

MICHELLE SEVERINO PEDROSA

FERMENTAÇÃO DO BISCOITO CREAM CRACKER:
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA ETAPA DO
PROCESSO DE PREPARAÇÃO DA MASSA.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-
Graduação em Engenharia Química da Universidade
Federal de Minas Gerais

Orientador: Prof^a. Maria Helena Caño de Andrade

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA QUÍMICA

“Fermentação do biscoito cream cracker: influência da temperatura na etapa do processo de preparação da massa”.

Autor: Michelle Severino Pedrosa

Orientador: Maria Helena Caño de Andrade

Dissertação de mestrado apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Química como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA

Belo Horizonte

2010

DEDICATÓRIA

Ao meu marido
Kerley pelo apoio e incentivo incondicional, aos
meus pais pelo acompanhamento contínuo da
minha trajetória e meus amigos pela torcida.

AGRADECIMENTOS

À professora Maria Helena Caño de Andrade, pela orientação e apoio.

Aos meus queridos amigos Polliana Tolentino, Adriana Resende e Leonardo Tavares por me ajudarem na execução das muitas horas de acompanhamento dos experimentos e por acreditarem no projeto.

À empresa de biscoitos que cedeu suas instalações, matérias-primas e parâmetros de processo para serem analisados.

Aos meus amigos de Pós-Graduação Thiago, Gisele e Cynthia pela companhia durante todo o curso e pela torcida.

E a todos que estiveram ao meu lado, na torcida, me apoiando nas horas de incertezas, angústia e trabalho árduo durante a trajetória deste curso.

RESUMO:

"Biscoito" foi o termo usado para descrever o pão cozido, duro, que se podia guardar sem estragar. O biscoito é o segundo colocado na escala de vendas do setor alimentício no Brasil, respondendo por um volume de R\$ 3,3 bilhões da comercialização do setor. O biscoito *Cream Cracker* é um dos produtos de maior produção dentro da categoria de biscoito salgado. Assim, conhecer suas características de qualidade é importante para otimizá-las com intuito de manter qualidade de produto com menor custo para a indústria. A característica do biscoito *cream cracker* está relacionada com o processo de sua fabricação, principalmente com a etapa de preparação de massa, onde se emprega matérias-primas específicas como farinha de trigo mais forte, fermento biológico, enzimas (protease e xilanase), extrato de malte e outros que são misturados em uma primeira etapa chamada de esponja, onde, após o preparo, é fermentado por longas horas. Durante esta etapa ocorre o metabolismo do fermento biológico e a transformação das matérias-primas que são responsáveis pelo sabor característico do produto. Todas essas reações ocorridas durante o processo de fermentação são influenciadas por variáveis como temperatura inicial da massa, temperatura do fermento e temperatura da câmara de fermentação. Variáveis respostas podem ser medidas durante o processo de fermentação que indicam como está o andamento do processo, como o pH e temperatura da massa. Este trabalho utilizou a metodologia de planejamento de experimentos para verificar as influências da temperatura no pH e temperatura final da massa, avaliando o tempo mínimo de fermentação e também quais são os parâmetros ótimos na etapa de esponja em produtos *cream cracker*.

PALAVRAS CHAVES:

Biscoito Cream Cracker, Fermento Biológico, Esponja, Planejamento de Experimentos

ABSTRACT:

"Cookie" was the term used to describe the bread baked, hard, you could keep without spoiling. The cookie is placed on the second level of sales in the food sector in Brazil, accounting quantity sold of \$ 3.3 billion marketing industry. *Cracker Cream* biscuit is a product of increased production within the category of crackers. Thus, knowing their characteristics quality is important to optimize them in order to maintain product quality at lower cost to industry. The feature of the cream cracker biscuit is related to its manufacturing process, especially with the preparation stage of mass, where it employs specific raw materials like wheat flour stronger, yeast, enzymes (protease and xylanase), extract malt and others that are mixed in a first step called sponge, where, after preparation, is fermented for long hours. During this step is the yeast metabolism and raw materials transformation that are responsible for the characteristic flavor of the product. All these reactions occurred during the fermentation process are influenced by variables such as initial temperature of the mass, temperature and temperature of the yeast fermentation chamber. Response variables can be measured during the fermentation process that indicates how is the progress of the process, such as pH and dough temperature. This work uses the experimental design methodology to verify the temperature influences on pH and temperature of the final mass, evaluating the minimum time of fermentation and also what are the optimal parameters in the stage of sponge products *cream cracker*.

KEYWORDS:

Cream Cracker, yeast, Sponge, Design of Experiments

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
INTRODUÇÃO.....	1
OBJETIVO.....	3
CAPÍTULO I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
I. 1 - O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BISCOITO CREAM CRACKER.....	4
I. 1.1) <i>Histórico</i>	4
I. 1.2) <i>Aspectos Econômicos</i>	6
I. 1.3) <i>Biscoitos tipo Cream Cracker</i>	8
I. 1.3.1) <i>Definição</i>	8
I. 1.3.2) <i>Matérias-prima utilizadas na fabricação de biscoitos tipo Cream Cracker</i>	8
I. 1.3.2.1) <i>Farinha de trigo</i>	8
I. 1.3.2.2) <i>Água</i>	16
I. 1.3.2.3) <i>Fermento Biológico</i>	16
I. 1.3.2.4) <i>Enzimas</i>	18
I. 1.3.2.5) <i>Gordura</i>	24
I. 1.3.2.6) <i>Cloreto de sódio (sal)</i>	25
I. 1.3.2.7) <i>Bicarbonato de sódio</i>	25
I. 1.3.2.8) <i>Malte</i>	26
I. 1.4) <i>Processamento na fabricação de biscoitos tipo Cream Cracker</i>	27
I. 1.4.1) <i>Preparação da massa</i>	27
I. 1.4.2) <i>Laminação da massa</i>	31
I. 1.4.3) <i>Forneamento</i>	33
I. 1.4.4) <i>Resfriamento e embalagem</i>	35
I. 2 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS.....	36
I. 2.1 <i>Melhoria e estatística da qualidade</i>	36
I. 2.2 <i>Planejamento de Experimentos</i>	37
I. 2.3 <i>Etapas de desenvolvimento para o planejamento de experimentos</i>	40

