os bolos, para os quais pequenos desvios no método recomendado podem conduzir a falhas desastrosas (GRISWOLD, 1972).

2.3.1 Métodos de manipulação

O método “convencional” ou uma de suas modificações constituem métodos consolidados pelo tempo e de sucesso para manipular bolos. Quando a manipulação é feita à mão, bate-se até creme a gordura plástica e se acrescenta o açúcar, gradualmente, continuando-se a bater. Para bolos com ovos inteiros, juntam-se os ovos ou as gemas a tal mistura. Com batedeira elétrica, a gordura e o açúcar, com ou sem ovos, podem ser batidos de uma só vez. Acrescenta-se a seguir a farinha peneirada com o fermento em pó e o sal, alternadamente com o leite. Se os ovos forem separados, em gemas e claras, ou bolo branco estiver sendo feito, as claras batidas serão incorporadas à massa com movimentos de dobrar a massa após a adição dos outros ingredientes (HALLIDAY; NOBLE, 1946). Numa modificação, chamada de método “merengue-convencional”, as claras são batidas com cerca da metade do açúcar antes de incorporá-las à massa. Em outra modificação, chamada método “esponja-convencional”, cerca de metade do açúcar é acrescentado aos ovos inteiros, batendo-os até que a mistura se torne espumosa e espessa e, então, dobrada na massa depois que todos os outros ingredientes lhe forem adicionados. Os dois métodos modificados são comprovadamente satisfatórios, especialmente para gorduras macias. Facilitam a transformação da gordura em creme, especialmente se sua quantidade for pequena, porque menor quantidade de açúcar é acrescentada à gordura; além disso, incorporam, no final da manipulação, ar adicional na forma de merengue ou esponja.

No método do “regalo”, ovos, leite e gordura derretida são combinados e acrescentados aos ingredientes secos, batendo-se tudo até formar uma massa lisa. Embora os bolos preparados pelo método do regalo sejam aceitáveis, especialmente quando quentes, são comumente inferiores na palatabilidade e conservação aos bolos preparados pelo método convencional. Em uma modificação do método do regalo, as claras batidas com ou sem parte do açúcar são adicionadas após a combinação dos outros ingredientes. Quando o açúcar é batido com as claras, essa modificação chama-se método “merengue-regalo” (GRISWOLD, 1972).

Um método simplificado, especialmente adaptado para as batedeiras elétricas, tem sido usado pelos panificadores já há algum tempo e, mais recentemente, pelas donas de casa. Nesse método, combinam-se todos os ingredientes, incluindo-se a gordura plástica à temperatura ambiente em uma ou

duas fases. Se uma segunda fase for usada, parte do líquido e comumente os ovos serão adicionados depois de parte do batimento. O fermento químico pode ser acrescentado nessa etapa em lugar de ser misturado aos ingredientes secos. Por uma questão de conveniência, esse método é chamado de método de “uma tigela”. É também chamado de: “mistura rápida”, “mistura de panificadora”, de “panificador-modificado”, de “fase única”, de “mistura única”, de “quatro minutos”, de “nova velocidade”, de “mistura fácil” e por vários nomes comerciais. O grande emprego desse método nas formulações comerciais indica sua aceitação geral. Tais formulações contêm, geralmente, proporções mais elevadas de açúcar e líquido do que as receitas em que o método convencional é usado. Em algumas condições, verificou-se que o acréscimo do líquido em duas fases levou à menor tendência de coagulação da massa, além de produzir bolo superior ao em que o líquido foi adicionado de uma só vez (PYKE; JOHNSON, 1940). O método de uma tigela quando executado numa só fase é igual ao método do regalo, exceto pelo fato de se usar gordura derretida para o último.

Uma modificação do método rápido, sugerido para panificadores, pode ser também de utilidade para as donas de casa. Nesse método, dissolve-se o açúcar em parte do líquido; em seguida, a gordura, farinha e fermento em pó são acrescentados, misturando-se bem. Junta-se, então, o líquido restante e os ovos. Esse procedimento, que pode ser chamado método de “dissolução” ou de “solução”, produziu massas bem emulsificadas, bem arejadas, que necessitaram de menos fermento do que as preparadas sem dissolução do açúcar (STATELER, 1950).

Em outro grupo de métodos, a gordura e a farinha são combinadas antes do acréscimo dos outros ingredientes. No método de “mistura para pastelaria”, também chamado de “massa mole-dura” ou da “mistura”, a gordura e a farinha são, primeiro, batidas juntas. As fases seguintes parecem-se com as do método rápido: uma mistura de açúcar, fermento em pó e metade de leite é acrescentada, seguida pelo ovo e o leite restante (HUNTER; BRIANT; PERSONIUS, 1950). O fermento em pó pode, também, ser peneirado com a farinha. O método da “massa rala-farinha” é semelhante, com a diferença de que o ovo e o açúcar são batidos juntos para formarem um merengue que é acrescentado, com o leite, à mistura de gordura, farinha e fermento em pó.

Com tantos métodos de manipulação à escolha, torna-se necessária uma comparação cuidadosa de suas vantagens. Uma comparação entre os métodos

convencional e rápido foi feita com duas fórmulas em que a massa de açúcar era menor do que a de farinha. Quando esse experimento foi executado em dez laboratórios, os melhores bolos foram os preparados pelo método rápido e não pelo método convencional (BAILEY, 1931).

Num estudo feito na Universidade de Cornell (HUNTER; BRIANT; PERSONIUS, 1950), os métodos rápido (ou de uma tigela), convencional e de mistura para pastelaria foram comparados, usando-se fórmulas contendo três níveis de açúcar (100%, 125% e 140% do peso da farinha). As receitas foram equilibradas, usando-se maior quantidade de gordura, ovo e leite para os níveis mais elevados de açúcar. Os autores se reportam ao fato de que, apesar de os três métodos de manipulação não terem produzido diferenças acentuadas na palatabilidade, o método da mistura para pastelaria parece se adaptar melhor a uma série mais ampla de condições, tais como fórmula, tipo de gordura, temperatura, do que os outros métodos pesquisados. Em contraste, bolos de boa qualidade foram produzidos pelo método rápido somente com as receitas de quantidade de açúcar média e elevada. Contrariando afirmativas freqüentes, os estudos citados indicam que os métodos mais novos, o rápido e o de mistura de pastelaria, comparam-se muito favoravelmente com o convencional, podendo mesmo ser superiores a este.

Recomenda-se, geralmente, que os ingredientes estejam à temperatura ambiente para o preparo de bolo, a não ser que o dia esteja muito quente. Foi sugerido (DUNN; WHITE, 1937) que a temperatura da gordura seja de 21°C a 24°C para bolos, podendo a temperatura ótima variar com a gordura, sendo mais baixa para gorduras mais moles, e mais elevada para as gorduras mais firmes.

No estudo da Cornell (HUNTER; BRIANT; PERSONIUS, 1950), os efeitos desfavoráveis sobre a qualidade do bolo, comumente atribuídos à temperatura, baixa ou elevada, dos ingredientes, não foram evidentes. Ingredientes à temperatura de 8°C, 22°C e 30°C foram usados para o preparo de bolos pelos métodos convencional e de mistura para pastelaria. Sob as condições desse experimento, a temperatura dos ingredientes não produziu nenhuma diferença de importância na qualidade dos bolos.

2.3.2 Forneamento

O sucesso no preparo de bolo depende não somente dos ingredientes e métodos de manipulação, mas também do modo como ele é assado. O tamanho da fôrma e o material de que esta é feita, o modo como nela se coloca a massa e a temperatura do forno, todos afetam a velocidade de penetração do calor e, portanto, a qualidade do bolo. De modo geral, os fatores que apressam a penetração do calor melhoram a qualidade do bolo. É importante que nem muito pouco nem um excesso de massa seja colocado na fôrma. Se quantidade correta for usada, o bolo encherá a fôrma completamente no final do período de assar. Se necessário, o ar que foi incorporado à massa pode ser liberado ao se encher a fôrma, batendo-a, vigorosamente, sobre a superfície de trabalho (GRISWOLD, 1972).

Os efeitos do tamanho e formato das fôrmas para assar, sobre os bolos, foram estudados (CHARLEY, 1952) usando duas séries de fôrmas: uma variando no formato, porém não na sua capacidade; outra variando na sua profundidade. A quantidade de massa colocada nas fôrmas foi proporcional às suas capacidades. Provavelmente, por causa da penetração mais rápida e mais uniforme do calor, os bolos assados nas fôrmas rasas se apresentaram maiores, mais macios, com uma crosta menos escura e de superfície mais plana do que os assados nas fôrmas mais fundas. Nas fôrmas fundas, a massa se apresentou mais firme próximo às bordas, enquanto se mantinha ainda mole no centro. A expansão desse centro mole produziu, então, uma crosta arredondada ou bem abaulada com rachadura. As crostas eram mais escuras do que para as fôrmas rasas. Os bolos assados em fôrmas de 2,5cm de profundidade obtiveram notas significativamente mais elevadas do que os assados em fôrmas de 6cm a 8cm de altura. Bolos assados em fôrmas redondas e quadradas de mesma profundidade eram semelhantes.

O material de que a fôrma é feita influi, também, na velocidade de assar. O assamento é rápido nas fôrmas de cor escura ou de acabamento fosco porque absorvem e transmitem prontamente o calor radiante. Alguns materiais desse tipo são: o alumínio oxidado eletroliticamente ou anodizado, que tem um acabamento fosco; o ferro com acabamento acharoadado ou laqueado; folha áspera de ferro; e o aço com um acabamento de óxido negro de ferro. O assamento é comparativamente vagaroso nos metais com superfícies brilhantes, que refletem o calor, como o alumínio com acabamento brilhante, o ferro estanhado, o cobre e o aço inoxidável.

Em uma comparação (CHARLEY, 1950) de bolos assados na fôrma desses materiais, foi observado que as mais rápidas produziram bolos de volumes maiores e qualidade geral do miolo superior aos obtidos nas fôrmas menos eficientes. Essas vantagens trouxeram alguns defeitos na aparência, porque os bolos das fôrmas para assar mais rapidamente apresentavam picos e eram mais escuros nos lados do que no topo. Devido às diferenças em tamanho das fôrmas, o vidro foi comparado, nesse experimento, somente com o aço de revestimento de óxido de ferro preto. O assamento foi mais lento no vidro do que no aço. Embora o volume dos bolos fosse semelhante para as duas fôrmas, os assados na fôrma de aço foram superiores na qualidade do miolo e no escurecimento. A forma da superfície foi, porém, melhor para a de vidro.

A temperatura do forno constitui um fator importante que afeta a velocidade da penetração do calor. Se a temperatura é muito baixa, a coagulação das proteínas e a gelatinização do amido são lentas e o gás da massa se perde. À medida que o gás se esvai das células, as restantes aumentam, suas paredes se espessam, o volume é reduzido e o bolo pode baixar na parte central. Quando a temperatura do forno é muito elevada, forma-se uma crosta sobre o bolo antes que este tenha crescido completamente. A massa mole, no centro do bolo, passa então a crescer formando um pico ou mesmo uma rachadura. Esses efeitos foram observados, quando as temperaturas de 149°C, 163°C, 191°C e 218°C foram usadas para uma formulação contendo proporção elevada de açúcar em relação à farinha (JOOSTE; MACKEY, 1952). Cada incremento de temperatura, dentro daquela escala, resultou na melhoria do sabor e, quando a gordura continha emulsificador, também na melhoria do volume. Os bolos assados nas temperaturas mais elevadas apresentaram células pequenas de ar com paredes celulares finas e crostas macias e finas. Mostraram maior escurecimento e menor aderência da crosta na forma, porém, a 218°C, alguma tendência a formar picos. Os bolos assados em temperaturas mais baixas mostraram manchas brancas sobre as crostas, que pareciam ser seções da própria crosta elevadas pelo gás e, então, desidratadas. Sob as condições desse experimento, as temperaturas de 191°C a 218°C foram as melhores para os bolos de assadeira com gordura hidrogenada.

Num estudo anterior (PEET; LOWE, 1937) foi verificado que os bolos são melhores quando o forneamento é iniciado em forno pré-aquecido e não em forno

frio; são semelhantes, quando assados em fornos a gás ou elétricos. Sob qualquer temperatura é naturalmente importante que seja evitado o assar o bolo em excesso.

Se os bolos forem retirados de suas fôrmas logo que saídos do forno podem se quebrar ou baixar, especialmente se forem macios e delicados. À medida que o bolo se resfria, torna-se mais rígido e mais capacitado a suportar choques de manuseio. Recomenda-se que o bolo se esfrie até que sua temperatura seja de cerca de 60°C antes de ser retirado da fôrma. O bolo necessita do mesmo período de tempo que levou para ser assado para esfriar e atingir essa temperatura (CHARLEY, 1950). O resfriamento do bolo na fôrma de 10 a 15 minutos é, também, recomendado.

2.4 Congelamento

O sucesso do congelamento, como método de preservação do alimento, baseia-se no fato de as temperaturas baixas destruírem alguns microrganismos e impedirem o crescimento de outros. Assim, o alimento congelado, freqüentemente contém menos bactérias do que o produto fresco correspondente (BORGSTROM, 1955). A ação das enzimas é apenas diminuída pelas temperaturas de congelamento.

Massas congeladas para produtos de panificação têm uma produção crescente, pois oferecem valor agregado tanto em termos de conveniência (prontas para o uso) como de armazenamento. A qualidade desses produtos depende da escolha das matérias-primas e do processo tecnológico (PEPE; ANASTASIO; VILLANI, 2005).

2.4.1 Aspectos teóricos

O congelamento é um processo físico que envolve a transformação das moléculas de água de um estado amorfo a outro altamente estruturado, de cristais de gelo. As reações físicas e químicas que acontecem durante o processo de congelamento e a armazenagem sob congelamento são o resultado da formação de gelo, entre outros fatores. A formação de gelo é geralmente responsável pela interrupção física das ligações químicas presentes na massa, alterando as proteínas e causando mudanças nas propriedades funcionais da massa. A mudança de fase

pode levar à desnaturação protéica, causada por alterações no meio químico e físico das proteínas (SALAS-MELLADO, 2003).

A água é um componente estrutural e químico muito importante das massas congeladas e está relacionada com a sua qualidade (LU; GRANT, 1999). A água congelável é a água que pode formar gelo no sistema da massa quando esta é submetida ao congelamento e armazenamento a baixas temperaturas. A cristalização e a recristalização do gelo estão estreitamente relacionadas com a mobilidade da água na massa durante o congelamento, o armazenamento e o transporte das massas congeladas até as padarias satélites.

O ponto de congelamento de água na massa não é 0°C; o ponto de congelamento das massas feitas somente com farinha e água é de -4°C, aproximadamente. As massas para pães, contendo gordura, açúcar, sal e fermento, possuem um ponto de congelamento na faixa de -7 a -9°C (BRÜMMER, 1995).

Um estudo (ROMAN-GUTIERREZ; GUILBERT; CUQ, 2002) sobre o conteúdo de água congelada e não congelada das farinhas de trigo e seus componentes e tentando relacionar esta característica com os conceitos de água ligada e livre, considerou que a descrição das interações entre a água e os componentes da farinha de trigo (amido, proteínas e pentosanas) é um fator chave para entender os eventos físico-químicos que ocorrem durante o processamento dos produtos de cereais. Dependendo do conteúdo de umidade e das características dos componentes do trigo, a água apresenta-se ligada diretamente com os componentes ou como uma fase de água livre na massa e também que a água ligada proporciona a quantidade de água necessária para hidratar totalmente e tornar plásticos os componentes do trigo, contribuindo diretamente para a organização supra-molecular da estrutura da massa.

O conteúdo de água ligada na farinha tem sido estimado em 27 a 32% (base seca) a partir de determinação de equilíbrio de sorção. A quantidade de água não congelada na farinha de trigo tem sido determinada como sendo de 30 a 35% (KALETUNC; BRESLAUER, 1996).

2.4.2 Aspectos práticos

Cinco tipos de congeladores podem ser usados na produção de massas congeladas: estático (quiescent), túnel, contato, de impacto (impingement) e criogênico. A velocidade de congelamento aumenta, do tipo estático até o criogênico, sendo que o túnel de ar forçado e o congelador por contato são os mais utilizados. As velocidades de congelamento dependem de vários fatores, sendo os mais importantes a quantidade de massa, ingredientes, geometria e material de que é feita a fôrma e condições de congelamento (temperatura e movimento do ar) (SALAS-MELLADO, 2003).

Uma distinção é feita, freqüentemente, entre o congelamento rápido e o lento. O congelamento rápido é, às vezes, considerado como aquele que causa solidificação em trinta minutos ou menos, embora o emprego desse termo não seja uniforme. É obtido pela imersão direta do alimento num meio de refrigeração; pelo contato indireto com um agente refrigerante como na compressão de um pacote de alimento entre pratos de metal refrigerados; ou congelando-se através de corrente de ar frio. O congelamento lento é efetuado colocando-se os alimentos em câmaras ou cabinas em que a temperatura varie de -15°C a -29°C . Comumente, o ar é parado, embora possa ser usada ventilação. O congelamento, neste caso, pode requerer de três até 72 horas. As pesquisas têm indicado que não há diferenças significativas entre o sabor e o valor nutritivo da maior parte dos alimentos quando congelados por um processo ou outro (GORTNER; ERDMAN; MASTERMAN, 1948). Não obstante a diferente aparência ao microscópio dos alimentos congelados pelos dois processos, enquanto ainda congelados, essa diferença desaparece no descongelamento.

A perda de umidade é um dos fatores responsáveis pelo prejuízo na qualidade da massa congelada durante armazenamento a baixas temperaturas. Para conservar as massas congeladas, devem ser usadas embalagens com características de impermeabilidade à água e ao oxigênio, flexibilidade, resistência a baixas temperaturas e facilidade de solda. Diversos tipos de embalagem servem de barreiras à umidade, como o polietileno, mistura de ceras, verniz e folhas laminadas. Não há dúvida, porém, da importância do congelamento do alimento tão logo quanto possível após seu preparo para esse fim, para evitar mudanças indesejáveis no sabor, valor nutritivo e contagem bacteriana (GRISWOLD, 1972).

Os bolos com gordura podem ser congelados com sucesso antes ou depois de assados. A massa crua de bolo é melhor se congelada em caixa de papelão e descongelada antes de assar do que se congelada na própria forma de bolo e assada sem degelo. É melhor usar-se extrato puro de baunilha, gordura hidrogenada e fermento em pó contendo sulfato e fosfato, ou somente fosfato, em vez de baunilha sintética, manteiga ou banha e fermento em pó, contendo tartarato, para bolos prontos e massas para bolo a serem congelados. Os bolos tipo esponja podem ser congelados se já assados, porém não como massa crua por causa da elevada quantidade de ovos que contêm. Todos os tipos de bolo deterioram-se após um mês de armazenamento no congelador, porém são ainda superiores aos bolos amanhecidos, não congelados (MEYER, 1955).

2.4.3 Armazenamento sob congelamento

Durante a armazenagem sob temperaturas de congelamento, acontecem processos físicos que provocam mudanças na massa, sendo que as proteínas da massa são particularmente afetadas. A influência no amido é menor, podendo ocorrer dano devido ao rompimento pela expansão da água, que se converte em gelo e penetra nos grânulos de amido durante o congelamento. A matriz do glúten muda principalmente com o aumento do tempo de armazenagem, mudanças que são maiores para grandes flutuações de temperatura de armazenagem e quando próximas à temperatura de congelamento da água. Deve se ter em mente que ainda a -15°C uma quantidade significativa de água não está congelada, podendo participar de várias reações. Durante este período, reduz-se a incorporação do amido à matriz protéica. Os grânulos de amido, que na mistura são incluídos na matriz protéica, podem separar-se dela devido a severas condições do processo de congelamento e formação de cristais de gelo aumentados pelo período de armazenagem (BRÜMMER, 1990).

Uma técnica de microscopia eletrônica de varredura a baixa temperatura (BERGLUND; SHELTON; FREEMAN, 1991) revelou que a rede de glúten da massa é danificada durante o armazenamento sob congelamento, provavelmente devido à formação de cristais de gelo, reduzindo sua capacidade de retenção de gás.

Além do dano mecânico da membrana da célula de gás causado pelos cristais de gelo, um estudo em massa de pão (ESSELINK et al., 2003) mostrou que

o crescimento de cristais de gelo nos poros de gás contribui para a redistribuição da água na massa. Não foram observados cristais de gelo nos poros após um dia de armazenamento, mas grandes cristais de gelo foram encontrados após seis semanas de armazenamento sob congelamento.

Além de mudanças na quantidade de água congelada, o fenômeno de recristalização do gelo deve ser considerado. A recristalização se refere à tendência dos cristais de gelo de minimizar sua energia livre, demonstrada por mudanças no tamanho, número e forma dos cristais durante o armazenamento sob congelamento. A recristalização isobárica ocorre quando um cristal de gelo de formato irregular e alta relação superfície/volume “arredonda-se” sem qualquer mudança na sua massa. Ao passo que na recristalização migratória, cristais de gelo pequenos são dissolvidos devido a variações de temperatura ou pressão durante o armazenamento e as moléculas de água são adsorvidas na superfície de cristais maiores. Isso reduz o número de cristais, mas aumenta seu tamanho. Quando dois cristais de gelo próximos unem-se devido à migração superficial o processo é chamado de recristalização aditiva, e leva a um menor número de cristais com tamanhos maiores (BAIER-SCHENK; HANDSCHIN; CONDE-PETIT, 2005).

Um estudo reológico (AUTIO; SINDA, 1992) mostrou uma diminuição no módulo de perda (G') e um aumento da tangente δ , e diminuição, tanto do módulo de relaxamento (G_{rel}) como da vida média de relaxamento na massa congelada. Estas mudanças indicaram uma perda de ligação cruzada do polímero e um enfraquecimento da rede de glúten.

Eletroforeses realizadas sob condições não redutoras mostraram claramente o desaparecimento de subunidades de glutenina e de oligômeros na massa sujeita a repetidos congelamentos e descongelamentos, sugerindo que a estrutura da glutenina foi alterada por estes ciclos (INOUE et al., 1994). A estocagem a -20°C por 70 dias aumentou levemente a porcentagem de proteínas solúveis em etanol (gliadina), no entanto, três ciclos de congelamento/descongelamento aumentaram a proporção de proteínas hidrossolúveis (albumina) e solúveis em ácido (glutenina).