I. 2.4 Experimentos fatoriais.....	42
I. 2.5 Planejamento fatorial 2^K	43
I. 2.6 Adição de pontos centrais no planejamento 2^K	45
I. 2.7 Adição de pontos axiais no planejamento 2^K	45
CAPÍTULO 2 – DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL.....	47
II. 1 – MATERIAIS.....	47
II. 1.1 Matérias-primas.....	47
II. 1.2 Equipamentos.....	48
II. 2 – METODOLOGIA.....	48
II. 2.1 – Método de preparação da massa de biscoito Cream Cracker.....	49
II. 2.2 Receita utilizada na preparação da massa (esponja).....	49
II. 2.3 Processo de preparação da massa.....	49
II. 2.4 Processo de acompanhamento da fermentação da esponja.....	50
II. 3 - PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	50
II. 3.1 Reconhecimento e relato do problema.....	50
II. 3.2 Escolha dos fatores e dos níveis.....	51
II. 3.3 Seleção das variáveis respostas.....	52
II. 3.4 Escolha do planejamento experimental.....	52
II. 3.5 Realização do experimento.....	53
CAPÍTULO 3 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	55
III. 1 – CURVAS DE pH e TEMPERATURA DA MASSA.....	55
III.2 – ANÁLISE DOS DADOS DAS CURVAS DE pH e TEMPERATURA DA MASSA.....	59
III. 3 – RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS.....	69
III. 4 – OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FERMENTAÇÃO FASE ESPONJA.....	76
CONCLUSÕES.....	85
SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação das proteínas da farinha de trigo.....	12
Tabela 2. Testes utilizados na caracterização de farinhas para produção de biscoitos.....	14
Tabela 3. Fórmula usada na produção dos biscoitos cracker.....	27
Tabela 4. Fórmula usada na produção dos biscoitos cracker.....	28
Tabela 5: Número de ensaios, combinações de fatoriais completos.....	43
Tabela 6: Sinais para os Efeitos no Planejamento 2 ²	44
Tabela 7: Valores de Sinais α	46
Tabela 8: Especificação de Farinha de Trigo específica para produção de Biscoito <i>Cream Cracker</i>	48
Tabela 9: Receita utilizada na preparação da esponja.....	49
Tabela 10: Especificação de processo de parâmetros para fermentação da esponja de Cream Cracker.....	51
Tabela 11: Valores utilizados no DCCR para três fatores.....	52
Tabela 12: Matriz do planejamento fatorial 2 ³	53
Tabela 13: Seqüência da realização dos experimentos.....	54
Tabela 14a-d: Curvas de pH e Temperatura para cada experimento realizado.....	55
Tabela 15a-h: Determinação do tempo máximo de fermentação por experimento.....	60
Tabela 16: Tempo de fermentação para cada ensaio.....	67
Tabela 17: Valores codificados das variáveis preditoras e os resultados das variáveis respostas (Y1 e Y2).....	69
Tabela 18: Coeficientes de regressão para a resposta Y1 (pH).....	70
Tabela 19: ANOVA para a resposta Y1 (pH).....	71
Tabela 20: Coeficientes de regressão para a resposta Y2 (Temperatura da massa).....	73
Tabela 21: ANOVA para a resposta Y2 (Temperatura da massa).....	74
Tabela 22: Parâmetros ótimos de processo para esponja.....	84

LISTA DE FIGURAS:

Figura 1: Segmentação do mercado nacional de biscoitos.....	7
Figura 2: Esquema das partes do grão de trigo.....	9
Figura 3: Composição média e absorção de água dos principais componentes das farinhas de trigo.....	10
Figura 4: Proteínas insolúveis do glúten e suas características.....	11
Figura 5: Estrutura do glúten após hidratação e trabalho mecânico.....	13
Figura 6: Atuação da enzima na redução da energia de ativação.....	19
Figura 7: Ligação enzima + substrato.....	19
Figura 8: Efeito da temperatura na atividade da enzima.....	20
Figura 9: Efeito do pH na atividade da enzima.....	20
Figura 10: Atuação das proteases x agentes redutores.....	22
Figura 11: Absorção de água dos principais componentes presentes na farinha de trigo.....	23
Figura 12: Esquema da atuação das pentosanas no desenvolvimento do glúten.....	23
Figura 13: Esquema da atuação das pentosanas no desenvolvimento de biscoito cream cracker.....	24
Figura 14: Misturador de haste vertical utilizado na produção de biscoito cream cracker.....	30
Figura 15: Sala de fermentação de produto cream cracker.....	31
Figura 16: Sobreposição de massas na laminação com a aplicação de farofa entre elas, e o efeito da farofa no produto final.....	32
Figura 17: Condições de temperatura de um forno esquemático de 90m.....	34
Figura 18: Modelo geral de um processo.....	39
Figura 20: Planejamento fatorial 2 ²	44
Figura 21: Valores experimentais versus valores previstos pelo modelo para Y1 (pH).....	71
Figura 22: Distribuição dos resíduos para a resposta Y1 (pH).....	72
Figura 23: Valores experimentais versus valores previstos pelo modelo para Y2 (Temperatura final da massa).....	74

Figura 24: Distribuição dos resíduos para a resposta Y2 (Temperatura final da massa).....	75
Figura 25: Superfícies de resposta para Y1, com relação às variáveis: Temperatura de massa e temperatura do fermento.....	77
Figura 26: Superfícies de resposta para Y1, com relação às variáveis: Temperatura da câmara de fermentação e temperatura do fermento.....	78
Figura 27: Superfícies de resposta para Y1, com relação às variáveis: Temperatura da câmara de fermentação e temperatura da massa.....	79
Figura 28: Superfícies de resposta para Y2, com relação às variáveis: Temperatura da massa e Temperatura do fermento.....	81
Figura 29: Superfícies de resposta para Y2, com relação às variáveis: Temperatura da massa e Temperatura do fermento.....	82
Figura 30: Superfícies de resposta para Y2, com relação às variáveis: Temperatura da massa e Temperatura da câmara.....	83

INTRODUÇÃO

"Biscoito" foi o termo usado para descrever o pão cozido, duro, que se podia guardar sem estragar. A origem tem duas palavras francesas: "Bis" e "Coctus", significando "cozido duas vezes" (Simabesp, 2009).

Biscoitos *Cream Cracker* foram introduzidos primeiramente em 1885 pela empresa irlandesa de Jacobs. Desde então, têm mantido um lugar significativo nas vendas dos biscoitos na Grã Bretanha e tornou-se popular em muitos países (Manley, 1991).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de biscoitos, atrás somente dos Estados Unidos. Também, detém o segundo maior mercado consumidor. (Simabesp, 2009). A razão é que esse produto abrange consumidores de várias idades, desde crianças e adolescentes a adultos e idosos, e está muito presente nas dietas das famílias por fatores culturais, conveniência, indulgência, hábito e preço (Nestlé, 2009).

Para a fabricação do biscoito *Cream Cracker* utiliza-se uma simples receita, constituída basicamente por farinha, gordura e sal. Após o batimento da massa, essa é fermentada, passada na laminação, cortada em formato específico e assada (Manley, 1991).

As etapas do processo de produção de biscoito *Cream Cracker* são:

- Preparação da massa: é realizada em duas etapas sequenciais denominadas esponja e reforço. Na etapa de esponja adiciona-se farinha de trigo, água, fermento biológico, extrato de malte não diastático e gordura. Ocorre uma longa fermentação, que é responsável pelo sabor característico do produto. As principais variáveis de controle dessa etapa são o pH e a temperatura. Na etapa de reforço adiciona-se farinha, sal, gordura e bicarbonato de sódio visando tornar a massa mais consistente. Nesta etapa, além da textura da massa controla-se o pH.
- Laminação: Nessa etapa a massa passa por rolos laminadores a fim de reduzir a sua espessura, definindo as camadas e propiciando o formato característico do produto.
- Forneamento: Essa etapa é responsável pela redução de umidade e propiciar cor, sabor e textura característica ao produto.
- Resfriamento: Nessa etapa o produto ocorre à diminuição da temperatura e umidade do produto.

- Embalagem: Nessa etapa o produto recebe uma embalagem que é barreira a umidade e luz propiciando maior tempo de prateleira.

Este trabalho tem como foco a etapa de esponja e se propõe a análise da influência do valor inicial das temperaturas de massa, fermento biológico e câmara de fermentação no processo fermentativo, por meio do acompanhamento da mudança de hora em hora dos valores das variáveis pH e temperatura da massa durante o processo.

No desenvolvimento deste trabalho foi utilizada a metodologia de planejamento de experimentos, ressaltando-se que, experimentos estatisticamente planejados são valiosos na redução da variabilidade nas características da qualidade e na determinação dos níveis das variáveis controláveis que aperfeiçoam o desempenho do processo. Um experimento planejado é um teste ou uma série de testes, no qual são feitas mudanças propositalmente nas variáveis de entrada de um processo, de modo a podermos observar e identificar mudanças correspondentes na resposta de saída.

No Capítulo 1 apresenta-se a Revisão bibliográfica do processo de fabricação de biscoito *Cream Cracker* e da metodologia de planejamento de experimentos, que balizaram o desenvolvimento deste trabalho.

A descrição metodológica do desenvolvimento experimental é apresentada no Capítulo 2.

O Capítulo 3 contém a apresentação e a discussão dos resultados deste trabalho.

Na sequência são descritas as conclusões e as Sugestões para trabalhos futuros.

OBJETIVO

O objetivo global do presente trabalho é a análise do processo fermentativo da etapa de esponja na fabricação de biscoito *cream cracker*. Como objetivo específico tem-se a análise do impacto das variáveis preditoras temperatura inicial da massa, temperatura do fermento biológico e temperatura da câmara de fermentação sobre as variáveis respostas pH e temperatura da massa, a fim de determinar as condições ótimas das variáveis preditoras. Adicionalmente, por meio do acompanhamento das curvas de pH e temperatura da massa objetiva-se verificar o tempo mínimo de fermentação da massa, para a etapa de esponja.

CAPÍTULO I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

I. 1 - O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BISCOITO *CREAM CRACKER*

I. 1.1) Histórico

"Biscoito" foi o termo usado para descrever o pão cozido, duro, que se podia guardar sem estragar. A origem tem duas palavras francesas: "Bis" e "Coctus", significando "cozido duas vezes". O processo de fabricação era muito simples, tomava-se o pãozinho e se aplicava um duplo cozimento para tirar o excesso de umidade: assim evitava que se deteriorasse; após o cozimento do pão, deixava-o por um dia, em uma câmara seca, a fim de reduzir a umidade, para conservá-lo (Simabesp, 2009).

A popularidade do "biscoito" aumentou, rapidamente, a partir de meados do século XVII, quando, na Europa, começou-se a adicionar chocolate ou chá ao biscoito, criando o sabor e aroma. Desde então, para estimular as vendas, investiam-se os mais variados tipos de gostos e aromas. O progresso dos negócios dos biscoitos alertou as municipalidades para uma boa fonte de renda em taxas e impostos, sobre os já populares "biscoitos para chá". Essa súbita oneração resultou na busca por métodos mais econômicos e de maior rendimento: foi o início da industrialização (Simabesp, 2009).