As condições de armazenamento devem ser as mais estáveis possíveis, evitando flutuações de temperatura. Durante a armazenagem, a embalagem dos produtos com materiais sintéticos, sacos ou containeres, é recomendada para prevenir a desidratação da superfície provocada pelo congelamento e pelas altas velocidades do ar. A embalagem é recomendada, ainda, para períodos curtos de

armazenagem, principalmente quando os congeladores são abertos com frequência, causando flutuações de temperatura. Devem ser mantidas condições ótimas durante a armazenagem e o transporte, principalmente se as massas terão um armazenamento adicional após sua distribuição (BRÜMMER, 1990).

Algumas flutuações de temperatura são inevitáveis num congelador. A temperatura se eleva toda vez que a porta do congelador é aberta ou quando os alimentos estão sendo congelados, a não ser que haja um compartimento separado para congelamento. As flutuações são, também, causadas pelas variações na temperatura ambiente e pela própria operação do congelador, pois a temperatura deve elevar-se até um certo ponto, para que o compressor comece a operar, e deve cair alguns graus antes que ele pare. Esse processo é conhecido como ciclagem. Os efeitos das flutuações da temperatura não são grandes se ocorrerem abaixo de -18°C e se os alimentos forem bem acondicionados (GRISWOLD, 1972).

Uma temperatura de armazenagem de -18°C é, comumente, a recomendada para alimentos congelados. Para temperaturas mais elevadas os períodos de armazenamento são mais curtos, enquanto que para temperaturas mais baixas o custo operacional aumenta. As mudanças que ocorrem nos alimentos congelados, devidas à temperatura de armazenagem, são surpreendentemente grandes. Por exemplo: pode levar de duas a cinco vezes o tempo necessário para a mesma quantidade de deterioração ocorrer, se a temperatura de armazenagem for baixada de 3°C dentro de uma escala de temperatura de -1°C a -18°C . O período máximo de armazenagem recomendado para massas cruas de bolos, congeladas em casa a -18°C , é de três a quatro meses (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1959).

3 Material e métodos

3.1 Material

3.1.1 Ingredientes

Os ingredientes utilizados nas formulações dos bolos foram:

- Farinha de trigo especial para panificação, fornecida por Princesa Indústria e Comércio de Alimentos (Pelotas-RS);
- Açúcar refinado especial, fornecido por Princesa Indústria e Comércio de Alimentos;
- Gordura vegetal para fins alimentícios, fornecida por Princesa Indústria e Comércio de Alimentos;
- Fermento em pó químico, fornecido por Princesa Indústria e Comércio de Alimentos;
- Ovos brancos tipo grande, adquiridos no comércio local.

3.1.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados nos experimentos foram:

- Balança eletrônica Marte AS2000C;
- Batedeira planetária Arno BPA;
- Cronômetro Cronobio SW2018;
- Fôrmas de alumínio de 15 x 7,5 x 4cm (c x l x a);
- Forno elétrico Fischer Diplomata automático;
- Freezer vertical Consul Slim;

- Termômetro digital Fluke 50D (dupla entrada);
- Registrador de temperatura Iope SP-G22C8;
- Termopares tipo K (Cromel-Alumel) e tipo T (Cobre-Constantan);
- Freezer horizontal Consul 230;
- Câmera digital Samsung Digimax 202;
- Faca elétrica Moulinex;
- Microscópio estereoscópico Olympus C011;
- Almofada para carimbo Pilot nº 3 e tinta para carimbo Pilot TC42;
- Triturador Arno Pic-Liq;
- Balança analítica Bioprecisa FA2104N;
- Estufa Fabbe 119;
- Analisador de textura TA-XT2;
- Mufla Quimis Q.318.24;
- Bateria de chapas de aquecimento Quimis Q.308.26B;
- Digestor rápido para proteína Gerhardt;
- Destilador de nitrogênio Tecnal TE-036/1;
- Alveógrafo e Consistógrafo Chopin NG;
- Falling Number 1200;
- Banho ultra-termostatizado Quimis 214.D2;
- Banho-maria Quimis Q.215-2.

3.2 Métodos

3.2.1 Planejamento experimental

3.2.1.1 Planejamento experimental para avaliação da influência da formulação no congelamento da massa e na qualidade do bolo

Foi realizado um planejamento fatorial completo 2^2 , com cinco níveis de variação (BOX; HUNTER; HUNTER, 2005), conforme os tratamentos descritos na Tab. 1. Este planejamento deu origem a quatro estudos: três estudos referentes à qualidade dos bolos produzidos a partir de massas submetidas a diferentes processamentos (não congeladas, congeladas e imediatamente descongeladas e

armazenadas durante 28 dias sob congelamento) e um estudo sobre as características de congelamento das massas de bolo. As variáveis independentes estudadas (variáveis manipuladas) foram o teor de açúcar e o teor de gordura, expressos com base em cem partes de farinha. O planejamento constou de 11 (onze) tratamentos realizados em triplicatas totalizando 33 (trinta e três) amostras. Foram avaliados como respostas (variáveis dependentes) os parâmetros de qualidade dos bolos: volume específico, umidade do miolo, escore tecnológico e textura do miolo; e as características do congelamento das massas: taxa de resfriamento, temperatura de congelamento, tempo de congelamento, taxa de sub-resfriamento e tempo de descongelamento. A textura do miolo não foi avaliada nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento, devido à indisponibilidade de equipamento.

Os parâmetros de qualidade dos bolos produzidos a partir das massas submetidas aos diferentes processamentos também foram comparados entre si, para avaliação da influência do congelamento e do armazenamento sob congelamento das massas na qualidade do produto final.

Tabela 1 – Matriz de planejamento experimental

Tratamentos	Níveis**		Valores reais	
	Açúcar	Gordura	Açúcar (% b.f.)*	Gordura (% b.f.)*
01	-1	-1	48,00	30,00
02	+1	-1	72,00	30,00
03	-1	+1	48,00	50,00
04	+1	+1	72,00	50,00
05	0	0	60,00	40,00
06	0	0	60,00	40,00
07	0	0	60,00	40,00
08	- α	0	43,03	40,00
09	0	+ α	60,00	54,14
10	+ α	0	76,97	40,00
11	0	- α	60,00	25,86

* Teores de açúcar e gordura expressos com base em cem partes de farinha (b.f.)

** O valor de ' α ' para o planejamento fatorial 2^2 , utilizado neste trabalho, é 1,414

3.2.1.2 Tratamento estatístico dos resultados

Todos os dados do planejamento experimental foram tratados com o auxílio de software estatístico. A influência da formulação nos parâmetros de qualidade dos bolos e nas características de congelamento das massas foi verificada através da análise de efeitos. O efeito pode ser definido como a influência na resposta quando a variável independente passa do nível inferior (-1) para o nível superior (+1) (RODRIGUES; IEMMA, 2006). Foi também realizada análise de variância (ANOVA) e, quando cabível (em caso de modelo preditivo), foram construídas a equação do modelo e a superfície de resposta (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001).

Para se obter um maior detalhamento da influência da formulação no escore tecnológico dos bolos, este, além de ser avaliado, no tratamento estatístico, em sua totalidade, também foi avaliado em termos de dois de seus componentes: o escore da estrutura e o escore da textura (itens A e C na planilha do Apêndice A).

A influência do congelamento e do armazenamento sob congelamento nos parâmetros de qualidade dos bolos foi verificada através do teste de comparação de médias de Tukey ($p < 0,05$), comparando-se os valores dos parâmetros medidos nos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos.

3.2.2 Processamento de amostragem

3.2.2.1 Caracterização da farinha de trigo

A farinha de trigo utilizada na formulação dos bolos foi caracterizada em termos de composição química, propriedades reológicas e atividade enzimática, de acordo com os métodos da American Association of Cereal Chemists (2000):

- Umidade: método 44-15A;
- Cinzas: método 08-01;
- Gordura: método 30-10;
- Proteínas: método 46-13;
- Consistografia: método 54-50;
- Alveografia: método 54-30A;
- Número de queda: método 56-81B.

3.2.2.2 Calibração dos termopares

Os termopares utilizados nos ensaios de congelamento foram calibrados tomando-se como referência um termômetro padrão de mercúrio. A calibração foi realizada registrando-se as leituras dos termopares e do termômetro padrão em quatro valores de temperatura diferentes (PERRY, 2000):

- Banho ultra-termostatizado contendo uma mistura 1:1 de água e etanol, ajustado para uma temperatura aproximada de -20°C ;
- Banho contendo uma mistura 3:1 de gelo e cloreto de sódio, calculada para resultar em uma temperatura aproximada de -8°C ;
- Banho de gelo, temperatura aproximada de 0°C ;
- Banho-maria, ajustado para uma temperatura aproximada de 37°C .

As leituras foram plotadas para a obtenção das curvas de calibração e através de uma análise de regressão linear foram obtidas as equações para correção das temperaturas nos ensaios de congelamento.

3.2.2.3 Testes preliminares

Alguns testes preliminares foram executados para definir certos parâmetros do processo de obtenção dos bolos, tais como o momento de incorporação do fermento químico, a intensidade de mistura dos ingredientes, a quantidade de massa a ser disposta nas fôrmas e o processo de forneamento, entre outros. Esses testes não serão abordados de forma detalhada, pelo fato de que foram específicos para as condições (formulações, equipamentos, etc.) empregadas nesse experimento, e os resultados utilizados serão descritos na metodologia do trabalho.

3.2.2.4 Preparo das massas

As formulações empregadas no preparo dos bolos são mostradas na Tab. 2. A Tab. 3 mostra as mesmas formulações expressas com base em cem partes de farinha, forma mais comumente empregada em panificação e confeitaria. Os valores foram calculados a partir de uma formulação comercial, fixando-se as quantidades de farinha e ovos, determinando-se os teores de açúcar e gordura conforme o

planejamento experimental, e mantendo-se o fermento e a água na mesma proporção, em relação aos demais ingredientes, da formulação comercial.

Tabela 2 – Formulações empregadas no preparo dos bolos

Formulação	Farinha (%)	Ovos (%)	Açúcar (%)	Gordura (%)	Fermento (%)	Água (%)
01	35,95	17,98	17,26	10,79	1,64	16,39
02	32,53	16,26	23,42	9,76	1,64	16,39
03	33,05	16,53	15,86	16,53	1,64	16,39
04	30,14	15,07	21,70	15,07	1,64	16,39
05 - 07	32,79	16,39	19,67	13,11	1,64	16,39
08	35,17	17,59	15,14	14,07	1,64	16,39
09	31,03	15,52	18,62	16,80	1,64	16,39
10	30,70	15,35	23,63	12,28	1,64	16,39
11	34,75	17,38	20,85	8,99	1,64	16,39

Tabela 3 – Formulações expressas com base em cem partes de farinha

Formulação	Farinha	Ovos	Açúcar	Gordura	Fermento	Água
01	100,00	50,00	48,00	30,00	4,56	45,60
02	100,00	50,00	72,00	30,00	5,04	50,40
03	100,00	50,00	48,00	50,00	4,96	49,60
04	100,00	50,00	72,00	50,00	5,44	54,40
05 - 07	100,00	50,00	60,00	40,00	5,00	50,00
08	100,00	50,00	43,03	40,00	4,66	46,61
09	100,00	50,00	60,00	54,14	5,28	52,83
10	100,00	50,00	76,97	40,00	5,34	53,39
11	100,00	50,00	60,00	25,86	4,72	47,17

As massas de bolo foram preparadas pelo método de “uma tigela” (GRISWOLD, 1972) modificado (incorporação posterior do fermento). Nesse método, todos os ingredientes (sendo a farinha e o açúcar peneirados), exceto o fermento em pó químico, foram dispostos na tigela da batedeira e misturados em três estágios: o primeiro estágio em velocidade mínima (1) por trinta segundos, destinado a promover a mistura inicial dos ingredientes; o segundo estágio em velocidade baixa

(2) por trinta segundos, para homogeneizar a massa; e o terceiro estágio, em velocidade média (3) por dois minutos, para incorporação de ar. Somente então ocorreu a adição do fermento químico, o qual foi misturado manualmente com movimentos de forma a “cobri-lo” com a massa. Por fim, foi feita uma homogeneização final por trinta segundos em velocidade mínima (1). A massa assim produzida foi distribuída em fôrmas de alumínio, com o fundo revestido de papel manteiga, para evitar a queima da parte inferior do bolo, e as laterais untadas com óleo vegetal. Para as fôrmas utilizadas, cujas dimensões foram de 15 x 7,5 x 4cm, convencionou-se uma quantidade de massa de $180,0 \pm 0,5g$.

3.2.2.5 Forneamento

O forneamento foi realizado em forno elétrico com resistências na parte inferior e superior. O procedimento convencionado consistiu em pré-aquecer o forno a 185°C usando-se somente a resistência inferior. As massas foram então levadas ao forno, em triplicata, mantendo-se apenas o aquecimento inferior nos primeiros trinta minutos de forneamento. O aquecimento superior foi então ligado, para consolidar a crosta e “dourar” os bolos, por um período de quinze minutos, ao fim do qual os bolos foram retirados do forno e resfriados por quarenta e cinco minutos para serem então desenformados e avaliados.

3.2.2.6 Congelamento

O congelamento das massas foi realizado em freezer vertical, ajustado para resfriamento máximo. As massas, em triplicata, foram dispostas na montagem mostrada na Fig. 1, adaptada na gaveta superior do freezer. Termopares conectados a indicadores de temperatura foram posicionados no centro geométrico das massas. O cronômetro foi disparado no momento em que a porta do freezer foi fechada. A partir daí foram registradas as temperaturas no centro das massas a cada trinta segundos e a temperatura do ar no interior do freezer, em dois pontos, a cada cinco minutos. A temperatura do ar no exterior do freezer foi registrada no início e no final do congelamento. O congelamento foi dado por encerrado quando a temperatura no centro das massas atingiu -15°C.

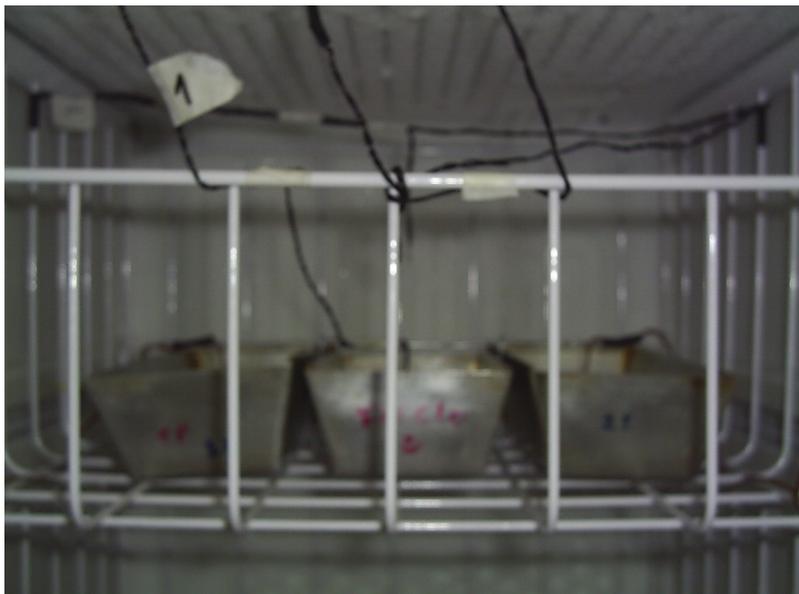


Figura 1 – Montagem dos termopares no interior do freezer

3.2.2.7 Armazenamento sob congelamento

Para cada formulação (tratamento), uma triplicata de massas foi armazenada sob congelamento por um período de vinte e oito dias. Essas massas foram congeladas da mesma forma descrita no item anterior, exceto pelo fato de que não receberam a inserção de termopares e, conseqüentemente, não foi feito o registro de temperaturas, e de que as fôrmas foram embaladas com papel alumínio para amenizar a interferência das variações da umidade do ar no interior do freezer. As massas foram armazenadas em freezer horizontal.

3.2.2.8 Descongelamento

O descongelamento das massas foi feito à temperatura ambiente, até que estas atingiram uma temperatura de 20°C no centro geométrico. Foi registrado o tempo total de descongelamento.

3.2.3 Avaliações

Após desenformados, os bolos foram fotografados para registro e avaliados quanto ao seu volume específico. Então foram cortados ao meio, e de cada metade foi extraída uma fatia de 2,0cm de espessura (Fig. 2). Uma dessas fatias (B) foi

fotografada, microfotografada e submetida ao processo de “impressão através de tinta” (GRISWOLD, 1972) de ambos os lados. As demais avaliações estão detalhadamente descritas a seguir.

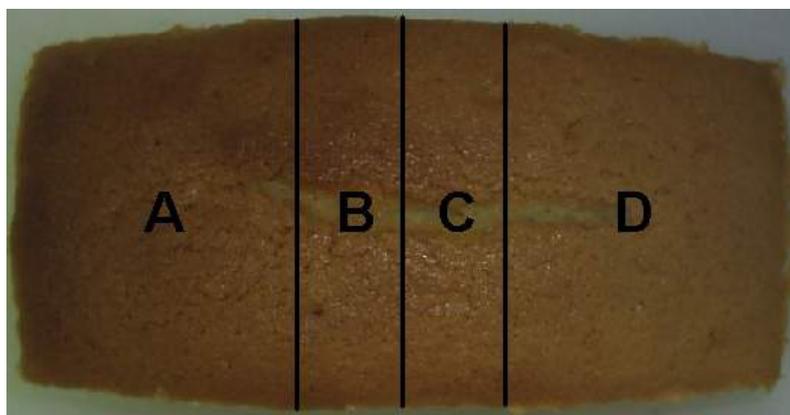


Figura 2 – Cortes realizados para avaliação dos bolos

3.2.3.1 Volume específico

O volume específico dos bolos foi determinado pelo método de deslocamento de sementes de painço (HSIEH et. al., 1991), e expresso em $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$.

3.2.3.2 Umidade do miolo

Para a determinação de umidade, o pedaço 'A' (Fig. 2) teve a crosta inteiramente removida com o auxílio de uma faca elétrica, e o miolo resultante foi moído em triturador de facas e sua umidade foi determinada segundo o método nº 44-15A da AACC (2000).

3.2.3.3 Escore tecnológico

A fatia 'C' da Fig. 2 foi submetida a uma avaliação tecnológica, envolvendo os aspectos mais relevantes da qualidade do miolo: estrutura (uniformidade, tamanho dos alvéolos e espessura das paredes), grão (rugosidade superficial do miolo), textura (umidade, maciez e coesividade), cor e flavor (odor/sabor). Para essa avaliação foi desenvolvida uma planilha, que consiste em uma adaptação do método 10-90 da AACC (2000), e se encontra no Apêndice A.

3.2.3.4 Textura do miolo

Foi determinada em analisador de textura TA-XT2 (Texture Technology Corp. Scarsdale NY / Surrey Stable Microsystems, SMS, Godalming, Surrey, UK), tendo-se como parâmetro analisado a firmeza (força máxima requerida para comprimir uma fatia de 10,0mm de espessura em 25%), utilizando-se uma célula cilíndrica de 30,0mm de diâmetro. A análise foi feita no modo de compressão, com velocidade de pré-teste de $1,0\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$, velocidade de teste de $1,0\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$, velocidade de pós-teste de $10,0\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ e distância de 25% (ZAMBRANO et al., 2004). Para a determinação da textura foi empregado o pedaço 'D' da Fig. 2.

3.2.3.5 Características de congelamento

Os dados obtidos durante o congelamento (temperatura x tempo) foram corrigidos com as equações de calibração dos respectivos termopares e então plotados para construção das curvas de congelamento. Os mesmos dados foram tratados matematicamente, aplicando-se o método de interpolação com diferenças divididas, para obtenção da primeira e segunda derivadas das curvas. Através da análise das curvas originais e de suas derivadas, foi possível determinar os pontos de inflexão das curvas, isolando-se assim as etapas de resfriamento e congelamento. Com esses resultados calculou-se a taxa de resfriamento (quociente da diferença entre a temperatura inicial da massa e a temperatura inicial de congelamento pelo tempo decorrido entre esses pontos), temperatura de congelamento (ponto de inflexão no centro do patamar de congelamento), tempo de congelamento (diferença entre os tempos final e inicial do patamar de congelamento) e taxa de sub-resfriamento (quociente da diferença entre a temperatura final de congelamento e a temperatura final da massa pelo tempo decorrido entre esses pontos) para as diferentes formulações. O tempo de descongelamento também foi registrado. Um exemplo de curva de congelamento pode ser visto no Apêndice B.

4 Resultados e discussão

4.1 Caracterização da farinha de trigo

A farinha de trigo foi caracterizada quanto a sua composição química, propriedades reológicas e atividade enzimática.

4.1.1 Composição química e número de queda

A Tab. 4 mostra os resultados das análises de composição química e número de queda da farinha de trigo.

Tabela 4 – Composição química e número de queda da farinha de trigo

Análise	Resultado
Umidade, %	12,38 ± 0,04
Cinzas, %	0,69 ± 0,02
Gordura, %	1,31 ± 0,04
Proteínas, %	10,45 ± 0,16
Carboidratos*, %	75,17 ± 0,26
Número de queda	380 ± 14

* O teor de carboidratos foi determinado por diferença

A composição química evidencia uma farinha de médio a baixo conteúdo de proteínas que, associado a um número de queda alto (baixa atividade amilásica), caracteriza uma farinha adequada para uso em formulações de bolos.

4.1.2 Consistografia e alveografia

As Figs. 3 e 4 mostram as curvas de consistografia e alveografia da farinha de trigo, e a Tab. 5 traz um detalhamento dos resultados da alveografia.