A Inglaterra mostrou ser um bom mercado produtor e aí se fabricavam vários tipos de biscoitos muito saborosos e procurados; sua exportação foi iniciada para as suas colônias e logo, quase todas as cidades importantes dos Estados Unidos já consumiam o "biscoito para chá e café dos ingleses". Nos seus primeiros anos de colônia não industrializada, os Estados Unidos não tinham condições de fabricar os biscoitos, mas reconhecendo a importância do mercado, importaram da Inglaterra os equipamentos necessários e deram início a uma florescente indústria de biscoitos. Em razão da necessidade de fabricarem peças de reposição para as máquinas, o passo seguinte foi a implantação, no norte, das indústrias para a fabricação de equipamentos de biscoitos. Estavam assim determinados os declínios das importações de biscoitos ingleses, e o início da, hoje poderosa, indústria norte-americana de biscoitos (Simabesp, 2009).

A evolução se fez de forma acelerada; até o nome "biscuit", inglês, foi abandonado e os produtos americanos foram rebatizados de "cookies", denominação de origem holandesa. Estava criada uma separação bem definida entre os tipos de biscoitos: os "cookies" eram os de paladar adocicados e os "saltines", o acentuado sabor salgado (Simabesp, 2009).

Os Biscoitos *Cream Cracker* foram introduzidos primeiramente em 1885 pela empresa irlandesa de Jacobs. Desde então, têm mantido um lugar significativo nas vendas dos biscoitos na Grã Bretanha e tornou-se popular em muitos países. Em muitos casos, foi introduzido pela influencia britânica pela transferência de tecnologia. Em contraste com outros biscoitos, o denominado *Cream Cracker* foi distinguido por ser feito da fermentação da massa (Manley, 1991).

Os "cookies" eram expandidos por ação química e os salgados eram fermentados por meios biológicos. Hoje existem mais de 200 tipos de biscoitos, com uma indústria altamente especializada, com formulações perfeitas, com um total controle do seu mercado e dentro de um processo de sofisticação muito desenvolvido (Simabesp, 2009).

I. 1.2) Aspectos Econômicos

O biscoito é o segundo colocado na escala de vendas do setor alimentício no Brasil, respondendo por um volume de R\$ 3,3 bilhões da comercialização do setor. O Brasil é o segundo maior mercado consumidor mundial de biscoito. As vendas de biscoito em nosso país representam 10% do consumo mundial (Simabesp, 2009).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de biscoitos, atrás somente dos Estados Unidos. O mercado brasileiro é responsável por 50% do consumo da América Latina, mas seu comércio internacional é pouco significativo. As importações não chegam a representar 1% do faturamento e as exportações não ultrapassam 2% da produção. No ano de 2004, o mercado de biscoito movimentou 4 bilhões de reais no Brasil. Esse mercado mostra crescimento constante: comparando o desempenho de 2003 com a de 2004, houve um crescimento de 4,3% em volume e 12,6% em valor de venda (Nestlé, 2009). Já em 2008 o mercado de biscoito movimentou 5,65 bilhões de reais, representando uma taxa de crescimento de 4,1%, com relação à 2007, onde foram produzidas 1171 milhões de toneladas (Simabesp, 2009).

Uma explicação para o crescimento do setor é a excelente entrada nos domicílios brasileiros. O biscoito é um produto de altíssima penetração e está presente em 99% dos lares, independente de classe social. É um produto que abrange várias idades, desde crianças e adolescentes a adultos e idosos, e está muito presente nas dietas das famílias por fatores culturais, conveniência, indulgência, hábito e preço (Nestlé, 2009).

Com a grande pulverização do mercado, com o surgimento de novas e pequenas empresas regionais, esse produto se posicionou numa ampla faixa de preços, tornando-se mais acessível às famílias de baixa renda (classe D/E), que vêm ganhando importância e representatividade no mercado em geral. As classes C, D e E (que representam 76% da população e respondem por mais de 50% do consumo de produtos duráveis e não duráveis do País) são responsáveis por grande parte do consumo dos biscoitos, o que faz com que a queda na renda destas camadas afete o setor de uma forma mais aguda. Dentre as compras mensais dos brasileiros, os biscoitos são os produtos apontados como os mais baratos e que aparecem em maior quantidade nos carrinhos de supermercados, segundo informou artigo veiculado na imprensa (Nestlé, 2009).

O mercado oferece uma grande variedade de tipos e sabores, e tem as novidades como uma de suas características. Seus benefícios compreendem aspectos

racionais (nutrição, praticidade) e emocionais (prazer, distração, relaxamento).

De forma geral, o consumidor segmenta o mercado em biscoitos doces e salgados (Simabesp, 2009). Na Figura 1 é apresentada a segmentação do mercado nacional de biscoitos.

Segmentação do mercado nacional de biscoitos

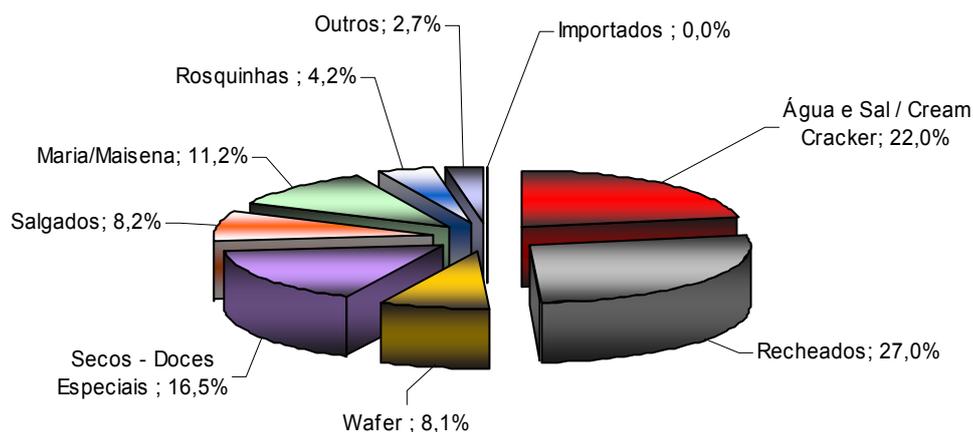


Figura 1: Segmentação do mercado nacional de biscoitos (Simabesp, 2009).

O consumo anual per capita do consumidor brasileiro tem se situado em torno dos 6 quilos nos últimos cinco anos. A expectativa é de que, com condições econômicas condizentes, novos lançamentos e adequação dos produtos ao mercado, essa marca chegue a 8 quilos nos próximos 10 anos e a produção total seja de 1,6 milhões de toneladas. Hoje, os Estados Unidos ocupam o primeiro lugar do ranking de países produtores de biscoitos, com 1,5 mil toneladas. Os países que seguem o Brasil neste ranking são: Inglaterra, com 0,67 mil toneladas, Alemanha, com 0,59 mil toneladas e França, com 0,54 mil toneladas (Simabesp, 2009).

No quesito consumo per capita/ano, a Holanda é campeã, com 13,9 quilos, seguida da Irlanda (12,1), Bélgica (11,9), Inglaterra (11,2) e França (9). No 14º lugar, com 5,9 quilos per capita, o Brasil tem seu consumo aos níveis de países como Áustria (6,2 quilos) e Grécia (4,9 quilos) (Simabesp, 2009).

Avaliando o consumo por região do Brasil, o Norte e Nordeste são as que mais consomem biscoito no país, com 29,5% do total. Em seguida vem o estado de São

Paulo (Capital e Interior), com 23,5%. Depois: Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro, 24%; Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, 16%; Centro Oeste, 7% (Simabesp, 2009).

Fatores culturais e regionais influenciam os hábitos de consumo. Enquanto no Nordeste o consumo de biscoitos básicos predomina, em São Paulo e no Rio de Janeiro os biscoitos recheados são os preferidos (Nestlé, 2009).

Os principais fatores que interferem no processo de compra são: pessoais (hábito, preferência), marca (imagem, preço, promoção, embalagem) e visibilidade no ponto-de-venda (localização, pontos extras, demonstração e degustação) (Nestlé, 2009).

I. 1.3) Biscoitos tipo Cream Cracker

I. 1.3.1) Definição:

Embora o termo *Cream* esteja mundialmente associado à utilização de leite no caso do biscoito, a denominação *Cream Cracker* é tradicional: a massa não contém leite, sendo a receita constituída simplesmente por farinha, gordura e sal. A massa é sempre fermentada, é passada na laminação, cortada em pequenas fatias e assada. A combinação das proteínas modificadas da farinha, durante a fermentação e a laminação em camadas, propicia as características de lâminas, colméias e bolhas do produto (Manley, 1991).

I. 1.3.2) Matérias-primas utilizadas na fabricação de biscoitos tipo Cream Cracker

I. 1.3.2.1) Farinha de trigo

A farinha de trigo constitui o principal ingrediente das formulações de biscoito e “*crackers*”, pois fornece a matriz em torno das quais os outros ingredientes são misturados para formar a massa (Bruno, 1989).

De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (1978), a definição de farinha de trigo é a seguinte: “Produto obtido pela moagem, exclusivamente, do grão de trigo *Triticum vulgares*, beneficiado”.

O trigo do gênero *Triticum* contém em torno de 30 tipos de trigos que possuem suficientes diferenças genéticas para serem considerados espécies distintas ou sub-espécies. Aproximadamente metade delas são cultivadas e as restantes crescem de forma silvestre. Mais de 90% do trigo cultivado no mundo, entretanto, corresponde a

três espécies, o *Triticum aestivum*, sub-espécie *vulgaris*, o *Triticum turgidum*, sub-espécie *durum* e o *Triticum compactum*, com predominância dos dois primeiros, o *vulgaris* e o *durum* (Abitrigo, 2009).

De acordo com Vitti *et al.* (1988), o grão de trigo é composto de três partes. As partes mais externas geralmente de coloração marrom, são chamadas de farelo; a parte branca central é chamada de endosperma, e a sua parte mais externa muito pequena é chamada de gérmen (Figura 2). Um dos principais objetivos da moagem é a separação dos componentes.

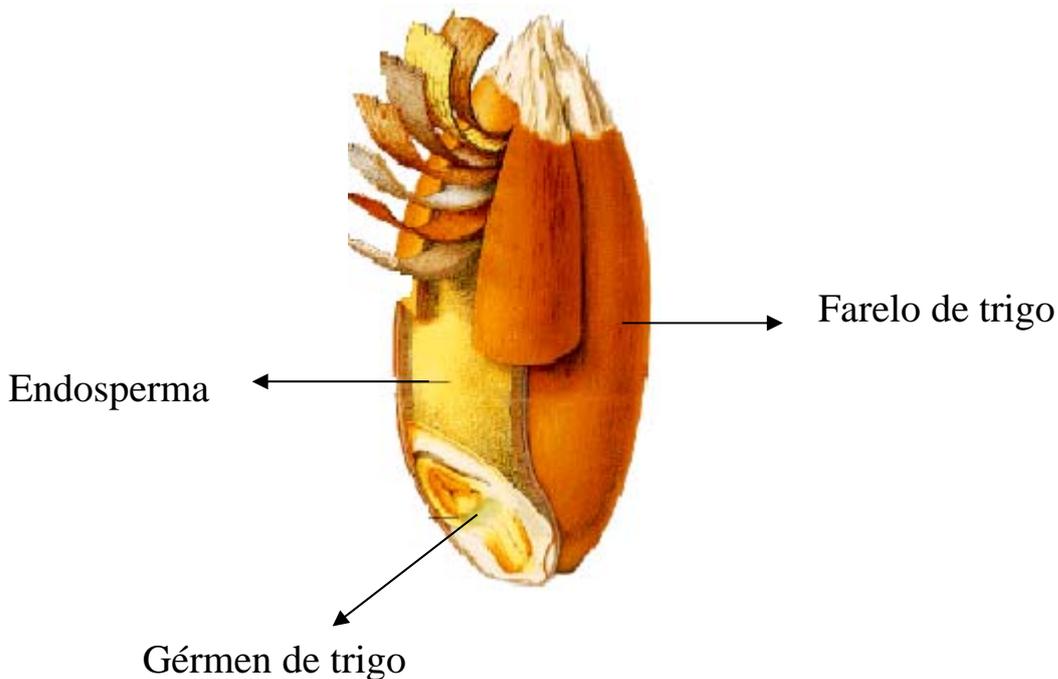


Figura 2: Esquema das partes do grão de trigo. Fonte (Carvalho Júnior, 2005)

As farinhas de trigo são compostas basicamente por amido, umidade, hemicelulose, glúten e outros constituintes, conforme apresentado na Figura 3. Dentre as porções que mais absorvem água temos o amido, o glúten e as hemiceluloses, respectivamente. A hemicelulose, mesmo em baixas concentrações, é capaz de reter bastante água (Carvalho Júnior, 2005).