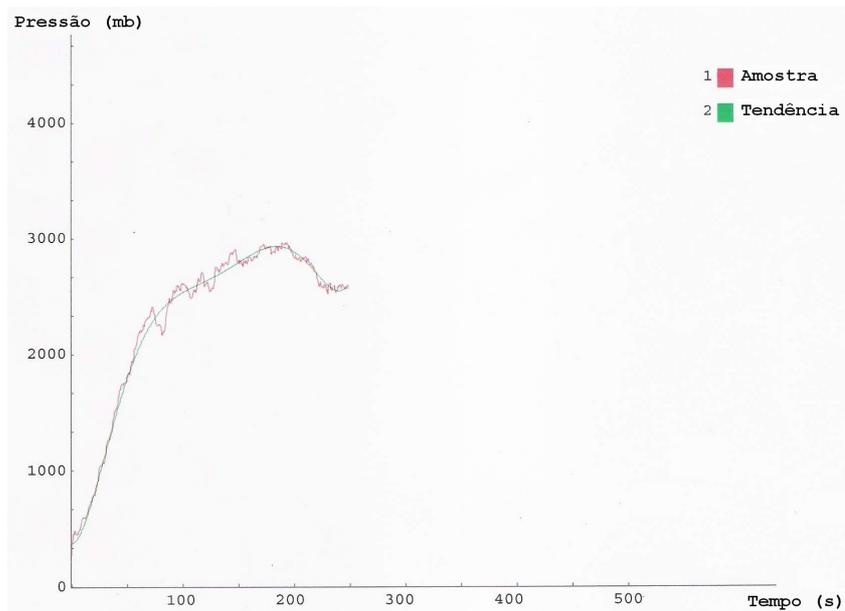


Figura 3 – Consistografia da farinha de trigo

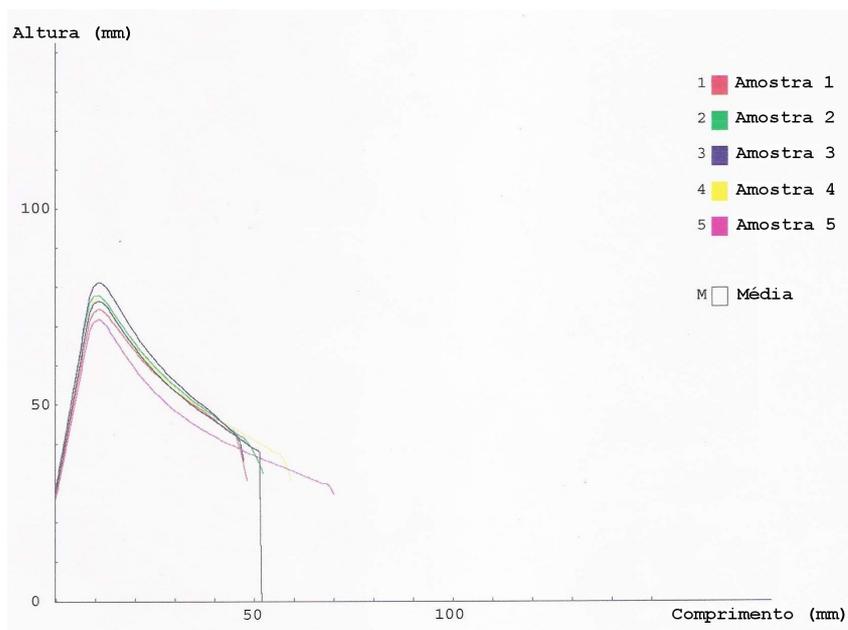


Figura 4 – Alveografia da farinha de trigo

Tabela 5 – Alveografia da farinha de trigo

Medida	Resultado
Tenacidade, P (mm)	86 ± 3
Extensibilidade, L (mm)	48 ± 1
Energia de deformação da massa, W (10 ⁻⁴ J)	193 ± 15
Quociente P/L	1,79 ± 0,10

Na consistografia determinou-se a hidratação adequada para a realização da alveografia. Na alveografia, uma energia de deformação da massa próxima a 200 e um alto quociente P/L (maior do que 1,0) indicam que a farinha em questão é forte, sendo assim, adequada para formulações de bolos (QUIRCE et al., 2002).

4.2 Calibração dos termopares

Dez termopares foram submetidos à calibração e, desses, seis foram selecionados para serem utilizados no experimento: três para serem inseridos nas massas a serem congeladas (T_{m1} , T_{m2} e T_{m3}), dois para serem colocados em pontos estratégicos para medição da temperatura do ar no interior do freezer (T_{a1} e T_{a2}) e o último para medição da temperatura ambiente no exterior do freezer (T_e). Os critérios de seleção foram a correlação obtida nas curvas de calibração e a funcionalidade de aplicação, já que os termopares eram de tamanhos e materiais diferentes.

A Tab. 6 mostra as equações de correção e respectivas correlações para os termopares selecionados, e a Fig. 5 mostra um exemplo de curva de calibração.

Tabela 6 – Equações de correção dos termopares

Termopar	Equação de correção*	Determinação (R^2)
T_{m1}	$T = 1,0119 \cdot T_L + 0,4231$	0,9995
T_{m2}	$T = 1,0081 \cdot T_L + 0,5752$	0,9996
T_{m3}	$T = 1,0938 \cdot T_L - 0,7944$	0,9999
T_{a1}	$T = 1,089 \cdot T_L - 0,7478$	0,9998
T_{a2}	$T = 1,0785 \cdot T_L - 0,179$	0,9994
T_e	$T = 1,0909 \cdot T_L - 0,5669$	0,9997

* Nas equações de correção, 'T' é a temperatura real e 'T_L' é a temperatura lida pelo termopar

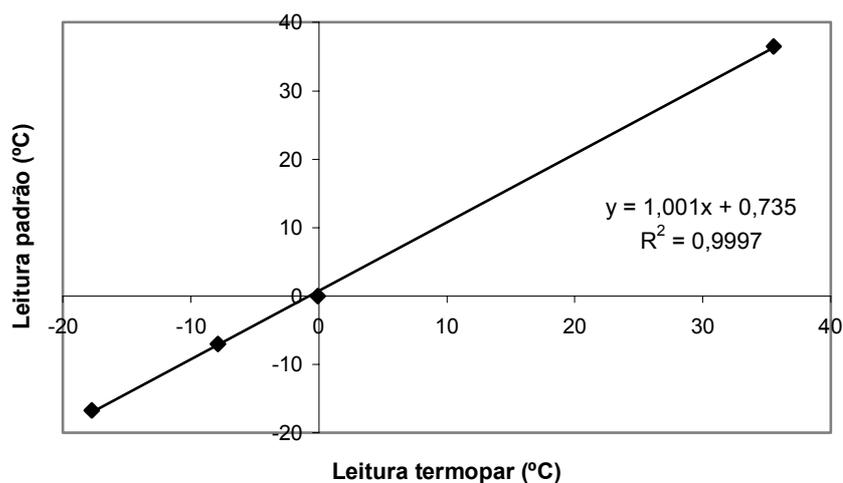


Figura 5 – Exemplo de curva de calibração de termopar

4.3 Influência da formulação da massa na qualidade do bolo

Para a determinação da influência da formulação da massa na qualidade do bolo, os resultados foram avaliados para cada um dos processamentos realizados. Foram estudados os efeitos da formulação sobre os parâmetros de qualidade, considerando-se somente a porção linear do planejamento experimental (tratamentos 1, 2, 3 e 4). Na seqüência, foram verificados os modelos empíricos lineares ou quadráticos, que relacionam os parâmetros de qualidade com a formulação.

4.3.1 Massas não congeladas

A Tab. 7 mostra os resultados obtidos para massas não congeladas.

Tabela 7 – Valores médios das variáveis respostas medidas nos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

Trat.	Vol. esp. (cm ³ ·g ⁻¹)	Umidade (%)	Escore (total)	Escore (estrutura)	Escore (textura)	Textura (gf)
01	2,33	31,45	88	22	32	464,4
02	2,55	27,89	85	22	29	345,6
03	2,30	31,15	90	22	34	342,5
04	2,33	28,94	90	22	34	334,2
05	2,38	29,40	89	22	34	351,0
06	2,37	29,99	84	19	32	345,4
07	2,51	30,53	87	22	32	325,4
08	2,37	30,86	86	22	30	358,7
09	2,39	29,10	85	17	34	309,2
10	2,55	28,10	86	22	30	301,0
11	2,40	30,20	83	21	28	376,2

4.3.1.1 Efeito da formulação da massa na qualidade do bolo

Os valores mostrados na Tab. 7 foram submetidos a tratamento estatístico, de forma a determinar os efeitos da formulação sobre as variáveis respostas e suas respectivas magnitudes, os intervalos de confiança e a correlação para cada resposta. Os resultados da análise estatística são apresentados na Tab. 8.

Tabela 8 – Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua interação nas variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

Efeito	Vol. esp. (cm ³ ·g ⁻¹)	Umidade (%)	Escore (total)	Escore (estrutura)	Escore (textura)	Textura (gf)
Teor de açúcar	0,125	-2,885*	-1,5	0	-1,5	-63,55*
Teor de gordura	-0,125	0,375	3,5	0	3,5*	-66,65*
Açúcar x Gordura	-0,095	0,675	1,5	0	1,5	55,25*
Intervalo de confiança (%)	95	95	95	95	90	90
Determinação (R ²)	0,72	0,93	0,50	0,00	0,85	0,85

* Efeitos estatisticamente significativos para os respectivos intervalos de confiança

Os efeitos estatisticamente significativos, conforme apresentado na Tab. 8, são mostrados graficamente na Fig. 6.

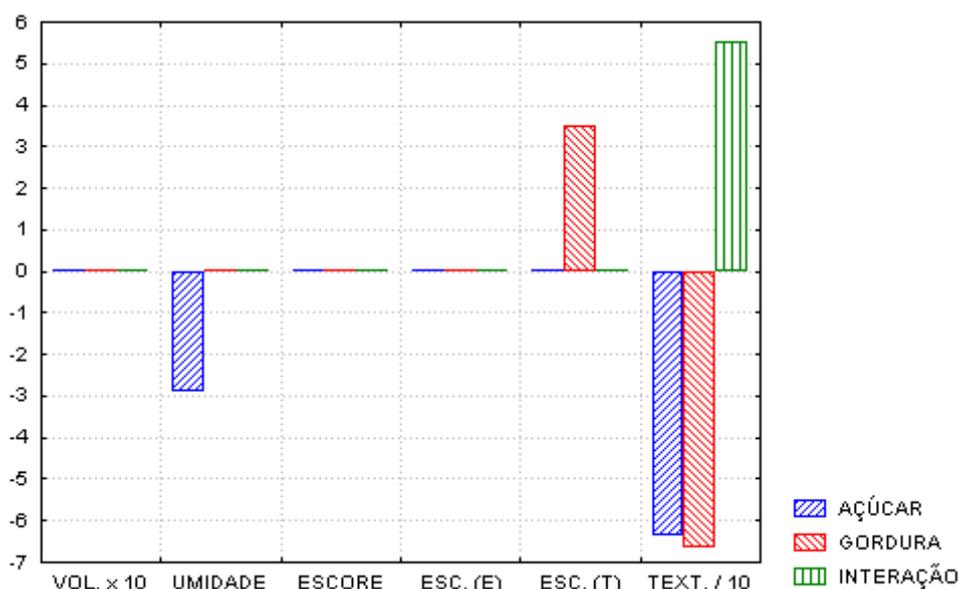


Figura 6 – Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua interação nas variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

Observando-se a Fig. 6, pode-se perceber que o aumento no teor de açúcar de 48 para 72% (bf) resultou em efeito negativo sobre a umidade do miolo e a textura. O aumento no teor de gordura de 30 para 50% (bf) teve efeito positivo sobre o escore da textura e efeito negativo sobre a textura. A interação entre as variáveis apresentou efeito positivo sobre a textura.

4.3.1.2 Verificação de modelos empíricos lineares que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas

Para a verificação dos modelos empíricos lineares que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas considerou-se somente a porção linear do planejamento experimental. Foi realizada análise de variância (ANOVA) para as variáveis respostas que apresentaram efeitos significativos nos parâmetros de qualidade dos bolos. A ANOVA permitiu a aplicação do teste F, comparando-se o valor de F estimado a partir dos dados experimentais com o valor de F tabelado para uma distribuição de referência. Foram considerados preditivos os modelos que apresentaram um valor de F calculado pelo menos três vezes maior que o tabelado (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001). Para estes casos

são apresentadas as tabelas de coeficientes de regressão e ANOVA, a equação do modelo, a superfície de resposta e a curva de contorno correspondente. Os resultados do teste F para as massas não congeladas são mostrados na Tab. 9.

Tabela 9 – Valores de F calculado e F tabelado para as variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

Variável	Intervalo de confiança (%)	F calculado (FC)	F tabelado (FT)	FC/FT	Modelo*
Umidade do miolo	95	33,08	6,61	5,00	P
Escore (textura)	90	8,20	4,06	2,02	NP
Textura	90	5,72	5,39	1,06	NP

* P: modelo preditivo; NP: modelo não preditivo

Para as massas não congeladas, foi considerado preditivo o modelo linear para a umidade do miolo, conforme Tab. 9.

4.3.1.2.1 Verificação do modelo linear para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

As Tabs. 10 e 11 apresentam os coeficientes de regressão e a ANOVA para o modelo linear que relaciona a umidade do miolo com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.

Tabela 10 – Coeficientes de regressão para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (2)	p	Limite Cnf. -95%	Limite Cnf. +95%
Média	29,91*	0,21*	140,00*	0,00*	28,99*	30,83*
Açúcar	-1,44*	0,28*	-5,10*	0,04*	-2,66*	-0,23*
Gordura	0,19	0,28	0,66	0,58	-1,03	1,40
Interação	0,34	0,28	1,19	0,35	-0,88	1,55

* valores estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p < 0,05$)

Tabela 11 – Tabela ANOVA para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	8,32	1	8,32	33,08	6,61
Resíduos	1,26	5	0,25		
Falta de ajuste	0,62	3	0,21		
Erro puro	0,64	2	0,32		
Total	9,58	6	1,60		

% de variação explicada (R^2) = 93,09

% de máxima variação explicável ($SQ_T - SQ_{EP}$) / SQ_T = 93,32

Coefficiente de correlação (R) = 0,96

A equação do modelo, para previsão da umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas, é:

$$U = 29,91 - 1,44 \cdot A$$

Onde 'U' é a umidade do miolo, expressa em percentual, e 'A' é o teor de açúcar, expresso em percentual (bf).

A superfície de resposta e a curva de contorno para o modelo que relaciona a umidade do miolo com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas não congeladas, são mostradas nas Figs. 7 e 8.

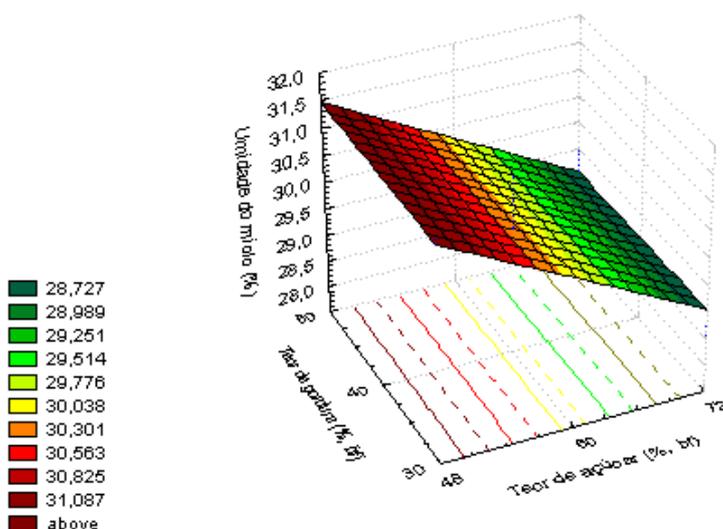


Figura 7 – Superfície de resposta para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

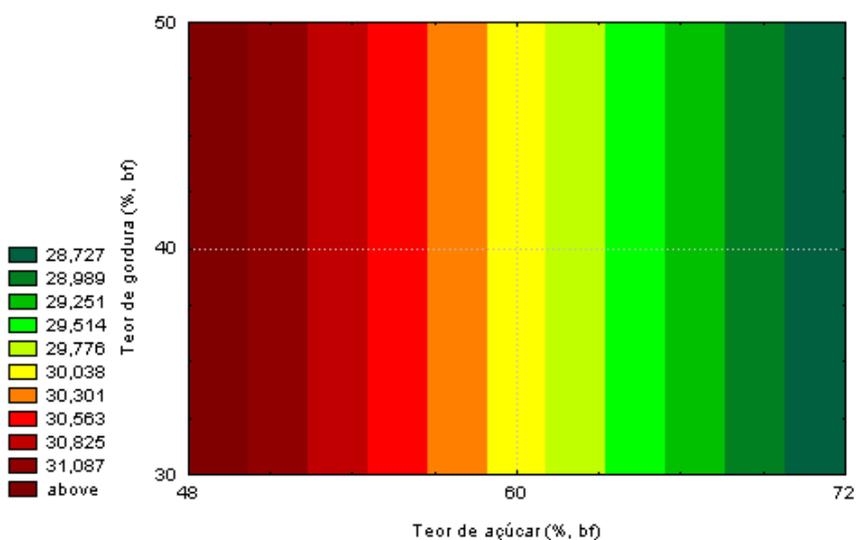


Figura 8 – Curva de contorno para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

Observando as Figs. 7 e 8, constata-se que a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas é independente do teor de gordura, sendo que, na faixa estudada, a umidade será tanto maior quanto menor for o teor de açúcar. Este comportamento é resultado do caráter hidrofílico do açúcar, que o faz captar a água livre da massa.

4.3.1.3 Verificação de modelos empíricos quadráticos que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas

Para a verificação dos modelos empíricos quadráticos que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas considerou-se todo o planejamento experimental, incluindo os pontos axiais. Foram considerados preditivos os modelos que apresentaram um valor de F calculado pelo menos três vezes maior que o tabelado. Os resultados do teste F para as massas não congeladas são mostrados na Tab. 12.

Tabela 12 – Valores de F calculado e F tabelado para as variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

Variável	Intervalo de confiança (%)	F calculado (FC)	F tabelado (FT)	FC/FT	Modelo*
Escore (textura)	75	9,33	1,66	5,62	P
Textura	75	6,87	1,79	3,84	P

* P: modelo preditivo

Para as massas não congeladas, foram considerados preditivos os modelos quadráticos para o escore da textura e a textura, conforme Tab. 12.

4.3.1.3.1 Verificação do modelo quadrático para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

As Tabs. 13 e 14 apresentam os coeficientes de regressão e a ANOVA para o modelo quadrático que relaciona o escore da textura com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.

Tabela 13 – Coeficientes de regressão para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (2)	p	Limite Cnf. -75%	Limite Cnf. +75%
Média	32,67*	0,67*	49,00*	0,00*	31,60*	33,74*
Açúcar (L)	-0,38	0,41	-0,92	0,46	-1,03	0,28
Açúcar (Q)	-0,90*	0,49*	-1,84*	0,21*	-1,68*	-0,12*
Gordura (L)	1,94*	0,41*	4,74*	0,04*	1,28*	2,59*
Gordura (Q)	-0,40	0,49	-0,81	0,50	-1,17	0,38
Interação	0,75	0,58	1,30	0,32	-0,18	1,68

* valores estatisticamente significativos a 75% de confiança ($p < 0,25$)

L: linear; Q: quadrático

Tabela 14 – Tabela ANOVA para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	33,73	2	16,86	9,33	1,66
Resíduos	14,45	8	1,81		
Falta de ajuste	11,79	6	1,96		
Erro puro	2,67	2	1,33		
Total	48,18	10	4,82		

% de variação explicada (R^2) = 78,84

% de máxima variação explicável ($SQ_T - SQ_{EP}$) / SQ_T = 94,46

Coefficiente de correlação (R) = 0,89

A equação do modelo, para previsão do escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas, é:

$$E_T = 32,67 - 0,90 \cdot A^2 + 1,94 \cdot G$$

Onde 'E_T' é o escore da textura, 'A' é o teor de açúcar, expresso em percentual (bf), e 'G' é o teor de gordura, expresso em percentual (bf).

A superfície de resposta e a curva de contorno para o modelo que relaciona o escore da textura com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas não congeladas, são mostradas nas Figs. 9 e 10.

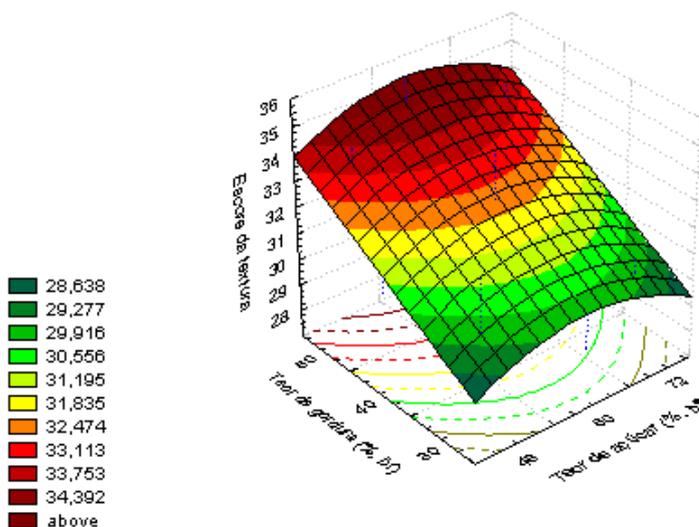


Figura 9 – Superfície de resposta para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

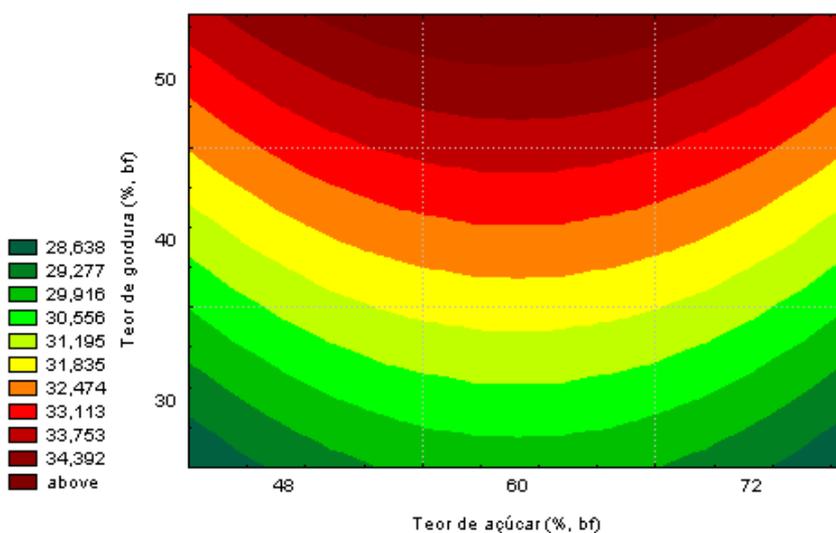


Figura 10 – Curva de contorno para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

Observando as Figs. 9 e 10, constata-se que o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas depende principalmente do teor de gordura, sendo que, quanto maior o teor de gordura, maior será o escore. Os maiores valores de escore da textura, dentro da faixa estudada, serão obtidos com um teor de açúcar de 60% e teores de gordura acima de 50%. Isto pode ser explicado com base no papel da gordura, de uniformizar a distribuição das bolhas de ar na massa, melhorando assim a textura.

4.3.1.3.2 Verificação do modelo quadrático para a textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

As Tabs. 15 e 16 apresentam os coeficientes de regressão e a ANOVA para o modelo linear que relaciona a textura com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas não congeladas.

Tabela 15 – Coeficientes de regressão para a textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (2)	p	Limite Cnf. -75%	Limite Cnf. +75%
Média	340,59*	7,77*	43,83*	0,00*	328,13*	353,05*
Açúcar (L)	-26,09*	4,76*	-5,48*	0,03*	-33,72*	-18,46*
Açúcar (Q)	3,48	5,66	0,61	0,60	-5,60	12,56
Gordura (L)	-28,51*	4,76*	-5,99*	0,03*	-36,14*	-20,88*
Gordura (Q)	9,91*	5,66*	1,75*	0,22*	0,82*	18,99*
Interação	27,62*	6,73*	4,10*	0,05*	16,83*	38,42*

* valores estatisticamente significativos a 75% de confiança ($p < 0,25$)

L: linear; Q: quadrático

Tabela 16 – Tabela ANOVA para a textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	15486,00	4	3871,50	6,87	1,79
Resíduos	3380,52	6	563,42		
Falta de ajuste	3018,28	4	754,57		
Erro puro	362,24	2	181,12		
Total	18866,52	10	1886,65		

% de variação explicada (R^2) = 82,44

% de máxima variação explicável ($SQ_T - SQ_{EP}$) / SQ_T = 98,08

Coefficiente de correlação (R) = 0,91

A equação do modelo, para previsão da textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas, é:

$$T = 340,59 - 26,09 \cdot A - 28,51 \cdot G + 9,91 \cdot G^2$$

Onde 'T' é a textura, expressa em gf, 'A' é o teor de açúcar, expresso em percentual (bf), e 'G' é o teor de gordura, expresso em percentual (bf).

A superfície de resposta e a curva de contorno para o modelo que relaciona a textura com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas não congeladas, são mostradas nas Figs. 11 e 12.

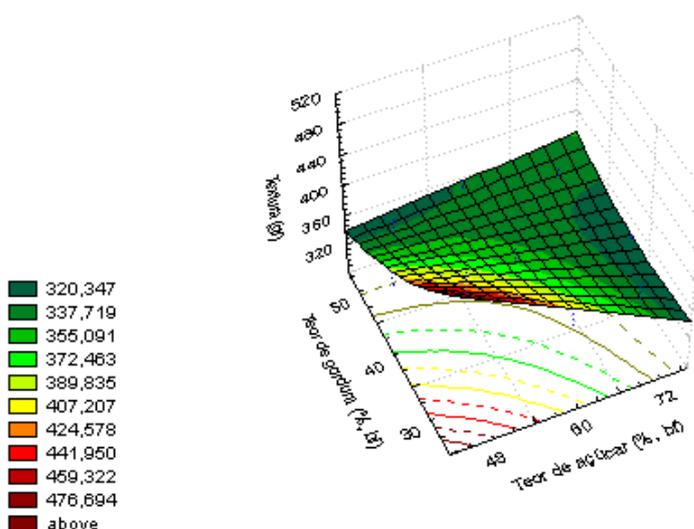


Figura 11 – Superfície de resposta para a textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

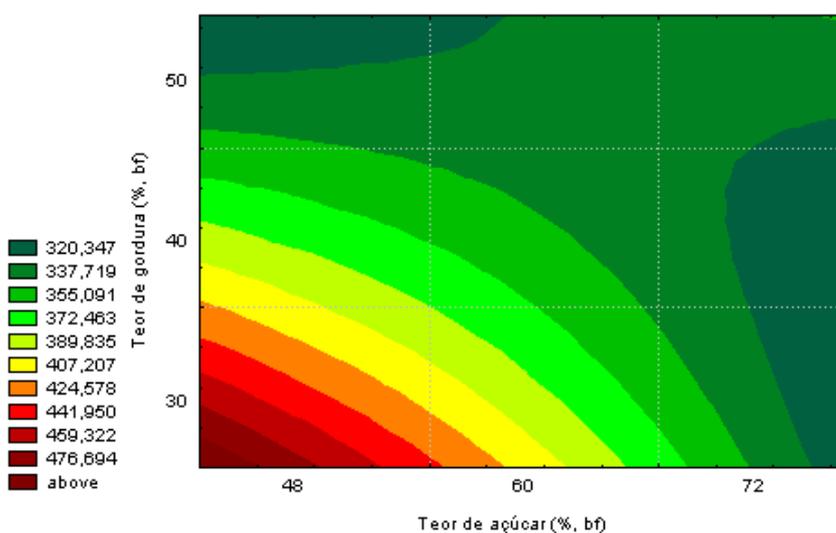


Figura 12 – Curva de contorno para a textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas

Observando as Figs. 11 e 12, constata-se que, dentro da faixa estudada, os menores valores de textura dos bolos produzidos a partir de massas não congeladas (bolos mais macios) serão obtidos com teores de açúcar acima de 72% ou teores de gordura acima de 50%. O comportamento apresentado pela textura é resultado da combinação de dois efeitos: a atuação do açúcar, como amaciante (RONDA et al., 2005), e a atuação da gordura na uniformidade estrutural da massa.

4.3.2 Massas congeladas e imediatamente descongeladas

A Tab. 17 mostra os resultados obtidos para as massas congeladas e imediatamente descongeladas.

Tabela 17 – Valores médios das variáveis respostas medidas nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Trat.	Vol. esp. (cm ³ ·g ⁻¹)	Umidade (%)	Escore (total)	Escore (estrutura)	Escore (textura)	Textura (gf)
01	2,42	33,04	85	19	32	291,1
02	2,57	29,99	86	22	30	244,7
03	2,43	32,02	91	23	34	275,9
04	2,41	30,01	90	22	34	267,4
05	2,41	31,45	89	21	34	268,0
06	2,49	31,97	88	22	32	250,0
07	2,54	31,53	88	22	32	274,2
08	2,43	32,05	83	21	30	340,3
09	2,45	30,47	87	19	34	250,1
10	2,54	29,68	89	25	30	205,3
11	2,41	31,99	83	21	28	370,1

4.3.2.1 Efeito da formulação da massa na qualidade do bolo

Os valores mostrados na Tab. 17 foram submetidos a tratamento estatístico, de forma a determinar os efeitos da formulação sobre as variáveis respostas e suas respectivas magnitudes, os intervalos de confiança e a correlação para cada resposta. Os resultados da análise estatística são apresentados na Tab. 18.

Tabela 18 – Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua interação nas variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Efeito	Vol. esp. (cm ³ ·g ⁻¹)	Umidade (%)	Escore (total)	Escore (estrutura)	Escore (textura)	Textura (gf)
Teor de açúcar	0,065	-2,53*	0	1*	-1	-27,45*
Teor de gordura	-0,075	-0,5*	5*	2*	3*	3,75
Açúcar x Gordura	-0,085	0,52*	-1*	-2*	1	18,95
Intervalo de confiança (%)	95	75	75	75	85	80
Determinação (R ²)	0,64	0,94	0,97	0,93	0,80	0,75

* Efeitos estatisticamente significativos para os respectivos intervalos de confiança

Os efeitos estatisticamente significativos, conforme apresentado na Tab. 18, são mostrados graficamente na Fig. 13.

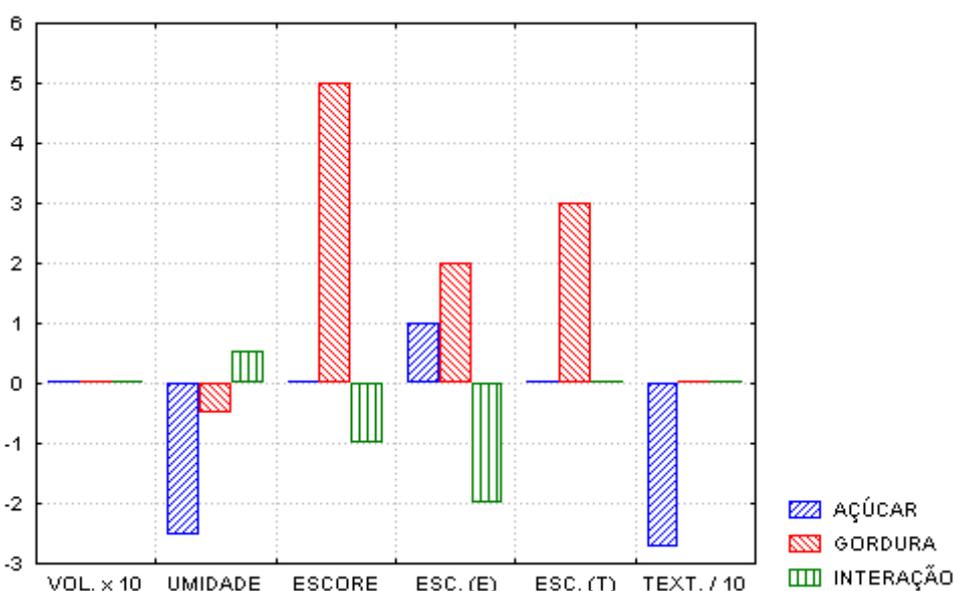


Figura 13 – Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua interação nas variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Observando-se a Fig. 13, pode-se perceber que o aumento no teor de açúcar de 48 para 72% (bf) resultou em efeito positivo sobre o escore da estrutura e em efeito negativo sobre a umidade do miolo e a textura. O aumento do teor de gordura de 30 para 50% (bf) teve efeito positivo sobre o escore tecnológico, o escore da estrutura e o escore da textura, e efeito negativo sobre a umidade do miolo. A

interação entre as variáveis apresentou efeito positivo sobre a umidade do miolo e efeito negativo sobre o escore tecnológico e o escore da estrutura.

4.3.2.2 Verificação de modelos empíricos lineares que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas

Para a verificação dos modelos empíricos lineares que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas considerou-se somente a porção linear do planejamento experimental. Foram considerados preditivos os modelos que apresentaram um valor de F calculado pelo menos três vezes maior que o tabelado. Os resultados do teste F para as massas congeladas e imediatamente descongeladas são mostrados na Tab. 19.

Tabela 19 – Valores de F calculado e F tabelado para as variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Variável	Intervalo de confiança (%)	F calculado (FC)	F tabelado (FT)	FC/FT	Modelo*
Umidade do miolo	75	16,84	2,36	7,14	P
Escore tecnológico	75	60,67	2,00	30,34	P
Escore (estrutura)	75	12,60	2,36	5,34	P
Escore (textura)	85	9,54	3,27	2,92	NP
Textura	80	5,06	2,48	2,04	NP

* P: modelo preditivo; NP: modelo não preditivo

Para as massas congeladas e imediatamente descongeladas, foram considerados preditivos os modelos lineares para a umidade do miolo, o escore tecnológico e o escore da estrutura, conforme Tab. 19.

4.3.2.2.1 Verificação do modelo linear para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

As Tabs. 20 e 21 apresentam os coeficientes de regressão e a ANOVA para o modelo linear que relaciona a umidade do miolo com a formulação, para os bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.

Tabela 20 – Coeficientes de regressão para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (2)	p	Limite Cnf. -75%	Limite Cnf. +75%
Média	31,43*	0,10*	296,98*	0,00*	31,26*	31,60*
Açúcar	-1,26*	0,14*	-9,04*	0,01*	-1,49*	-1,04*
Gordura	-0,25*	0,14*	-1,78*	0,22*	-0,47*	-0,02*
Interação	0,26*	0,14*	1,86*	0,20*	0,04*	0,48*

* valores estatisticamente significativos a 75% de confiança ($p < 0,25$)

Tabela 21 – Tabela ANOVA para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	6,92	3	2,31	16,84	2,36
Resíduos	0,41	3	0,14		
Falta de ajuste	0,25	1	0,25		
Erro puro	0,16	2	0,08		
Total	7,33	6	1,22		

% de variação explicada (R^2) = 94,40

% de máxima variação explicável ($SQ_T - SQ_{EP}$) / SQ_T = 97,82

Coeficiente de correlação (R) = 0,97

A equação do modelo, para previsão da umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas, é:

$$U = 31,43 - 1,26 \cdot A - 0,25 \cdot G + 0,26 \cdot A \cdot G$$

Onde 'U' é a umidade do miolo, expressa em percentual, 'A' é o teor de açúcar, expresso em percentual (bf), e 'G' é o teor de gordura, expresso em percentual (bf).

A superfície de resposta e a curva de contorno para o modelo que relaciona a umidade do miolo com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas, são mostradas nas Figs. 14 e 15.

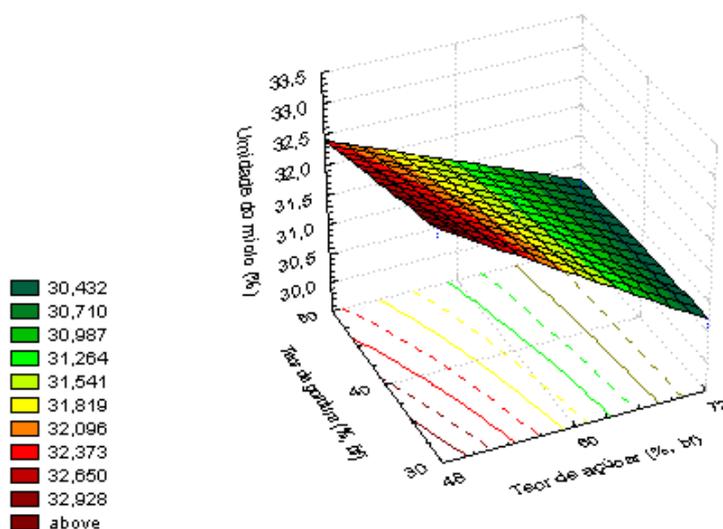


Figura 14 – Superfície de resposta para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

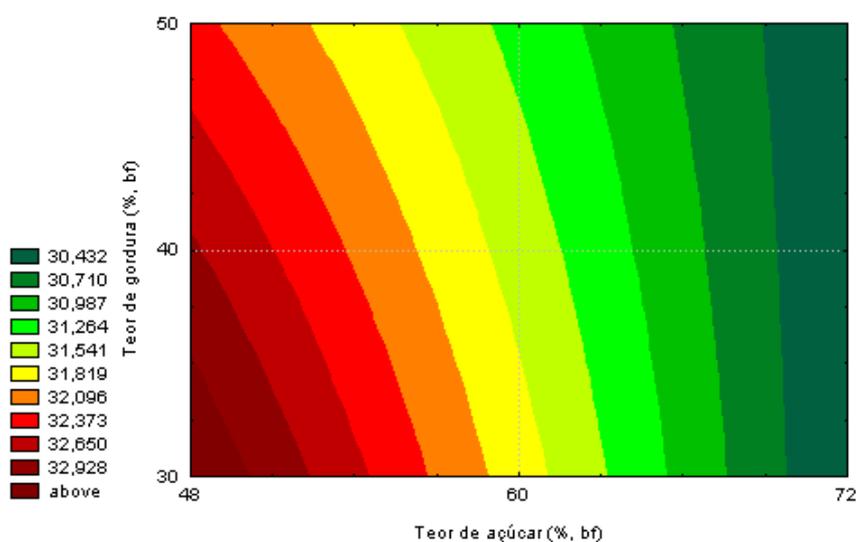


Figura 15 – Curva de contorno para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Observando as Figs. 14 e 15, constata-se que a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas é praticamente independente do teor de gordura (exceto em teores de açúcar muito baixos). Para a faixa estudada, os maiores valores de umidade serão obtidos com teor de açúcar de 48% e teor de gordura de 30%. Da mesma forma que nos bolos obtidos a partir de massas não congeladas, o comportamento da umidade do miolo é função do caráter hidrofílico do açúcar e, para baixos teores de açúcar, é também levemente influenciado pelo caráter hidrofóbico da gordura.

4.3.2.2 Verificação do modelo linear para o escore tecnológico dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

As Tabs. 22 e 23 apresentam os coeficientes de regressão e a ANOVA para o modelo linear que relaciona o escore tecnológico com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.

Tabela 22 – Coeficientes de regressão para o escore tecnológico dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (2)	p	Limite Cnf. -75%	Limite Cnf. +75%
Média	88,14*	0,22*	403,92*	0,00*	87,79*	88,49*
Açúcar	0,00	0,29	0,00	1,00	-0,46	0,46
Gordura	2,50*	0,29*	8,66*	0,01*	2,04*	2,96*
Interação	-0,50*	0,29*	-1,73*	0,22*	-0,96*	-0,04*

* valores estatisticamente significativos a 75% de confiança ($p < 0,25$)

Tabela 23 – Tabela ANOVA para o escore tecnológico dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	26,00	2	13,00	60,67	2,00
Resíduos	0,86	4	0,21		
Falta de ajuste	0,19	2	0,10		
Erro puro	0,67	2	0,33		
Total	26,86	6	4,48		

% de variação explicada (R^2) = 96,81

% de máxima variação explicável ($SQ_T - SQ_{EP}$) / SQ_T = 97,50

Coefficiente de correlação (R) = 0,98

A equação do modelo, para previsão do escore tecnológico dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas, é:

$$E = 88,14 + 2,50 \cdot G - 0,50 \cdot A \cdot G$$

Onde 'E' é o escore tecnológico, 'A' é o teor de açúcar, expresso em percentual (bf), e 'G' é o teor de gordura, expresso em percentual (bf).

A superfície de resposta e a curva de contorno para o modelo que relaciona o escore tecnológico com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas, são mostradas nas Figs. 16 e 17.

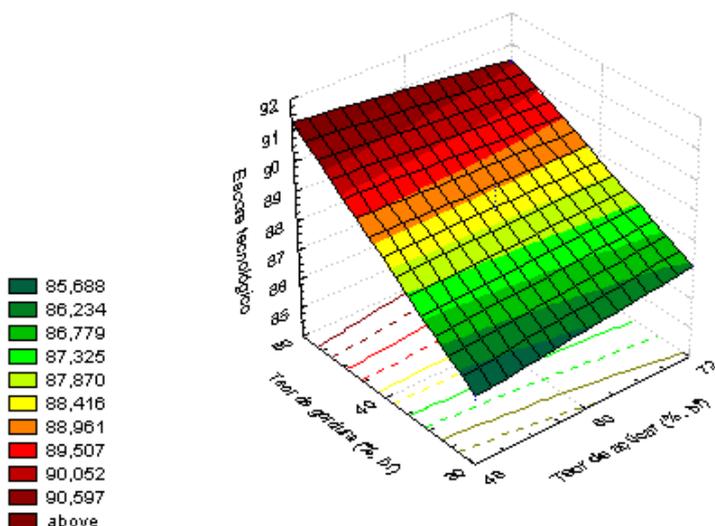


Figura 16 – Superfície de resposta para o escore tecnológico dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

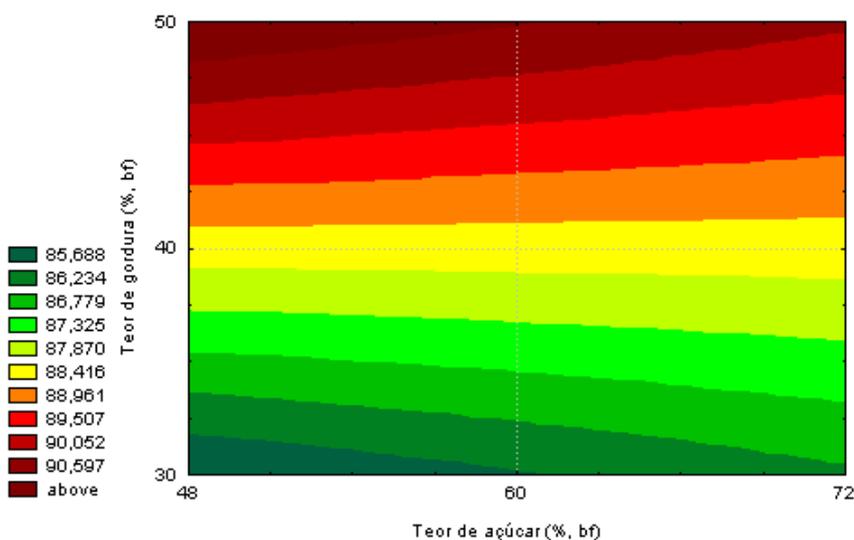


Figura 17 – Curva de contorno para o escore tecnológico dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Observado as Figs. 16 e 17, constata-se que o escore tecnológico dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas é praticamente independente do teor de açúcar. Os maiores escores, dentro da faixa

estudada, serão obtidos com teores de gordura de 50%. Isto pode ser explicado pelo papel estrutural da gordura, na distribuição das bolhas de ar, visto que o escore tecnológico está diretamente relacionado com atributos estruturais.

4.3.2.2.3 Verificação do modelo linear para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

As Tabs. 24 e 25 apresentam os coeficientes de regressão e a ANOVA para o modelo linear que relaciona o escore da estrutura com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.

Tabela 24 – Coeficientes de regressão para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (2)	p	Limite Cnf. -75%	Limite Cnf. +75%
Média	21,57*	0,22*	98,85*	0,00*	21,22*	21,92*
Açúcar	0,50*	0,29*	1,73*	0,22*	0,04*	0,96*
Gordura	1,00*	0,29*	3,46*	0,07*	0,54*	1,46*
Interação	-1,00*	0,29*	-3,46*	0,07*	-1,46*	-0,54*

* valores estatisticamente significativos a 75% de confiança ($p < 0,25$)

Tabela 25 – Tabela ANOVA para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	9,00	3	3,00	12,60	2,36
Resíduos	0,71	3	0,24		
Falta de ajuste	0,05	1	0,05		
Erro puro	0,67	2	0,33		
Total	9,71	6	1,62		

% de variação explicada (R^2) = 92,65

% de máxima variação explicável ($SQ_T - SQ_{EP}$) / SQ_T = 93,10

Coeficiente de correlação (R) = 0,96

A equação do modelo, para previsão do escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas, é:

$$E_E = 21,57 + 0,50 \cdot A + 1,00 \cdot G - 1,00 \cdot A \cdot G$$

Onde 'E_E' é o escore da estrutura, 'A' é o teor de açúcar, expresso em percentual (bf), e 'G' é o teor de gordura, expresso em percentual (bf).

A superfície de resposta e a curva de contorno para o modelo que relaciona o escore da estrutura com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas, são mostradas nas Figs. 18 e 19.