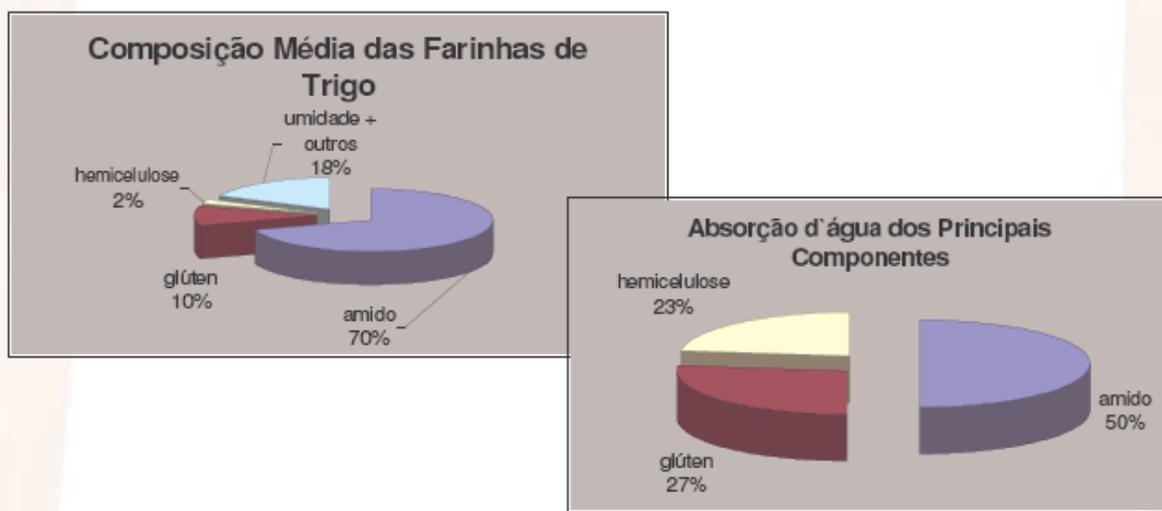


Figura 3: Composição média e absorção de água dos principais componentes das farinhas de trigo. Fonte (Carvalho Júnior, 2005)

Dentre as farinhas dos diferentes cereais, apenas a do trigo tem a habilidade de formar uma massa viscoelástica que retém o gás produzido durante a fermentação e nos primeiros estágios de cozimento do produto. As proteínas, mais especificamente as formadoras do glúten, são as principais responsáveis por esta característica própria do trigo. O glúten é composto por duas frações protéicas: a gliadina e a glutenina. A gliadina apresenta um peso molecular médio de 40.000, cadeia simples e é extremamente gomosa quando hidratada, apresentando pouca ou nenhuma resistência à extensão, e sendo, portanto, responsável pela coesividade da massa. A glutenina é formada por várias cadeias ligadas entre si, apresentando um peso médio que varia de 100.000 a vários milhões, é elástica, mas não coesiva e fornece a propriedade de resistência à extensão. Somente o trigo apresenta proteínas capazes de formar a massa (Guilherme, 2001)

Na Figura 4 são apresentados às características do glúten por suas respectivas proteínas, glutenina e gliadina.

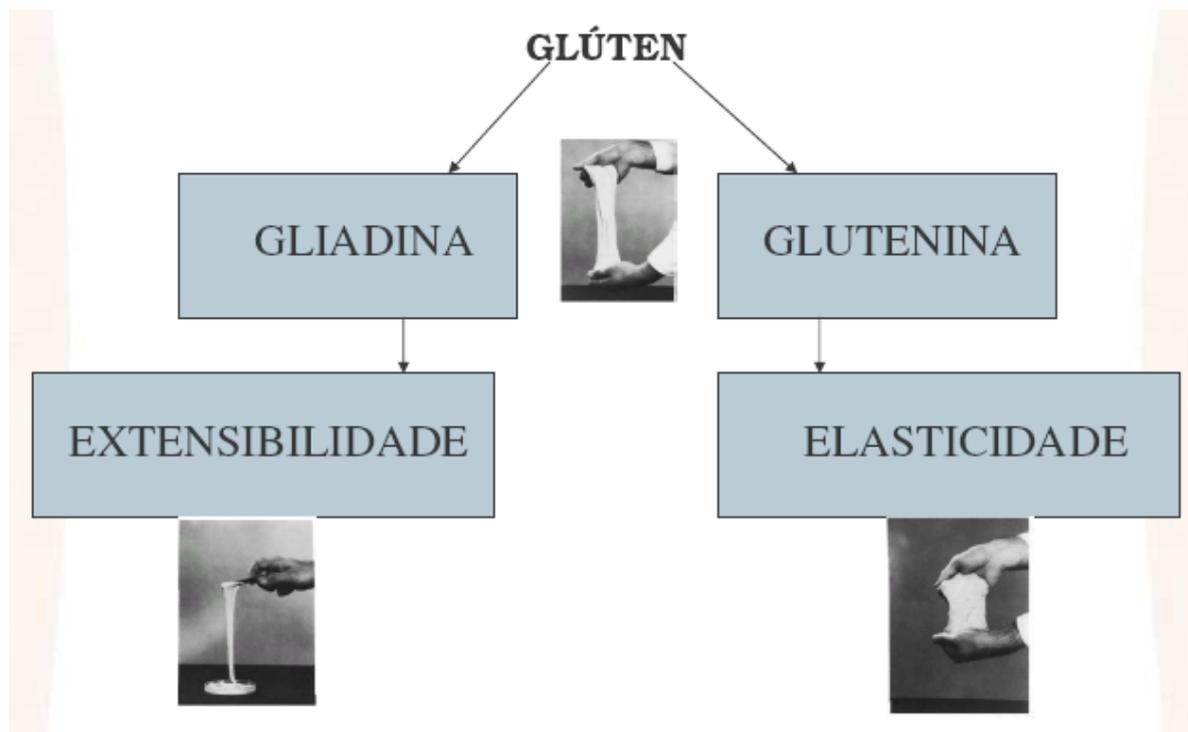


Figura 4: Proteínas insolúveis do glúten e suas características.