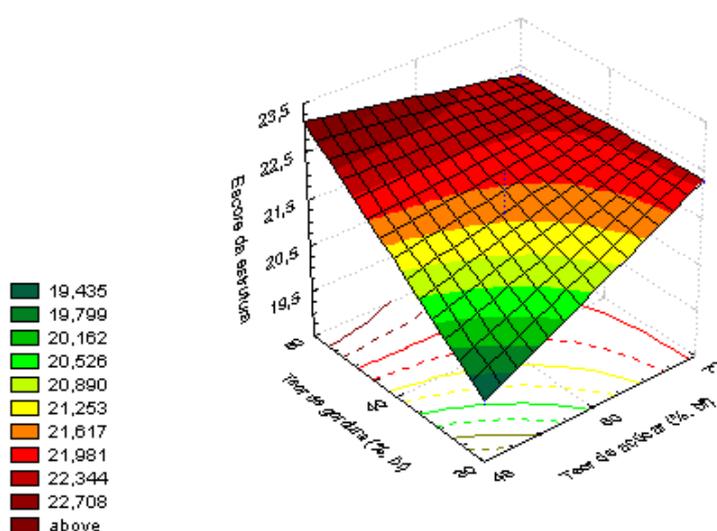


Figura 18 – Superfície de resposta para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

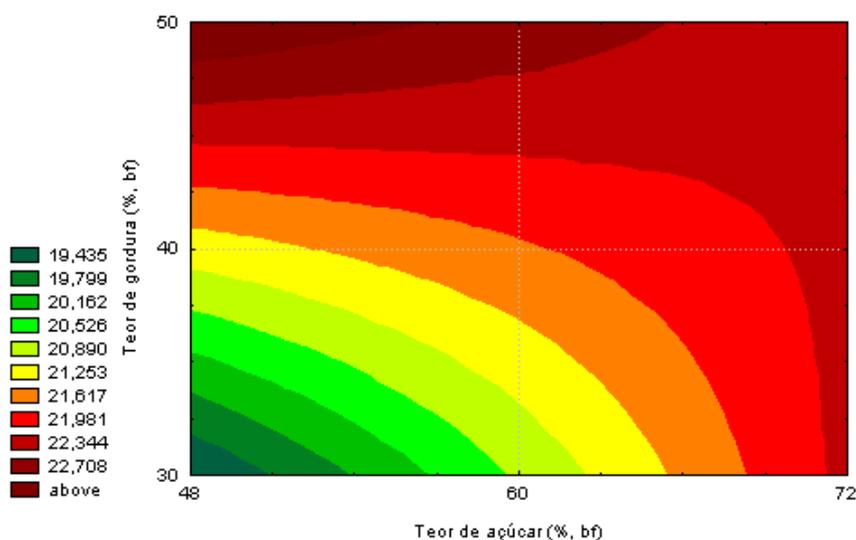


Figura 19 – Curva de contorno para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Observando as Figs. 18 e 19, constata-se que os maiores valores de escore da estrutura nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas são obtidos com teores de açúcar próximos a 72% ou teores de gordura próximos a 50%. Para gerar este comportamento, a gordura age da mesma forma descrita para o escore tecnológico. Já o papel do açúcar provavelmente esteja relacionado a sua interferência na formação do glúten.

4.3.2.3 Verificação de modelos empíricos quadráticos que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas

Para a verificação dos modelos empíricos quadráticos que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas considerou-se todo o planejamento experimental, incluindo os pontos axiais. Foram considerados preditivos os modelos que apresentaram um valor de F calculado pelo menos três vezes maior que o tabelado. Os resultados do teste F para as massas congeladas e imediatamente descongeladas são mostrados na Tab. 26.

Tabela 26 – Valores de F calculado e F tabelado para as variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Variável	Intervalo de confiança (%)	F calculado (FC)	F tabelado (FT)	FC/FT	Modelo*
Escore (textura)	75	8,41	1,66	5,07	P
Textura	90	3,81	3,07	1,24	NP

* P: modelo preditivo; NP: modelo não preditivo

Para as massas congeladas e imediatamente descongeladas, foi considerado preditivo o modelo quadrático para o escore da textura, conforme Tab. 26.

4.3.2.3.1 Verificação do modelo quadrático para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

As Tabs. 27 e 28 apresentam os coeficientes de regressão e a ANOVA para o modelo quadrático que relaciona o escore da textura com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.

Tabela 27 – Coeficientes de regressão para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (2)	p	Limite Cnf. -75%	Limite Cnf. +75%
Média	32,67*	0,67*	49,00*	0,00*	31,60*	33,74*
Açúcar (L)	-0,25	0,41	-0,61	0,60	-0,90	0,40
Açúcar (Q)	-0,83*	0,49*	-1,71*	0,23*	-1,61*	-0,05*
Gordura (L)	1,81*	0,41*	4,44*	0,05*	1,16*	2,46*
Gordura (Q)	-0,33	0,49	-0,68	0,56	-1,11	0,45
Interação	0,50	0,58	0,87	0,48	-0,42	1,42

* valores estatisticamente significativos a 75% de confiança ($p < 0,25$)

L: linear; Q: quadrático

Tabela 28 – Tabela ANOVA para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	29,57	2	14,78	8,41	1,66
Resíduos	14,07	8	1,76		
Falta de ajuste	11,40	6	1,90		
Erro puro	2,67	2	1,33		
Total	43,64	10	4,36		

% de variação explicada (R^2) = 72,63

% de máxima variação explicável ($SQ_T - SQ_{EP}$) / SQ_T = 93,88

Coefficiente de correlação (R) = 0,85

A equação do modelo, para previsão do escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas, é:

$$E_T = 32,67 - 0,83 \cdot A^2 + 1,81 \cdot G$$

Onde 'E_T' é o escore da textura, 'A' é o teor de açúcar, expresso em percentual (bf), e 'G' é o teor de gordura, expresso em percentual (bf).

A superfície de resposta e a curva de contorno para o modelo que relaciona o escore da textura com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas, são mostradas nas Figs. 20 e 21.

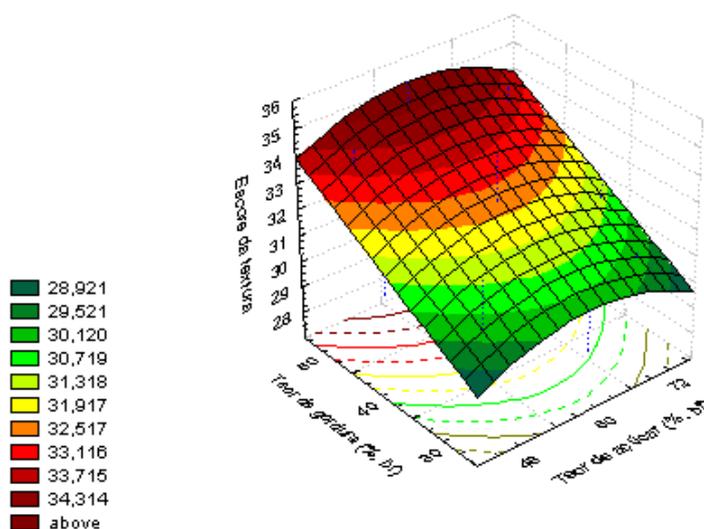


Figura 20 – Superfície de resposta para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

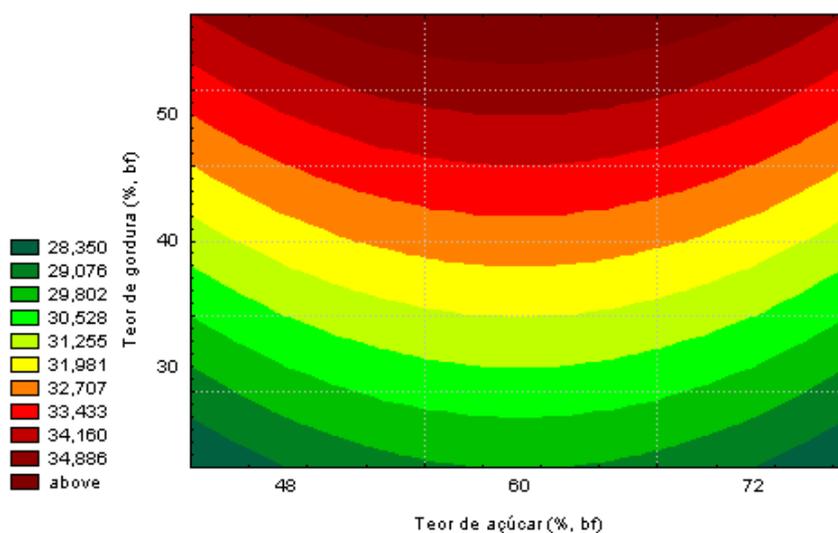


Figura 21 – Curva de contorno para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas

Observando as Figs. 20 e 21, constata-se que o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas depende principalmente do teor de gordura. Na faixa estudada, os maiores escores serão obtidos com teor de açúcar de 60% e teor de gordura acima de 50%. Assim como no escore tecnológico e escore da estrutura, a atuação da gordura uniformizando a distribuição do ar no interior da massa explica este comportamento.

4.3.3 Massas armazenadas sob congelamento

A Tab. 29 mostra os resultados obtidos para as massas armazenadas sob congelamento.

Tabela 29 – Valores médios das variáveis respostas medidas nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Trat.	Vol. esp. (cm ³ ·g ⁻¹)	Umidade (%)	Escore (total)	Escore (estrutura)	Escore (textura)
01	2,52	28,62	86	22	30
02	2,60	27,36	86	24	28
03	2,13	29,96	81	16	31
04	2,16	27,02	82	18	30
05	2,28	29,08	82	18	30
06	2,48	30,22	84	20	30
07	2,32	29,01	88	24	30
08	2,32	30,02	86	22	30
09	2,36	29,00	82	16	32
10	2,67	28,42	86	22	30
11	2,40	30,25	86	22	30

4.3.3.1 Efeito da formulação da massa na qualidade do bolo

Os valores mostrados na Tab. 29 foram submetidos a tratamento estatístico, de forma a determinar os efeitos da formulação sobre as variáveis respostas e suas respectivas magnitudes, os intervalos de confiança e a correlação para cada resposta. Os resultados da análise estatística são apresentados na Tab. 30.

Tabela 30 – Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua interação nas variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Efeito	Vol. esp. (cm ³ ·g ⁻¹)	Umidade (%)	Escore (total)	Escore (estrutura)	Escore (textura)
Teor de açúcar	0,055	-2,1*	0,5	2	-1,5*
Teor de gordura	-0,415*	0,5	-4,5	-6*	1,5*
Açúcar x Gordura	-0,025	-0,84	0,5	0	0,5*
Intervalo de confiança (%)	90	90	95	80	90
Determinação (R ²)	0,89	0,61	0,51	0,67	0,98

* Efeitos estatisticamente significativos para os respectivos intervalos de confiança

Os efeitos estatisticamente significativos, conforme apresentado na Tab. 30, são mostrados graficamente na Fig. 22.

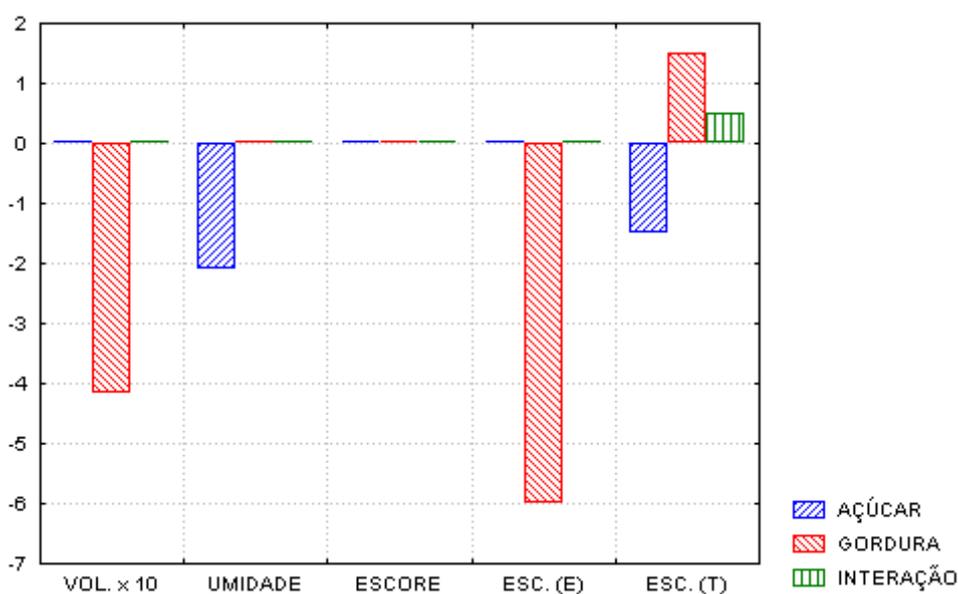


Figura 22 - Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua interação nas variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Observando-se a Fig. 22, pode-se perceber que o aumento no teor de açúcar de 48 para 72% (bf) resultou em efeito negativo sobre a umidade do miolo e o escore da textura. O aumento no teor de gordura de 30 para 50% (bf) teve efeito positivo sobre o escore da textura e efeito negativo sobre o volume específico e o escore da estrutura. A interação entre as variáveis apresentou efeito positivo sobre o escore da textura.

4.3.3.2 Verificação de modelos empíricos lineares que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas

Para a verificação dos modelos empíricos lineares que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas considerou-se somente a porção linear do planejamento experimental. Foram considerados preditivos os modelos que apresentaram um valor de F calculado pelo menos três vezes maior que o tabelado. Os resultados do teste F para as massas armazenadas sob congelamento são mostrados na Tab. 31.

Tabela 31 – Valores de F calculado e F tabelado para as variáveis respostas dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Variável	Intervalo de confiança (%)	F calculado (FC)	F tabelado (FT)	FC/FT	Modelo*
Volume específico	90	32,93	4,06	8,11	P
Umidade do miolo	75	5,09	1,69	3,01	P
Escore (estrutura)	80	7,68	2,48	3,10	P
Escore (textura)	90	44,33	5,39	8,22	P

* P: modelo preditivo

Para as massas armazenadas sob congelamento, foram considerados preditivos os modelos lineares para a umidade do miolo, o volume específico, o escore da estrutura e o escore da textura, conforme Tab. 31.

4.3.3.2.1 Verificação do modelo linear para o volume específico dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

As Tabs. 32 e 33 apresentam os coeficientes de regressão e a ANOVA para o modelo linear que relaciona o volume específico com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento.

Tabela 32 – Coeficientes de regressão para o volume específico dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (2)	p	Limite Cnf. -90%	Limite Cnf. +90%
Média	2,36*	0,04*	58,89*	0,00*	2,24*	2,47*
Açúcar	0,03	0,05	0,52	0,66	-0,13	0,18
Gordura	-0,21*	0,05*	-3,92*	0,06*	-0,36*	-0,05*
Interação	-0,01	0,05	-0,24	0,84	-0,17	0,14

* valores estatisticamente significativos a 90% de confiança ($p < 0,10$)

Tabela 33 – Tabela ANOVA para o volume específico dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	0,17	1	0,17	32,93	4,06
Resíduos	0,03	5	0,00		
Falta de ajuste	0,00	3	0,00		
Erro puro	0,02	2	0,01		
Total	0,20	6	0,03		

% de variação explicada (R^2) = 88,66

% de máxima variação explicável ($SQ_T - SQ_{EP}$) / SQ_T = 90,00

Coeficiente de correlação (R) = 0,94

A equação do modelo, para previsão do volume específico dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento, é:

$$V = 2,36 - 0,21 \cdot G$$

Onde 'V' é o volume específico, expresso em $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$, e 'G' é o teor de gordura, expresso em percentual (bf).

A superfície de resposta e a curva de contorno para o modelo que relaciona o volume específico com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento, são mostradas nas Figs. 23 e 24.

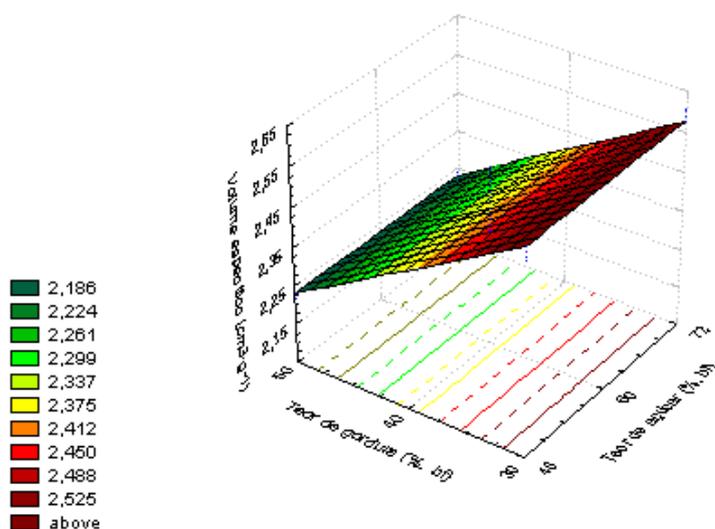


Figura 23 – Superfície de resposta para o volume específico dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

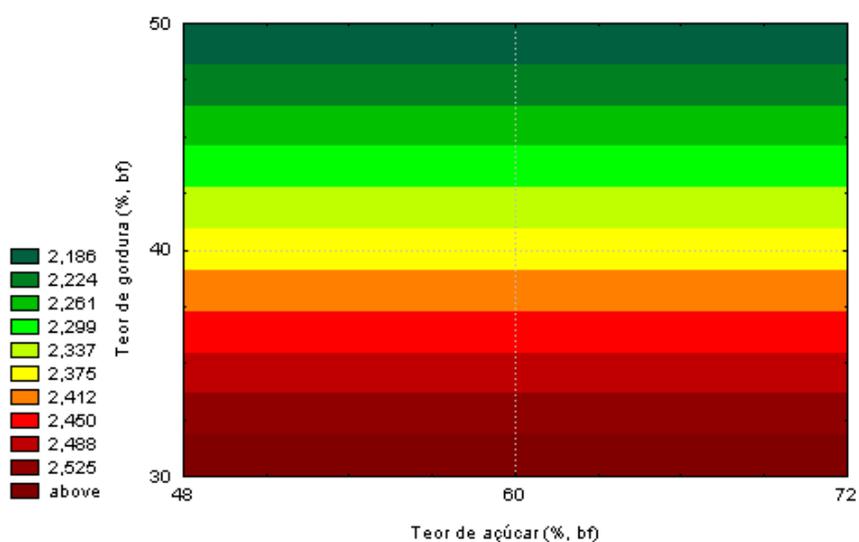


Figura 24 – Curva de contorno para o volume específico dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Observando as Figs. 23 e 24, constata-se que o volume específico dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento é independente do teor de açúcar. O volume específico será tanto maior quanto menor for o teor de gordura. A gordura torna a estrutura da massa mais homogênea, fazendo com que os cristais de gelo fiquem uniformemente distribuídos; assim, com o armazenamento sob congelamento, os cristais de gelo crescem e provocam danos em toda a rede de glúten, prejudicando o volume específico.

4.3.3.2.2 Verificação do modelo linear para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

As Tabs. 34 e 35 apresentam os coeficientes de regressão e a ANOVA para o modelo linear que relaciona a umidade do miolo com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento.

Tabela 34 – Coeficientes de regressão para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (2)	p	Limite Cnf. -75%	Limite Cnf. +75%
Média	28,75*	0,26*	111,99*	0,00*	28,34*	29,16*
Açúcar	-1,05*	0,34*	-3,09*	0,09*	-1,59*	-0,50*
Gordura	0,25	0,34	0,74	0,54	-0,29	0,79
Interação	-0,42	0,34	-1,24	0,34	-0,96	0,12

* valores estatisticamente significativos a 75% de confiança ($p < 0,25$)

Tabela 35 – Tabela ANOVA para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	4,41	1	4,41	5,09	1,69
Resíduos	4,33	5	0,87		
Falta de ajuste	3,41	3	1,14		
Erro puro	0,92	2	0,46		
Total	8,74	6	1,46		

% de variação explicada (R^2) = 61,37

% de máxima variação explicável ($SQ_T - SQ_{EP}$) / SQ_T = 89,47

Coefficiente de correlação (R) = 0,78

A equação do modelo, para previsão da umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento, é:

$$U = 28,75 - 1,05 \cdot A$$

Onde 'U' é a umidade do miolo, expressa em percentual, e 'A' é o teor de açúcar, expresso em percentual (bf).

A superfície de resposta e a curva de contorno para o modelo que relaciona a umidade do miolo com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento, são mostradas nas Figs. 25 e 26.

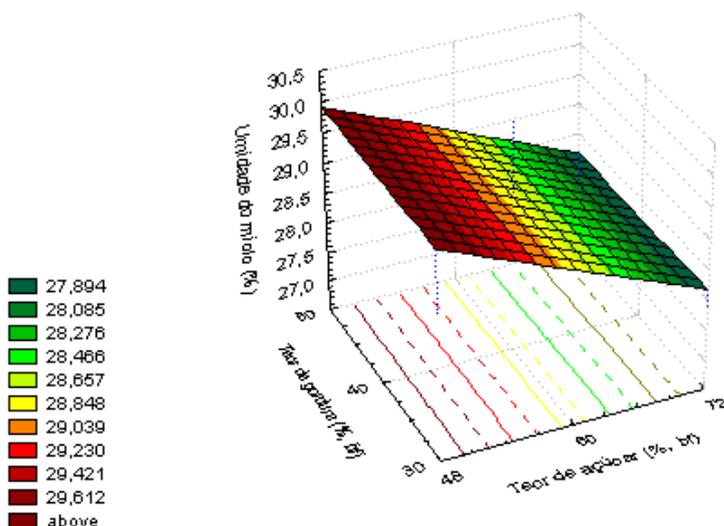


Figura 25 – Superfície de resposta para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

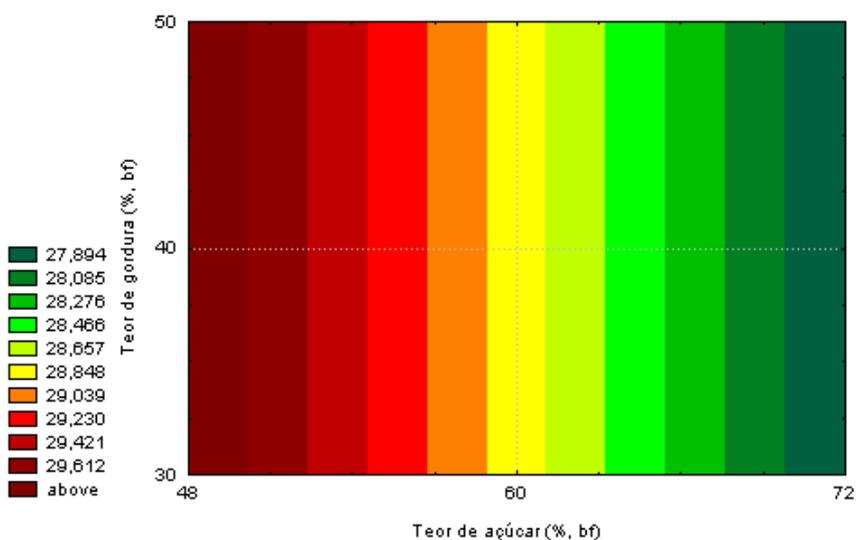


Figura 26 – Curva de contorno para a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Observando as Figs. 25 e 26, constata-se que a umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento é independente do teor de gordura. A umidade será tanto maior quanto menor for o teor de açúcar.

Assim como para as outras condições de processamento das massas, este comportamento é resultado do caráter hidrofílico do açúcar.

4.3.3.2.3 Verificação do modelo linear para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

As Tabs. 36 e 37 apresentam os coeficientes de regressão e a ANOVA para o modelo linear que relaciona o escore da estrutura com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento.

Tabela 36 – Coeficientes de regressão para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (2)	p	Limite Cnf. -80%	Limite Cnf. +80%
Média	20,28*	1,15*	17,57*	0,00*	18,11*	22,46*
Açúcar	1,00	1,53	0,65	0,58	-1,88	3,88
Gordura	-3,00*	1,53*	-1,96*	0,19*	-5,88*	-0,12*
Interação	0,00	1,53	0,00	1,00	-2,88	2,88

* valores estatisticamente significativos a 80% de confiança ($p < 0,20$)

Tabela 37 – Tabela ANOVA para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	36,00	1	36,00	7,68	2,48
Resíduos	23,43	5	4,68		
Falta de ajuste	4,76	3	1,59		
Erro puro	18,67	2	9,33		
Total	59,43	6	9,90		

% de variação explicada (R^2) = 67,31

% de máxima variação explicável ($SQ_T - SQ_{EP}$) / SQ_T = 68,58

Coeficiente de correlação (R) = 0,82

A equação do modelo, para previsão do escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento, é:

$$E_E = 20,28 - 3,00 \cdot G$$

Onde 'E_E' é o escore da estrutura, e 'G' é o teor de gordura, em percentual (bf).

A superfície de resposta e a curva de contorno para o modelo que relaciona o escore da estrutura com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento, são mostradas nas Figs. 27 e 28.

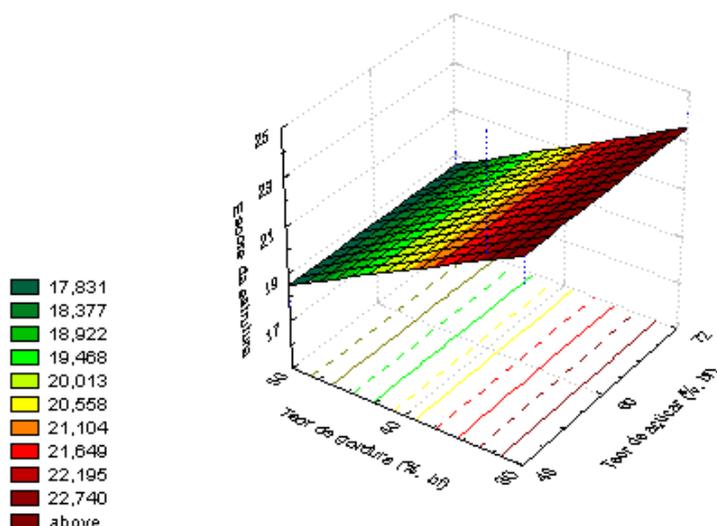


Figura 27 – Superfície de resposta para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

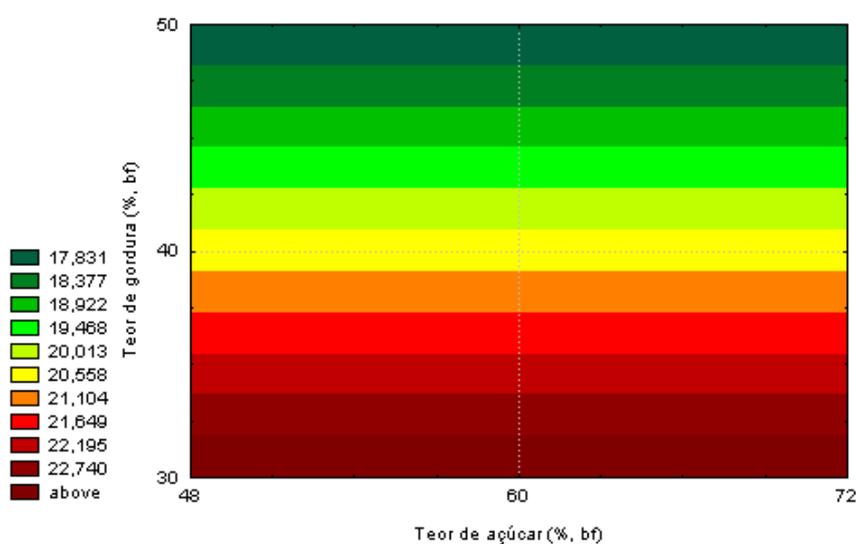


Figura 28 – Curva de contorno para o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Observando as Figs. 27 e 28, constata-se que o escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento é

independente do teor de açúcar. O score será tanto maior quanto menor for o teor de gordura. Da mesma forma como acontece no volume específico, a gordura uniformiza a distribuição dos cristais de gelo na massa, fazendo com que os danos pelo crescimento destes prejudiquem a estrutura do bolo.

4.3.3.2.4 Verificação do modelo linear para o score da textura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

As Tabs. 38 e 39 apresentam os coeficientes de regressão e a ANOVA para o modelo linear que relaciona o score da textura com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento.

Tabela 38 – Coeficientes de regressão para o score da textura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (2)	p	Limite Cnf. -90%	Limite Cnf. +90%
Média	29,86*	0,07*	418,00*	0,00*	29,69*	30,02*
Açúcar	-0,75*	0,09*	-7,94*	0,00*	-0,97*	-0,53*
Gordura	0,75*	0,09*	7,94*	0,00*	0,53*	0,97*
Interação	0,25*	0,09*	2,64*	0,08*	0,03*	0,47*

* valores estatisticamente significativos a 90% de confiança ($p < 0,10$)

Tabela 39 – Tabela ANOVA para o score da textura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	4,75	3	1,58	44,33	5,39
Resíduos	0,11	3	0,04		
Falta de ajuste	0,11	1	0,11		
Erro puro	0,00	2	0,00		
Total	4,86	6	0,81		

% de variação explicada (R^2) = 97,79

% de máxima variação explicável ($SQ_T - SQ_{EP}$) / SQ_T = 100,00

Coefficiente de correlação (R) = 0,99

A equação do modelo, para previsão do escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento, é:

$$E_T = 29,86 - 0,75 \cdot A + 0,75 \cdot G + 0,25 \cdot A \cdot G$$

Onde 'E_T' é o escore da textura, 'A' é o teor de açúcar, expresso em percentual (bf), e 'G' é o teor de gordura, expresso em percentual (bf).

A superfície de resposta e a curva de contorno para o modelo que relaciona o escore da textura com a formulação, nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento, são mostradas nas Figs. 29 e 30.

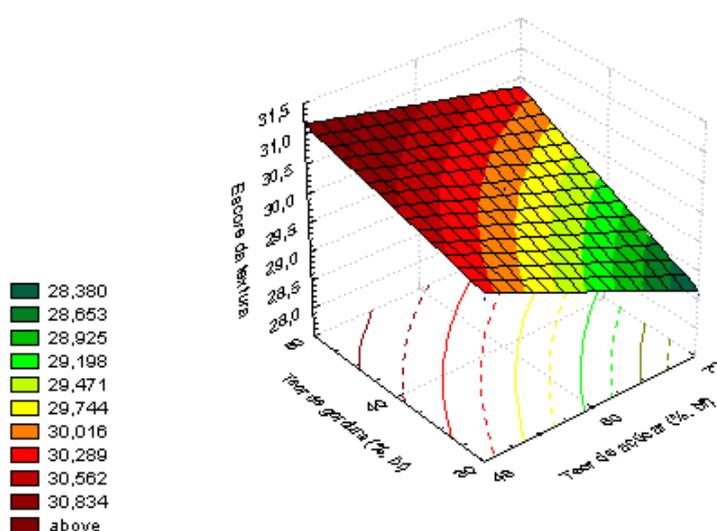


Figura 29 – Superfície de resposta para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

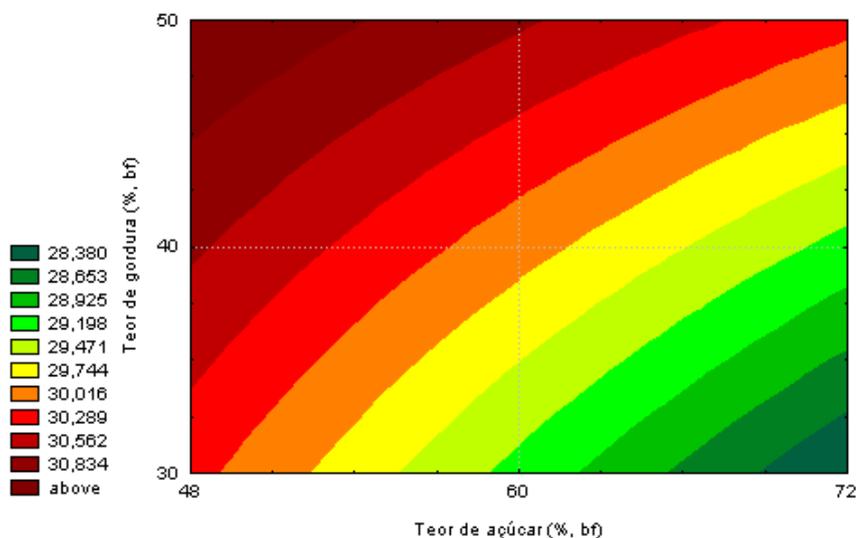


Figura 30 – Curva de contorno para o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento

Observando as Figs. 29 e 30, constata-se que o escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento varia em uma relação direta com o teor de gordura e inversa com o teor de açúcar. Assim, os maiores escores serão obtidos com teores de açúcar próximos a 48% e teores de gordura próximos a 50%. No escore da textura, ao contrário do volume específico e do escore da estrutura, a uniformidade estrutural promovida pela gordura ainda traz resultados positivos. O papel do açúcar pode ser explicado pela sua ligação com o teor de água livre, que influi nos atributos do escore.

4.3.3.3 Verificação de modelos empíricos quadráticos que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas

Para as massas armazenadas sob congelamento, não foi feita a verificação dos modelos quadráticos, pelo fato de que, para todas as variáveis respostas que apresentaram efeitos significativos, os modelos lineares foram preditivos.

4.3.4 Discussão geral

Considerando-se conjuntamente os efeitos da formulação da massa na qualidade do bolo para as três condições estudadas (massas não congeladas, congeladas e imediatamente descongeladas, e armazenadas sob congelamento) pode-se observar como os efeitos variam de uma condição para a outra.

O teor de açúcar exerceu, nas três condições estudadas, efeito negativo sobre a umidade do miolo, explicado pelo seu caráter hidrofílico, reduzindo a quantidade de água livre na massa. Teve também efeito negativo sobre a textura medida por via instrumental, devido à sua atuação como amaciante (RONDA et al., 2005). Nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento, o teor de açúcar apresentou efeito negativo sobre o escore da textura, decorrente da influência da quantidade de água livre.

O teor de gordura exerceu, nas três condições estudadas, efeito positivo sobre o escore da textura, devido ao seu papel de uniformizar a distribuição das bolhas de ar na massa. Na textura medida por via instrumental, isto é confirmado pelo efeito negativo que aparece nas massas não congeladas; nas massas congeladas e imediatamente descongeladas, porém, o efeito não aparece. O papel

da gordura, associado ao congelamento, também gera efeito no escore da estrutura, positivo para as massas imediatamente descongeladas (que, associado ao escore da textura, reflete no escore tecnológico) e negativo para as massas armazenadas sob congelamento. Este efeito é resultado de uma distribuição mais homogênea dos cristais de gelo, que acaba se tornando desfavorável à medida que os mesmos aumentam de tamanho, chegando a afetar negativamente o volume específico após o armazenamento sob congelamento.

A interação entre as variáveis exerceu efeito significativo principalmente nas situações em que os efeitos das duas variáveis também eram significativos. Nestes casos, pôde-se observar que a interação agiu de forma oposta às variáveis isoladas (quando as variáveis tiveram efeito positivo, a interação foi negativa, e vice-versa). Provavelmente isso aconteça devido à formação de agregados gordura/cristal de sacarose (HICSASMAZ et al., 2003), que possuem propriedades diferentes daquelas apresentadas pelos componentes isolados.

Alguns apontamentos também podem ser feitos com base nos modelos empíricos, lineares e quadráticos, obtidos para os diferentes processamentos das massas. Para os bolos produzidos a partir de massas não congeladas os valores mais adequados para os parâmetros de qualidade são obtidos com um teor de açúcar de 48% (maiores valores de umidade do miolo) e um teor de gordura de 50% (maiores escores da textura). Esta formulação também apresenta valores adequados de textura do miolo.

Para os bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas os valores mais adequados para os parâmetros de qualidade também são obtidos com a formulação de 48% de açúcar e 50% de gordura. Essa combinação proporciona os melhores valores de escore tecnológico e escore da estrutura, e valores aceitáveis de umidade do miolo e escore da textura.

Para os bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento os valores mais adequados para os parâmetros de qualidade são obtidos com um teor de açúcar de 48% (maiores valores de umidade do miolo) e um teor de gordura de 30% (maiores valores de volume específico e escore da estrutura). Essa formulação ainda apresenta valores aceitáveis de escore da textura.

4.4 Influência do congelamento e do armazenamento sob congelamento da massa na qualidade do bolo

Para a determinação da influência do congelamento e do armazenamento sob congelamento da massa na qualidade do bolo, os valores dos parâmetros de qualidade dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos (não congeladas, congeladas e imediatamente descongeladas, e armazenadas por 28 dias sob congelamento) foram submetidos ao teste de comparação de médias de Tukey. Para isso, foram considerados somente os ensaios lineares. Os resultados do teste são mostrados na Tab. 40.

Tabela 40 – Comparação de médias dos parâmetros de qualidade dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos

Formulação	Massas não cong.	Massas congeladas	Massas amaz.	Massas não cong.	Massas congeladas	Massas amaz.
Volume específico (cm³.g⁻¹)			Umidade do miolo (%)			
01	2,33a	2,42a	2,52a	31,45ab	33,04a	28,62b
02	2,55a	2,57a	2,60a	27,89b	29,99a	27,36b
03	2,30a	2,43a	2,13b	31,15a	32,02a	29,96b
04	2,33ab	2,41a	2,16b	28,94a	30,01a	27,02b
Escore tecnológico			Escore da estrutura			
01	88a	85a	86a	22a	19a	22a
02	85a	86a	86a	22a	22a	24a
03	90a	91a	81b	22a	23a	16b
04	90a	90a	82b	22a	22a	18b
Escore da textura			Textura (gf)			
01	32a	32a	30a	464,4a	291,1a	-
02	29a	30a	28a	345,6a	244,7b	-
03	34a	34a	31b	342,5a	275,9b	-
04	34a	34a	30b	334,2a	267,4a	-

* Letras iguais, na mesma linha, indicam que não há diferença significativa entre os valores ($p < 0,05$)

Os resultados da Tab. 40 são representados graficamente nas Figs. 31 a 36, separadamente para cada parâmetro de qualidade dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos.

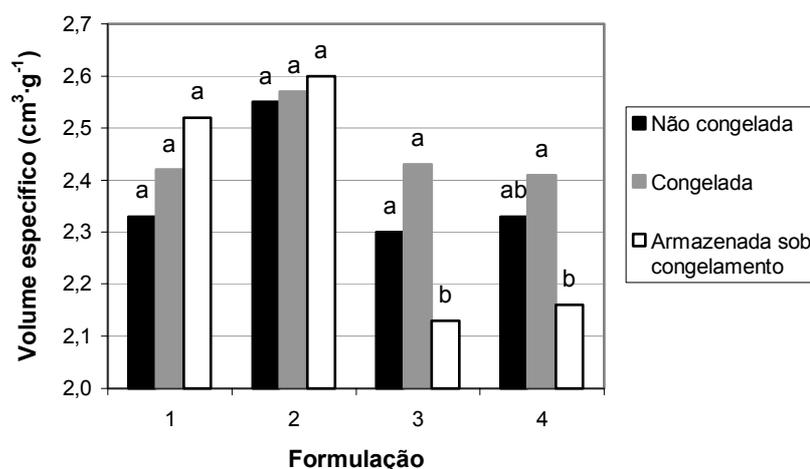


Figura 31 – Comparação de médias do volume específico dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos

Pode-se observar, na Fig. 31, que não houve alteração significativa do volume específico nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas, em relação aos bolos produzidos a partir de massas não congeladas. Nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento houve diminuição do volume específico na formulação 3. Na formulação 4, houve diminuição do volume específico nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento, mas apenas em relação aos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas.

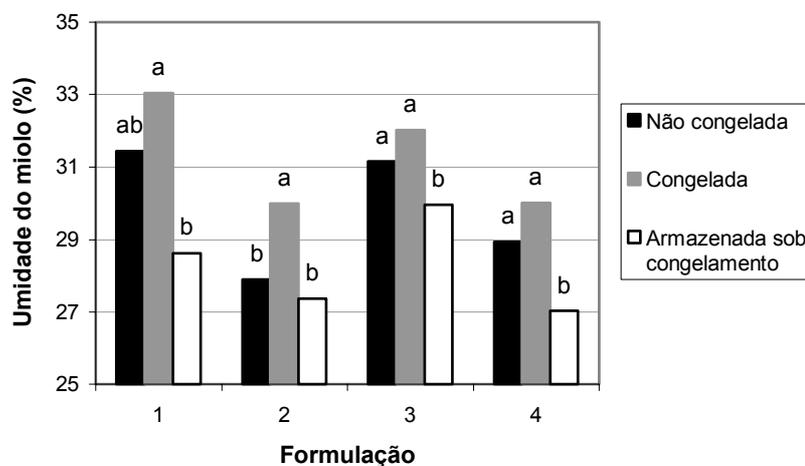


Figura 32 – Comparação de médias da umidade do miolo dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos

Pode-se observar, na Fig. 32, que, nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas, houve aumento da umidade do miolo na formulação 2, em relação aos bolos produzidos a partir de massas não congeladas. Nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento houve diminuição da umidade do miolo nas formulações 3 e 4. A alteração ocorrida na formulação 2 provavelmente é decorrente de características intrínsecas à formulação (alto teor de açúcar e baixo teor de gordura), que resultam em uma menor quantidade de água livre na massa.

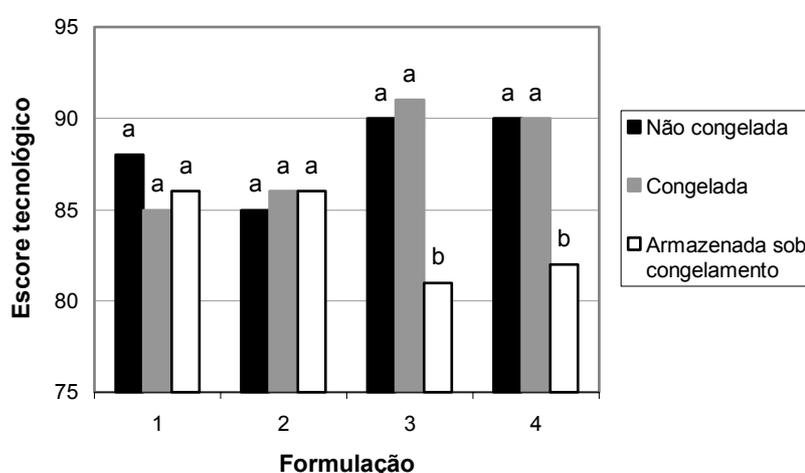


Figura 33 – Comparação de médias do escore tecnológico dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos

Pode-se observar, na Fig. 33, que não houve alteração significativa do escore tecnológico nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas, em relação aos bolos produzidos a partir de massas não congeladas. Nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento houve diminuição do escore tecnológico nas formulações 3 e 4.

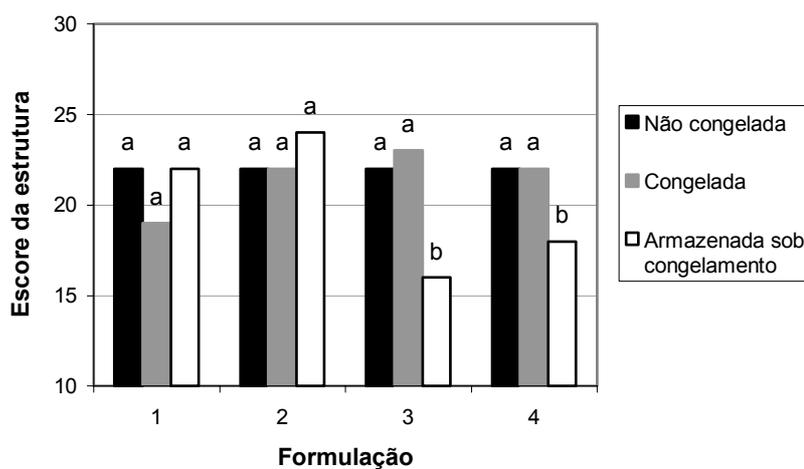


Figura 34 – Comparação de médias do escore da estrutura dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos

Pode-se observar, na Fig. 34, que não houve alteração significativa do escore da estrutura nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas, em relação aos bolos produzidos a partir de massas não congeladas. Nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento houve diminuição do escore da estrutura nas formulações 3 e 4.