Fonte (Carvalho Júnior, 2005)

As proteínas da farinha de trigo contêm muitas sub-frações, conforme mostrado na Tabela 1. As proteínas solúveis são constituídas por albuminas e globulinas. As albuminas são solúveis em água e as globulinas em solução salina (geralmente 0,5M de solução de cloreto de sódio). As proteínas insolúveis da farinha de trigo são as formadoras do glúten, e estão em dois grupos, as gluteninas e gliadinas. As gliadinas são solúveis em 70-90% de etanol, enquanto que a glutenina permanece insolúvel nessa solução. As proteínas do glúten são classificadas em grupos: Pobres em sulfur-prolaminas (omega gliadinas); Ricas em sulfur-prolaminas (alfa, beta e gama gliadinas; gluteninas e baixo peso) e; Alto peso de moléculas de glutenina (Kulp, 1994).

Tabela 1: Classificação das proteínas da farinha de trigo (Moretto, 1999)

(a) Proteínas solúveis em água			
a ₁)	Albumina		
a ₂)	Globulina		
(b) Proteínas do Glúten			
b ₁	Gliadina - Monomérica	Ômega Gliadina	Pobre sulfur- Prolaminas
		α-Gliadina	
		γ-Gliadina	
b ₂	Glutenina - Agregados covalentes	Subunidades de baixo peso molecular	Ricas sulfur- Prolaminas
		Subunidades de alto peso molecular	

Quando a farinha de trigo e os demais ingredientes da massa são homogeneizados, durante a mistura, ocorre à hidratação das proteínas e a associação das mesmas através de pontes de hidrogênio, ligações de van der Waals e pontes S-S, formando um complexo reticular denominado glúten. O glúten se apresenta como uma rede de fibras elásticas que confere à massa a sua propriedade de extensibilidade a pressão de um gás. Em panificação, as características reológicas das massas relacionadas com as proteínas do glúten são particularmente importantes, responsáveis pelo volume e estrutura típica do produto (Bruno, 1989).

No final do processo de interação de várias proteínas da farinha de trigo e com a insolubilização em água da matéria protéica, temos o glúten juntamente com uma significativa quantidade de lipídios. Durante o processo de produção da massa, quando à farinha de trigo adiciona-se água, as proteínas são hidratadas e há a interação entre as mesmas. Essas interações são facilitadas pela operação de mistura, a qual altera a conformação estrutural e aumenta o contato uma com as outras. A Figura 5 demonstra a conformação do glúten após a hidratação e o trabalho mecânico. Durante o processo, outros componentes da farinha interagem com as proteínas. O principal componente não protéico participante da formação do glúten são os lipídeos da farinha, os quais formam complexos com os componentes protéicos. A adição de lipídios na formulação da massa (alguns emulsificantes) com as proteínas afetam as propriedades do glúten e, conseqüentemente, a característica da massa. Outros componentes da farinha que estão também presentes, isoladamente no glúten, são amido e pentosana (Kulp, 1994).

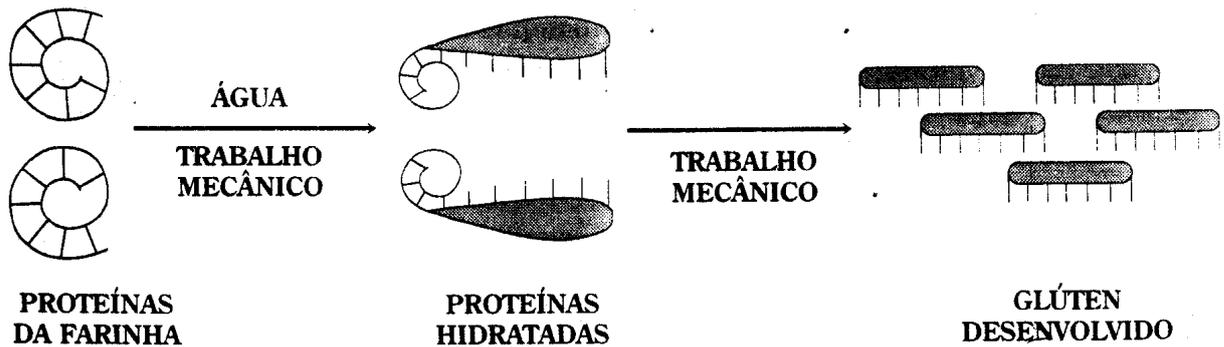


Figura 5: Estrutura do glúten após hidratação e trabalho mecânico (Carvalho, 2005).

O glúten da lavagem de um pedaço de massa contém cerca de 85% da proteína total da farinha. Quando seco, tem-se no glúten 80% de proteína, 5-10% de lipídeos e 10-15% de amido (Montenegro, 2005).

As farinhas de trigo para a produção de biscoitos podem ser classificadas, de acordo com a sua força, em farinhas fracas, médias ou fortes, o que está diretamente relacionado ao teor e à qualidade das proteínas. A seleção do tipo adequado de farinha dependerá do seu uso final. Os biscoitos *Cream Crackers* devem ser produzidos com farinhas fortes, devido ao estágio do processo de fermentação de esponja, caracterizado por uma fermentação prolongada (Bruno, 1989).