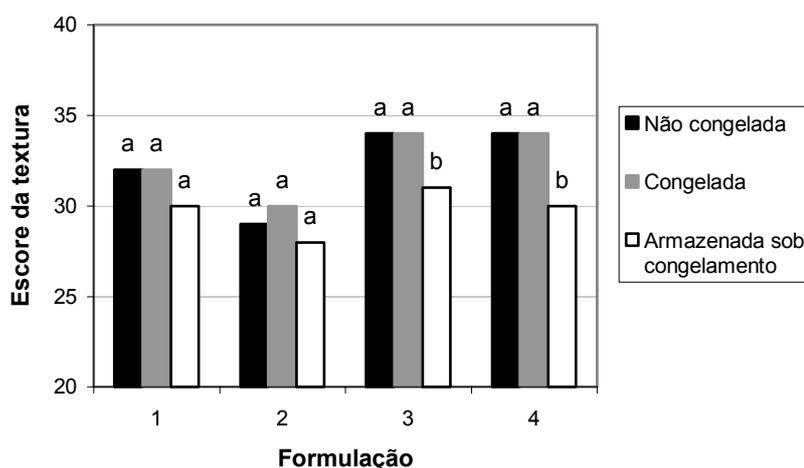


Figura 35 – Comparação de médias do escore da textura dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos

Pode-se observar, na Fig. 35, que não houve alteração significativa do escore da textura nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas, em relação aos bolos produzidos a partir de massas

não congeladas. Nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas sob congelamento houve diminuição do escore da textura nas formulações 3 e 4.

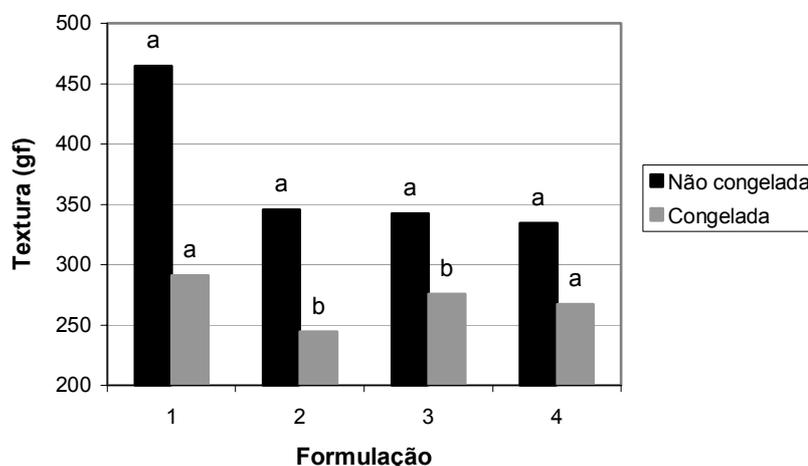


Figura 36 – Comparação de médias da textura dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos

Pode-se observar, na Fig. 36, que, nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas, houve diminuição da textura nas formulações 2 e 3. Esta alteração pode ser atribuída a efeitos estruturais decorrentes do desequilíbrio na formulação (alto teor de um componente versus baixo teor do outro), ou a variabilidade nas leituras devido a alta sensibilidade do equipamento.

Analisando-se conjuntamente os resultados da comparação de médias para os parâmetros de qualidade dos bolos produzidos a partir de massas submetidas aos diferentes processamentos, pode-se verificar que o congelamento seguido de imediato descongelamento das massas não causa alterações importantes na qualidade do produto final. O efeito prejudicial da formação de cristais de gelo na massa, extensamente citado na literatura, não chega a ser percebido quando o tempo de armazenamento é virtualmente igual a zero.

Nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas por 28 dias sob congelamento, alterações importantes são observadas nas formulações 3 e 4 (alto teor de gordura). O tempo de armazenamento de 28 dias não foi suficiente para gerar uma perda significativa na qualidade das massas com baixo teor de gordura, provavelmente devido ao menor teor de água livre nas mesmas, resultando em menor quantidade de cristais de gelo na estrutura.

4.5 Influência da formulação no congelamento da massa

Para a determinação da influência da formulação no congelamento da massa, foram estudados os efeitos da formulação sobre as características de congelamento, considerando-se somente a porção linear do planejamento experimental (tratamentos 1, 2, 3 e 4). Na seqüência, foram verificados os modelos empíricos lineares ou quadráticos, que relacionam as características de congelamento com a formulação. A Tab. 41 mostra os resultados obtidos para o planejamento experimental.

Tabela 41 – Valores médios das variáveis respostas medidas no congelamento das massas

Trat.	Taxa de resfriamento (°C·min ⁻¹)	Temp. de congelamento (°C)	Tempo de congelamento (min)	Taxa de sub-resfriamento (°C·min ⁻¹)	Tempo de descongelamento (min)
01	0,46	-10,4	39,3	0,11	77
02	0,44	-13,9	50,3	0,09	76
03	0,48	-9,2	51,0	0,13	105
04	0,38	-11,7	46,5	0,10	72
05	0,37	-10,9	37,5	0,11	92
06	0,45	-10,8	38,8	0,11	92
07	0,45	-11,8	44,5	0,10	92
08	0,50	-8,9	46,8	0,12	95
09	0,44	-10,4	39,3	0,11	81
10	0,43	-13,2	39,8	0,11	90
11	0,49	-12,5	52,8	0,09	62

4.5.1 Efeito da formulação no congelamento da massa

Os valores mostrados na Tab. 41 foram submetidos a tratamento estatístico, de forma a determinar os efeitos da formulação sobre as variáveis respostas e suas respectivas magnitudes, os intervalos de confiança e a correlação para cada resposta. Os resultados da análise estatística são apresentados na Tab. 42.

Tabela 42 – Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua interação nas variáveis respostas do congelamento das massas

Efeito	Taxa de resfr. (°C·min ⁻¹)	Temp. de cong. (°C)	Tempo de cong. (min)	Taxa de sub-resfr. (°C·min ⁻¹)	Tempo de descong. (min)
Teor de açúcar	-0,06	-3*	3,25	-0,025*	-17*
Teor de gordura	-0,02	1,7*	3,95	0,015*	12*
Açúcar x Gordura	-0,04	0,5	-7,75*	-0,005	-16*
Intervalo de confiança (%)	95	90	80	85	80
Determinação (R ²)	0,54	0,95	0,46	0,93	0,82

* Efeitos estatisticamente significativos para os respectivos intervalos de confiança

Os efeitos estatisticamente significativos, conforme apresentado na Tab. 42, são mostrados graficamente na Fig. 37.

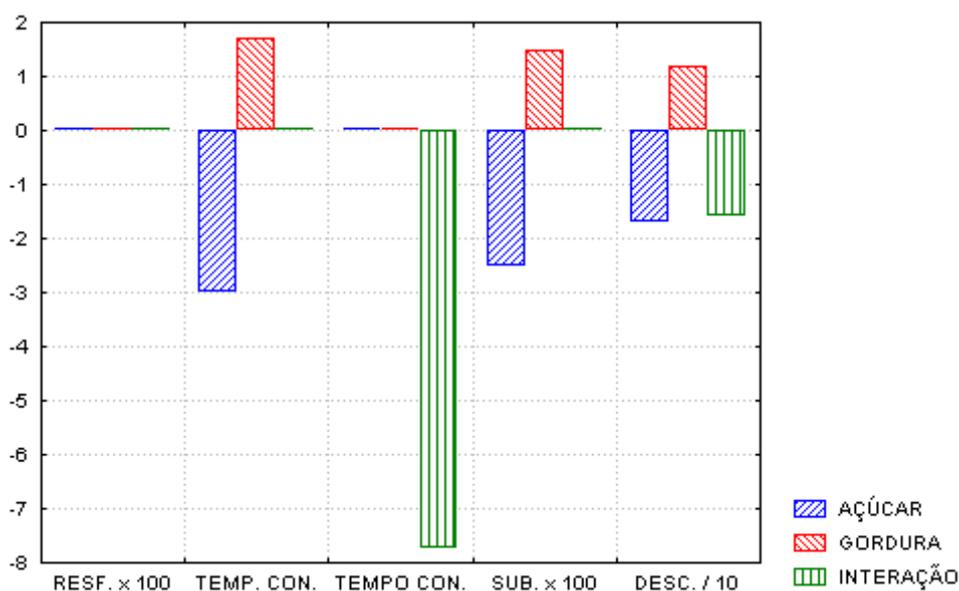


Figura 37 – Efeito dos teores de açúcar e gordura e de sua interação nas variáveis respostas do congelamento das massas

Observando-se a Fig. 37, pode-se perceber que o aumento no teor de açúcar de 48 para 72% (bf) resultou em efeito negativo sobre a temperatura de congelamento, a taxa de sub-resfriamento e o tempo de descongelamento. O aumento no teor de gordura de 30 para 50% (bf) teve efeito positivo sobre a temperatura de congelamento, a taxa de sub-resfriamento e o tempo de descongelamento. A interação entre as variáveis apresentou efeito negativo sobre o tempo de congelamento e o tempo de descongelamento.

O teor de açúcar apresentou efeito negativo em todos os casos, ao passo que o teor de gordura apresentou efeito positivo nas mesmas variáveis. Este comportamento pode ser explicado fazendo-se uso do modelo criométrico, que relaciona as características de congelamento da água com a presença de solutos. O açúcar e a gordura atuam de formas opostas em termos de afinidade com a água, o que explica o sentido dos efeitos observados.

4.5.2 Verificação de modelos empíricos lineares que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas

Para a verificação dos modelos empíricos lineares que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas considerou-se somente a porção linear do planejamento experimental. Foi realizada análise de variância (ANOVA) para as variáveis respostas que apresentaram efeitos significativos nos parâmetros de qualidade dos bolos. A ANOVA permitiu a aplicação do teste F, comparando-se o valor de F estimado a partir dos dados experimentais com o valor de F tabelado para uma distribuição de referência. Foram considerados preditivos os modelos que apresentaram um valor de F calculado pelo menos três vezes maior que o tabelado (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001). Para estes casos são apresentadas as tabelas de coeficientes de regressão e ANOVA, a equação do modelo, a superfície de resposta e a curva de contorno correspondente. Os resultados do teste F são mostrados na Tab. 43.

Tabela 43 – Valores de F calculado e F tabelado para as variáveis respostas do congelamento das massas

Variável	Intervalo de confiança (%)	F calculado (FC)	F tabelado (FT)	FC/FT	Modelo*
Temperatura de congelamento	90	26,80	4,32	6,20	P
Tempo de congelamento	80	2,37	2,48	0,96	NP
Taxa de sub-resfriamento	85	18,31	3,55	5,16	P
Tempo de descongelamento	80	4,45	3,37	1,32	NP

* P: modelo preditivo; NP: modelo não preditivo

Foram considerados preditivos os modelos lineares para a temperatura de congelamento e a taxa de sub-resfriamento, conforme Tab. 43.

4.5.2.1 Verificação do modelo linear para a temperatura de congelamento das massas

As Tabs. 44 e 45 apresentam os coeficientes de regressão e a ANOVA para o modelo linear que relaciona a temperatura de congelamento com a formulação.

Tabela 44 – Coeficientes de regressão para a temperatura de congelamento das massas

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (2)	p	Limite Cnf. -90%	Limite Cnf. +90%
Média	-11,24*	0,21*	-54,01*	0,00*	-11,85*	-10,64*
Açúcar	-1,50*	0,28*	-5,45*	0,03*	-2,30*	-0,70*
Gordura	0,85*	0,28*	3,09*	0,09*	0,04*	1,65*
Interação	0,25	0,28	0,91	0,46	-0,55	1,05

* valores estatisticamente significativos a 90% de confiança ($p < 0,10$)

Tabela 45 – Tabela ANOVA para a temperatura de congelamento das massas

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	11,89	2	5,94	26,80	4,32
Resíduos	0,89	4	0,22		
Falta de ajuste	0,28	2	0,14		
Erro puro	0,61	2	0,30		
Total	12,78	6	2,13		

% de variação explicada (R^2) = 95,01

% de máxima variação explicável ($SQ_T - SQ_{EP}$) / SQ_T = 95,23

Coeficiente de correlação (R) = 0,97

A equação do modelo, para previsão da temperatura de congelamento da massa, é:

$$\text{Temperatura de congelamento} = -11,24 - 1,50 \cdot A + 0,85 \cdot G$$

Onde 'A' é o teor de açúcar, expresso em percentual (bf), e 'G' é o teor de gordura, expresso em percentual (bf).

A superfície de resposta e a curva de contorno para o modelo que relaciona a temperatura de congelamento com a formulação são mostradas nas Figs. 38 e 39.

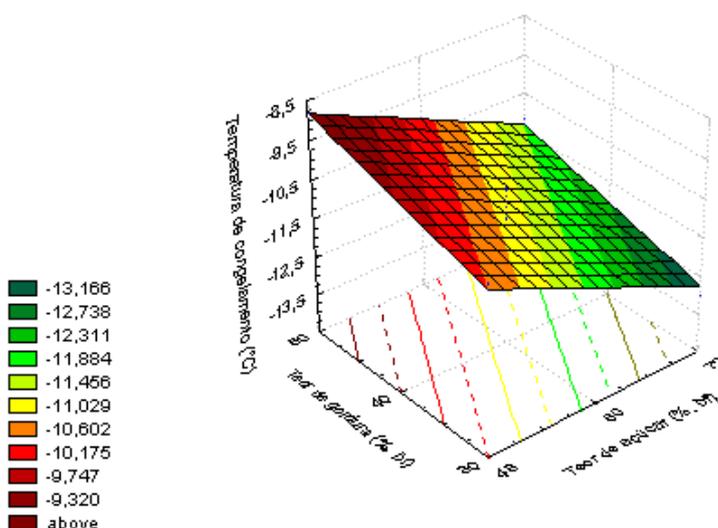


Figura 38 – Superfície de resposta para a temperatura de congelamento das massas

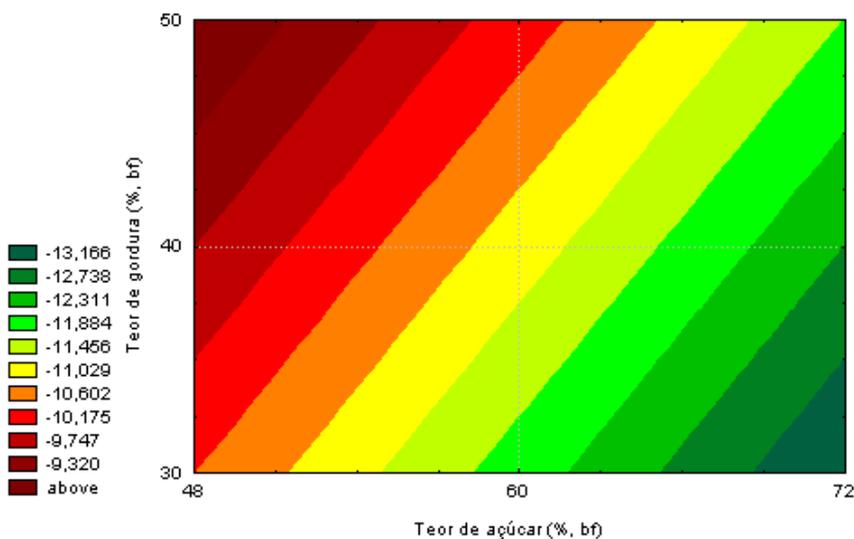


Figura 39 – Curva de contorno para a temperatura de congelamento das massas

Observando as Figs. 38 e 39, constata-se que a temperatura de congelamento das massas se relaciona de forma direta com o teor de gordura e inversa com o teor de açúcar. Assim, os maiores valores de temperatura de congelamento serão obtidos com um teor de açúcar de 48% e teor de gordura de

50%. Isto pode ser explicado pelo modelo criométrico, já que o caráter hidrofílico do açúcar resultará no abaixamento da temperatura de congelamento da água.

4.5.2.2 Verificação do modelo linear para a taxa de sub-resfriamento das massas

As Tabs. 46 e 47 apresentam os coeficientes de regressão e a ANOVA para o modelo linear que relaciona a taxa de sub-resfriamento com a formulação.

Tabela 46 – Coeficientes de regressão para a taxa de sub-resfriamento das massas

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (2)	p	Limite Cnf. -85%	Limite Cnf. +85%
Média	0,11*	0,00*	49,10*	0,00*	0,10*	0,11*
Açúcar	-0,01*	0,00*	-4,33*	0,05*	-0,02*	0,00*
Gordura	0,01*	0,00*	2,60*	0,12*	0,00*	0,01*
Interação	0,00	0,00	-0,87	0,48	-0,01	0,00

* valores estatisticamente significativos a 85% de confiança ($p < 0,15$)

Tabela 47 – Tabela ANOVA para a taxa de sub-resfriamento das massas

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	0,00	2	0,00	18,31	3,55
Resíduos	0,00	4	0,00		
Falta de ajuste	0,00	2	0,00		
Erro puro	0,00	2	0,00		
Total	0,00	6	0,00		

% de variação explicada (R^2) = 92,80

% de máxima variação explicável ($SQ_T - SQ_{EP}$) / SQ_T = 92,93

Coeficiente de correlação (R) = 0,96

A equação do modelo, para previsão da taxa de sub-resfriamento da massa, é:

$$\text{Taxa de sub-resfriamento} = 0,11 - 0,01 \cdot A + 0,01 \cdot G$$

Onde 'A' é o teor de açúcar, expresso em percentual (bf), e 'G' é o teor de gordura, expresso em percentual (bf).

A superfície de resposta e a curva de contorno para o modelo que relaciona a taxa de sub-resfriamento com a formulação são mostradas nas Figs. 40 e 41.

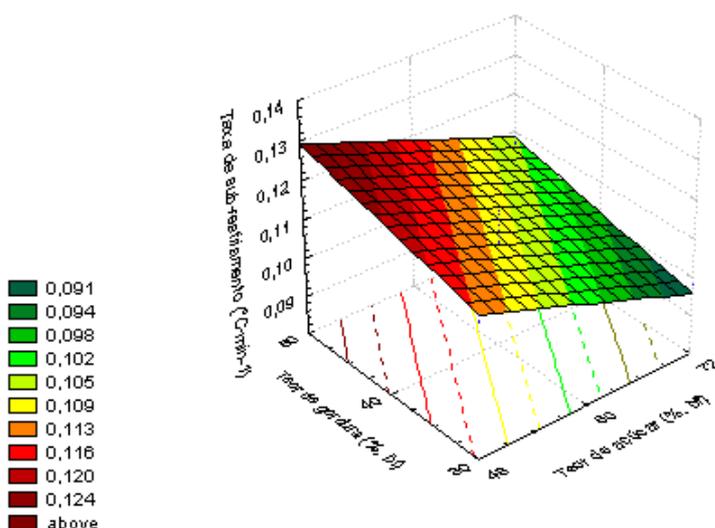


Figura 40 – Superfície de resposta para a taxa de sub-resfriamento das massas

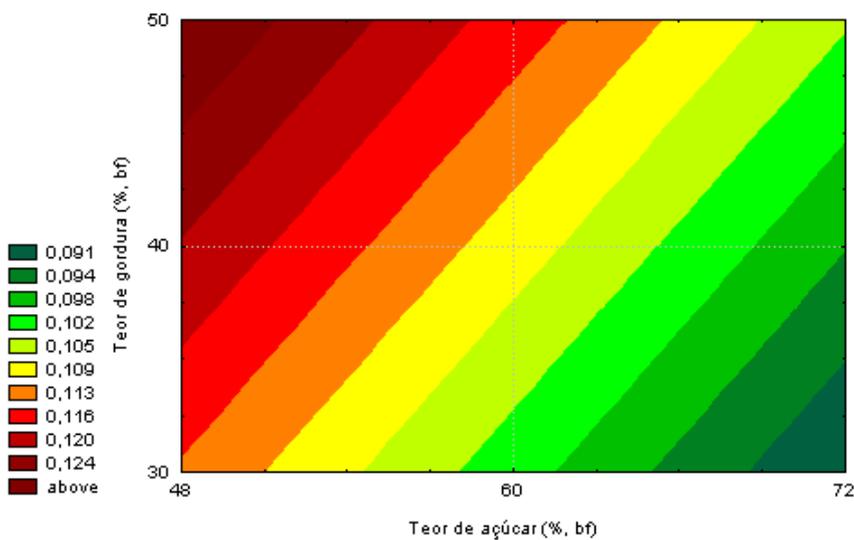


Figura 41 – Curva de contorno para a taxa de sub-resfriamento das massas

Observando as Figs. 40 e 41, constata-se que a taxa de sub-resfriamento das massas comporta-se de forma análoga à temperatura de congelamento. As maiores taxas serão obtidas com um teor de açúcar de 48% e um teor de gordura de 50%. A explicação do modelo é atribuída ao efeito criométrico.

4.5.3 Verificação de modelos empíricos quadráticos que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas

Para a verificação dos modelos empíricos quadráticos que relacionam as variáveis independentes com as variáveis respostas considerou-se todo o planejamento experimental, incluindo os pontos axiais. Foram considerados preditivos os modelos que apresentaram um valor de F calculado pelo menos três vezes maior que o tabelado. Os resultados do teste F são mostrados na Tab. 48.

Tabela 48 – Valores de F calculado e F tabelado para as variáveis respostas do congelamento das massas

Variável	Intervalo de confiança (%)	F calculado (FC)	F tabelado (FT)	FC/FT	Modelo*
Tempo de congelamento	80	2,16	2,14	1,01	NP
Tempo de descongelamento	95	23,20	4,53	5,12	P

* P: modelo preditivo; NP: modelo não preditivo

Foi considerado preditivo o modelo quadrático para o tempo de descongelamento, conforme Tab. 48.

4.5.3.1 Verificação do modelo quadrático para o tempo de descongelamento das massas

As Tabs. 49 e 50 apresentam os coeficientes de regressão e a ANOVA para o modelo quadrático que relaciona o tempo de descongelamento com a formulação.

Tabela 49 – Coeficientes de regressão para o tempo de descongelamento das massas

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (2)	p	Limite Cnf. -95%	Limite Cnf. +95%
Média	92,00*	2,48*	37,12*	0,00*	85,63*	98,37*
Açúcar (L)	-5,13*	1,52*	-3,38*	0,02*	-9,04*	-1,23*
Açúcar (Q)	0,38	1,81	0,21	0,84	-4,27	5,02
Gordura (L)	6,36*	1,52*	4,19*	0,01*	2,46*	10,26*
Gordura (Q)	-10,13*	1,81*	-5,60*	0,00*	-14,77*	-5,48*
Interação	-8,00*	2,15*	-3,73*	0,01*	-13,52*	-2,48*

* valores estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p < 0,05$)

L: linear; Q: quadrático

Tabela 50 – Tabela ANOVA para o tempo de descongelamento das massas

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	1437,95	4	359,49	23,20	4,53
Resíduos	92,96	6	15,49		
Falta de ajuste	92,96	4	23,24		
Erro puro	0,00	2	0,00		
Total	1530,91	10	153,09		

% de variação explicada (R^2) = 93,98

% de máxima variação explicável ($SQ_T - SQ_{EP}$) / SQ_T = 100,00

Coeficiente de correlação (R) = 0,97

A equação do modelo, para previsão do tempo de descongelamento da massa, é:

$$\text{Tempo de descongelamento} = 92,00 - 5,13 \cdot A + 6,36 \cdot G - 10,13 \cdot G^2 - 8,00 \cdot A \cdot G$$

Onde 'A' é o teor de açúcar, expresso em percentual (bf), e 'G' é o teor de gordura, expresso em percentual (bf).

A superfície de resposta e a curva de contorno para o modelo que relaciona o tempo de descongelamento com a formulação são mostradas nas Figs. 42 e 43.

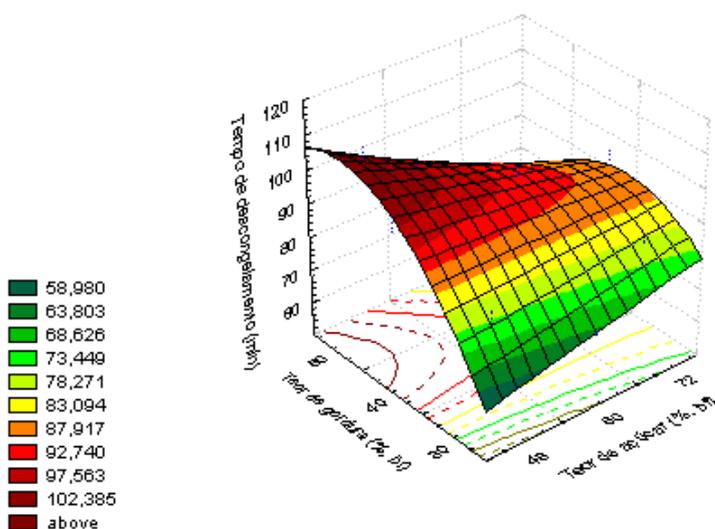


Figura 42 – Superfície de resposta para o tempo de descongelamento das massas

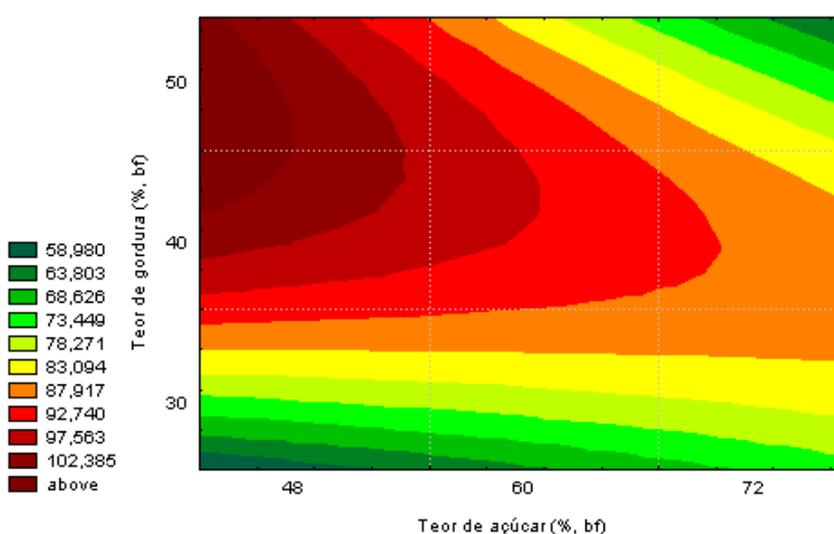


Figura 43 – Curva de contorno para o tempo de descongelamento das massas

Observando as Figs. 42 e 43, constata-se que o tempo de descongelamento apresenta o modelo mais complexo dentre os apresentados até aqui. Isto ocorre porque a variável chamada “tempo de descongelamento” é, na verdade, uma combinação de três estágios: o aquecimento desde -15°C até a temperatura de congelamento, o descongelamento propriamente dito, e o aquecimento até a temperatura de 20°C . Assim, no modelo obtido, os menores valores de tempo de descongelamento serão obtidos com um teor de gordura abaixo de 30%, ou ainda com uma combinação de teores de açúcar acima de 72% e teores de gordura acima

de 50%. O comportamento do modelo sugere a atuação do efeito criométrico, afetado, no entanto, pelo efeito da interação dos componentes.

A partir dos modelos obtidos pode-se considerar, em relação às características de congelamento das massas de bolo, que um teor de açúcar de 48%, associado a um teor de gordura de 50%, proporcionaria o comportamento mais adequado possível no congelamento. No entanto, esta combinação resultaria em valor alto para o tempo de descongelamento.

5 Conclusões

Nos bolos produzidos a partir de massas não congeladas, o teor de açúcar apresentou efeitos significativos sobre a umidade do miolo e a textura, o teor de gordura apresentou efeitos significativos sobre o escore da textura e a textura, e a interação entre as variáveis apresentou efeito significativo sobre a textura. Foram considerados preditivos os modelos empíricos para a umidade do miolo (linear), e para o escore da textura e a textura (quadráticos). Os valores mais adequados para os parâmetros de qualidade são obtidos com um teor de açúcar de 48% (bf) e um teor de gordura de 50% (bf).

Nos bolos produzidos a partir de massas congeladas e imediatamente descongeladas, o teor de açúcar apresentou efeitos significativos sobre a umidade do miolo, o escore da estrutura e a textura, o teor de gordura apresentou efeitos significativos sobre a umidade do miolo, o escore tecnológico, o escore da estrutura e o escore da textura, e a interação entre as variáveis apresentou efeitos significativos sobre a umidade do miolo, o escore tecnológico e o escore da estrutura. Foram considerados preditivos os modelos empíricos para a umidade do miolo, o escore tecnológico e o escore da estrutura (lineares), e para o escore da textura (quadrático). Os valores mais adequados para os parâmetros de qualidade são obtidos com um teor de açúcar de 48% (bf) e um teor de gordura de 50% (bf).

Nos bolos produzidos a partir de massas armazenadas por 28 dias sob congelamento, o teor de açúcar apresentou efeitos significativos sobre a umidade do miolo e o escore da textura, o teor de gordura apresentou efeitos significativos sobre o volume específico, o escore da estrutura e o escore da textura, e a interação entre as variáveis apresentou efeito significativo sobre o escore da textura. Foram considerados preditivos os modelos empíricos para o volume específico, a umidade do miolo, o escore da estrutura e o escore da textura (lineares). Os valores mais

adequados para os parâmetros de qualidade são obtidos com um teor de açúcar de 48% (bf) e um teor de gordura de 30% (bf).

O congelamento seguido de imediato descongelamento das massas não causou alterações significativas nos parâmetros de qualidade dos bolos. O armazenamento por 28 dias sob congelamento das massas causou prejuízo nos parâmetros de qualidade dos bolos formulados com alto teor de gordura.

Nas características de congelamento, os teores de açúcar e de gordura apresentaram efeitos significativos sobre a temperatura de congelamento, a taxa de sub-resfriamento e o tempo de descongelamento, e a interação entre as variáveis apresentou efeitos significativos sobre o tempo de congelamento e o tempo de descongelamento. Foram considerados preditivos os modelos empíricos para a temperatura de congelamento e a taxa de sub-resfriamento (lineares), e para o tempo de descongelamento (quadrático). Os valores mais adequados para as características de congelamento são obtidos com um teor de açúcar de 48% (bf) e um teor de gordura de 50% (bf).

Referências

- AACC – AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10^a ed. St. Paul, 2000.
- AUTIO, K.; SINDA, E. Frozen doughs rheological changes and yeast viability. **Cereal Chemistry**, v.69, p.409-413, 1992.
- BAIER-SCHENK, A.; HANDSCHIN, S.; CONDE-PETIT, B. Ice in prefermented frozen bread dough – An investigation based on calorimetry and microscopy. **Cereal Chemistry**, v.82, n.3, p.251-255, 2005.
- BAILEY, L. H. Development and use of baking powder and baking chemicals. **Circular** [do] U.S. Department of Agriculture, n.138, 1940. 17p.
- BAILEY, L. H. Report on methods of incorporating ingredients in cake batters. **Cereal Chemistry**, v.8, p.255-259, 1931.
- BARACKMAN, R. A. Chemical leavening agents. **Trans. American Association of Cereal Chemists**, v.12, p.43-55, 1954.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. 3^a ed. Campinas: UNICAMP, 2001.
- BAXTER, E. J.; HESTER, E. E. The effect of sucrose on gluten development and the solubility of the proteins of a soft wheat flour. **Cereal Chemistry**, v.35, p.366-374, 1958.
- BERGLUND, P. T.; SHELTON, D. R.; FREEMAN, T. P. Frozen bread dough ultrastructure as affected by duration of frozen stage and freeze-thaw cycles. **Cereal Chemistry**, v.68, p.105-107, 1991.
- BORGSTROM, G. Microbiological problems of frozen food products. **Advances in Food Research**, v.6, p.163-230, 1955.
- BOX, G. E. P.; HUNTER, J. S.; HUNTER, W. G. **Statistics for experimenters: Design, innovation and discovery**. 2^a ed. New York: John Wiley & Sons, 2005.
- BRÜMMER, J. M. Bread and rolls from frozen doughs in Europe. In: **Frozen and refrigerated doughs and batters**. AACC Inc., 1995.
- BRÜMMER, J. M. Chilling and deep freezing of baked foods in the Federal Republic of Germany. In: **Chilled foods: The state of art**. Elsevier Applied Science Pub., 1990.

CALAVERAS, J. **Tratado de panificación y bollería**. Madrid: AMV Ediciones, 1996. 469p.

CARLIN, G. T. A microscopic study of the behavior of fats in cake batters. **Cereal Chemistry**, v.21, p.189-199, 1944.

CHARLEY, H. Effects of the size and shape of the baking pan on the quality of shortened cakes. **Journal of Home Economy**, v.44, p.115-118, 1952.

CHARLEY, H. Effect of baking pan material on heat penetration during baking and on quality of cakes made with fat. **Food Research**, v.21, p.155-168, 1950.

DAVIS, M. V.; HALLIDAY, E. G. Studies on all-purpose flour. **Cereal Chemistry**, v.16, p.414-418, 1939.

DUNN, J. A.; WHITE, J. R. Factor control in cake baking. **Cereal Chemistry**, v.14, p.783-801, 1937.

ESSELINK, F. J.; VAN AALST, H.; MALIEPAARD, M.; VAN DUYNHOVEN, P. M. Long-term storage effect in frozen dough by spectroscopy and microscopy. **Cereal Chemistry**, v.80, p.396-403, 2003.

GÉLINAS, P.; ROY, G.; GUILLET, M. Relative effects of ingredients on cake staling based on an accelerated shelf-life test. **Journal of Food Science**, v.64, n.5, p.937-940, 1999.

GORTNER, W. A.; ERDMAN, F. S.; MASTERMAN, N. K. **Principles of food freezing**. New York: John Wiley & Sons, 1948.

GOUMOIS, J.; HANNING, F. Effects of dried whey and various sugars on the quality of yellow cakes containing 100% sucrose. **Cereal Chemistry**, v.30, p.258-267, 1953.

GRISWOLD, R. **Estudo experimental dos alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1972. 469p.

HALLIDAY, E. G.; NOBLE, I. T. **Hows and whys of cooking**. 3^a ed. Chicago: The University of Chicago Press, 1946.

HANDLEMAN, A. R.; CONN, J. F.; LYONS, J. W. Bubble mechanics in thick foams and their effects on cake quality. **Cereal Chemistry**, v.38, p.294-305, 1961.

HANNING, F.; GOUMOIS, J. The influence of dried whey on cake quality. **Cereal Chemistry**, v.29, p.176-189, 1952.

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

HOOD, M. P.; LOWE, B. Air, water vapor, and carbon dioxide as leavening gases in cakes made with different types of fats. **Cereal Chemistry**, v.25, p.244-254, 1948.

HUNTER, M. B.; BRIANT, A. M.; PERSONIUS, C. J. Cake quality and batter structure. Effects of formula, temperature of ingredients, kind of fat, and method of mixing. **Bulletin** [da] Cornell University Agricultural Experimental Station, n.860, 1950. 59p.

HSIEH, F.; HUFF, H. E.; LUE, E. Twin-screw extrusion of sugar beet fiber and corn meal. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v.24, n.6, p.495-500, 1991.

INOUE, Y.; SAPIRSTEIN, H. D.; TAKAYANAGI, S.; BUSHUK, W. Studies on frozen doughs. III. Some factors involved in dough weakening during frozen storage and thaw-freeze cycles. **Cereal Chemistry**, v.71, p.118-121, 1994.

JOOSTE, M. E.; MACKEY, A. O. Cake structure and palatability as affected by emulsifying agents and baking temperature. **Food Research**, v.17, p.185-196, 1952.

KALETUNC, G.; BRESLAUER, K. J. Construction of a wheat flour state diagram – Application to extrusion processing. **Journal of Thermal Analysis**, v.47, p.1267-1288, 1996.

KUHRT, N. H.; WELCH, E. A. Molecularly distilled monoglycerides. II. Cake-baking experiments. **Journal of American Oil Chemists Society**, v.27, p.344-346, 1950.

LEE, S.; KIM, S.; INGLETT, G. E. Effect of shortening replacement with Oatrim on the physical and rheological properties of cakes. **Cereal Chemistry**, v.82, n.2, p.120-124, 2005.

LU, W.; GRANT, L. A. Effects of prolonged storage at freezing temperatures on starch and baking quality of frozen doughs. **Cereal Chemistry**, v.76, n.5, p.656-62, 1999.

MATZ, S. A. **Bakery technology and engineering**. 3^a ed. Norwell, USA: Kluwer Academic, 1992.

MEYER, B. Home freezing of prepared and precooked foods. **Journal of Home Economy**, v.47, p.603-606, 1955.

NOBLE, I. T.; HALLIDAY, E.G. A quantitative measurement of the carbon dioxide evolved in and lost from simplified muffin batters. **Cereal Chemistry**, v.8, p.165-167, 1931.

PARK, S.; CHUNG, O. K.; SEIB, P. A. Effects of varying weight ratios of large and small wheat starch granules on experimental straight-dough bread. **Cereal Chemistry**, v.82, n.2, p.166-172, 2005.

PEET, L. J.; LOWE, B. Starting baked products in cold versus preheated ovens. **Research Bulletin** [da] Iowa State College Agriculture Experimental Station, n.213, p.89-124, 1937.

PEPE, O.; ANASTASIO, M.; VILLANI, F. Improvement of frozen dough stability using a cryoresistant yeast strain and refreshment. **Cereal Chemistry**, v.82, n.3, p.239-241, 2005.

PERRY, R. H. **Perry's chemical engineers' handbook**. 7^a ed. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2000.

PYKE, W. E.; JOHNSON, G. Relation of mixing methods and a balanced formula to quality and economy in high-sugar-ratio cakes. **Food Research**, v.5, p.335-359, 1940.

QUIRCE, A. G.; PRADOS, A. M. G.; DE LENA, A. A. G.; IBÁÑEZ, E. R.; PASCUAL, E. V.; BALBÁS, F. R.; PLASENCIA, J. M. B.; PALLARÉS, M. G.; CALVO, P. A. C. **Materias primas de panadería y pastelería**. Palencia: Junta de Castilla y Leon, 2002. 310p.

RAO, G. V.; RAO, P. H. Methods for determining rheological characteristics of doughs: a critical evaluation. **Journal of Food Science and Technology**, v.30, n.2, p.77-87, 1993.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**: uma estratégia seqüencial de planejamentos. Campinas: Casa do Pão, 2006.

ROMAN-GUTIERREZ, A. D.; GUILBERT, S.; CUQ, B. Frozen and unfrozen water contents of wheat flours and their components. **Cereal Chemistry**, v.79, n.4, p.471-475, 2002.

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

SALAS-MELLADO, M. M. **Estudo da influência da formulação e das condições operacionais dos tipos de congelamento na qualidade da massa e do pão**. 2003. 242p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SHELLENBERGER, J. A.; WICHSER, F. W.; LAKAMP, R. C. Cake properties in relation to flour particle size fractions. **Cereal Chemistry**, v.27, p.106-113, 1950.

STATELER, E. S. New mixing method improves cake quality. **Food Industry**, v.22, p.1180-1181,1298-1299, 1950.

THOMPSON, S. W.; GANNON, J. E. Observations on the influence of texturation, occluded gas content, and emulsifier content on shortening performance in cake making. **Cereal Chemistry**, v.33, p.181-189, 1956.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Food. The yearbook of agriculture**. Washington, D. C.: United States Government Printing Office, 1959.

VAN WAZER, J. R.; ARVAN, P. G. Chemistry of leavening. **Milling Production Sheet** [de] Northwestern Miller, n.251, 1954.

WHITAKER, A. M.; BARRINGER, S. A. Measurement of contour and volume changes during cake baking. **Cereal Chemistry**, v.81, n.2, p.177-181, 2004.

ZAMBRANO, F.; DESPINOY, P.; ORMENESE, R. C. S. C.; FARIA, E. V. The use of guar and xanthan gums in the production of 'light' low fat cakes. **International Journal of Food Science and Technology**, v.39, p.959-966, 2004.

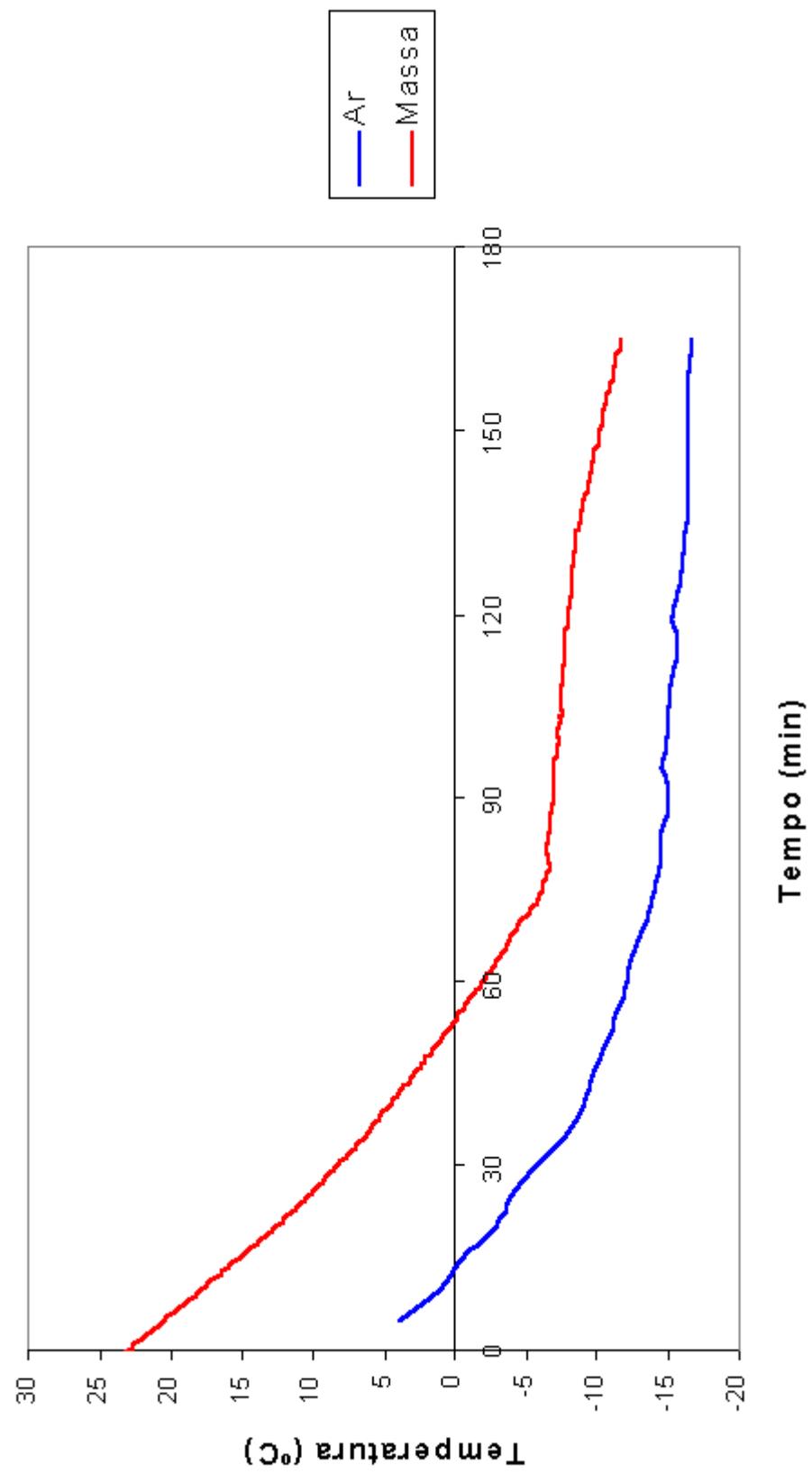
Apêndices

APÊNDICE A – Planilha de avaliação do escore tecnológico

ESCORE TECNOLÓGICO			
A. ESTRUTURA	1. Uniformidade	(a) Uniforme (normal)	10
		(b) Levemente desuniforme	6
		(c) Desuniforme	2
	2. Tamanho dos alvéolos	(a) Compactos (normal)	10
		(b) Fechados	8
		(c) Levemente abertos	6
		(d) Abertos	4
	3. Espessura das paredes	(a) Fina (normal)	10
		(b) Levemente grossa	6
(c) Grossa		2	
B. GRÃO	(a) Sedoso (normal)	16	
	(b) Áspero	10	
	(c) Grosseiro (pão de milho)	8	
C. TEXTURA	1. Umidade	(a) Úmido (normal)	10
		(b) Levemente seco	8
		(c) Gomoso	6
		(d) Seco	4
	2. Maciez	(a) Muito macio (normal)	14
		(b) Macio	12
		(c) Levemente duro	10
		(d) Duro	4
	3. Coesividade	(a) Tenro (normal)	10
(b) Levemente firme		8	
(c) Firme		4	
D. COR DO MIOLO	(a) Creme brilhante (normal)	10	
	(b) Levemente opaco ou branco	8	
	(c) Branco	6	
	(d) Levemente opaco e branco	4	
E. FLAVOR	(a) Normal	10	
	(b) Estranho	0	

SOMA

APÊNDICE B – Exemplo de curva de congelamento



Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)