De acordo com Bruno (1989), a farinha de trigo para biscoitos deve ser produzida à partir de trigo mole. Entretanto, algumas vezes podem ser usadas, em misturas, quantidades limitadas de trigo duro de baixo teor de proteínas.

De acordo com Vitti (1979), a farinha para *Crackers* deverá ser mais forte, porém pode ser utilizado no preparo da esponja 63% de farinha forte e 7% de farinha fraca e, na massa, 30% de farinha fraca.

Para garantir a uniformidade na qualidade do produto final, a farinha deve ser submetida a testes químicos, físico-químicos e reológicos. O conteúdo de proteínas, tanto do trigo quanto da farinha, é considerado um dos melhores índices individuais do comportamento da farinha em panificação (Bruno, 1989).

A qualidade do grão e da farinha de trigo é determinada por uma variedade de características que assumem diferentes significados dependendo da designação de uso ou tipo de produto. Essas características podem ser classificadas em físicas, químicas, enzimáticas e funcionais (Gutkoski, *et al.*; 2003).

A avaliação reológica de farinha é de vital importância para a indústria de panificação ajudando a prever as características de processamento da massa e a qualidade dos produtos finais. A reologia também desempenha importante papel no controle de qualidade e na definição da especificação de ingredientes dos produtos elaborados. Entre as determinações disponíveis para avaliar objetivamente as propriedades da massa e definir o uso final da farinha de trigo na panificação, incluem-se as características de mistura (farinógrafo), características de extensão (extensógrafo, alveógrafo e consistógrafo), viscosidade, produção e retenção de gás (Gutkoski, *et al.*; 2003).

As propriedades das farinhas usadas na produção de biscoitos variam gradualmente dependendo do trigo da qual provém. Nessas farinhas é importante que sejam feitos alguns testes analíticos e reológicos, para manter a uniformidade na qualidade do produto final (Moretto, 1999). Os testes mais usados para caracterizar as farinhas de biscoitos podem ser classificados conforme Tabela 2.

Tabela 2: Testes utilizados na caracterização de farinhas para produção de biscoitos (Moretto, 1999).

Químicos	Enzimáticos	Físicos	Panificação
- Umidade - Proteína - Cinzas - Viscosidade - pH	- Número de queda (Falling number) - Maltose - Viscoamilógrafo - Amido danificado	- Farinógrafo - Alveógrafo - Tamanho da partícula - Capacidade de retenção de água	- Cookie spread factor

Para biscoitos, é importante não só a quantidade, mas também a qualidade da proteína expressa através da qualidade do glúten (Vitti, 1988).

A escolha adequada de farinhas para biscoitos “*crackers*” deve ser feita considerando-se os resultados dos testes químicos, físico-químicos e reológicos e dos testes que simulam a produção de biscoitos em escala laboratorial (“*banking test*”). Estes últimos são decisivos na avaliação da adequabilidade de uma farinha para um determinado fim (Bruno, 1989).

Para os testes químicos temos a umidade que é feita principalmente para avaliar se houve um bom rendimento da moagem. O teor de umidade da farinha deverá ser baixo (13 – 14%), porque facilita a estocagem e desfavorece o crescimento de fungos.

O conteúdo de cinzas é uma boa indicação da qualidade da farinha de trigo e do grau de refinamento na moagem. O conteúdo de proteína, tanto do trigo, quanto da farinha é considerado um dos melhores índices individuais do comportamento da farinha em panificação. A viscosidade é considerada um índice da qualidade da proteína e uma medida da força do glúten (Moretto, 1999).

Para os testes químicos temos o número de queda (*Falling number*) e viscoamilógrafo que avalia o nível de α -amilase no trigo e farinha devido à germinação. O teste do amido danificado está relacionado com as características do trigo e efeito da moagem, que pode afetar a qualidade do biscoito. O teor de amido danificado deverá ser o mais baixo possível para que o teor de umidade do produto acabado seja baixo. O amido danificado tem capacidade de absorção de 100% (Moretto, 1999).

Os testes físicos usando Farinógrafo, Extensógrafo e Alveógrafo medem a força da farinha e seu posterior comportamento, após esforços mecânicos aos quais será submetida durante vários estágios dos processos de fabricação. Estes testes indicam, por exemplo, a absorção de água da farinha de trigo, requerimentos de mistura e tolerância à mesma, elasticidade e extensibilidade das massas (Moretto, 1999).

O teste de *Cookie Spread* é um bom indicador do comportamento da farinha durante o cozimento (Moretto, 1999).

Para biscoitos tipo *Cracker*, farinhas mais fortes são usadas na esponja e são geralmente encontradas no intervalo de 8,5% a 10,5% de proteína, 0,38% a 0,42% de material mineral e 60° a 90° M (Michael) de viscosidade. Farinhas mais fracas, com teor de proteínas variando entre 8,0% a 9,0%, material mineral entre 0,38 a 0,42% e viscosidade entre 40° a 60°M, são usados no estágio de massa ou reforço. Qualquer que seja a farinha usada nestes intervalos, o processo de fermentação deve ser ajustado para cada tipo individual de farinha (Pizzinato, 1979).

Farinhas de trigo que contém teor de proteína ao redor de 11% podem formar bons tipos de biscoito *Cream Cracker*, mas devem ter atenção ao tempo de fermentação: baixo ou alto teor de proteína pode ser utilizado desde que o tempo de fermentação esteja adequado (Manley 1991).

I. 1.3.2.2) Água:

De acordo com Carvalho Júnior (2005), as funções da água, na massa de biscoito *Cream Cracker* são:

1. Importante como solvente para facilitar reações de ordem química e bioquímica;
2. É um catalisador que se adiciona na etapa de preparação de massa, sendo eliminado na etapa de forneamento;
3. Esse ingrediente participa da formação do glúten, hidratando as proteínas, dissolvendo os solutos como sal, hidratação do amido, dispersão da gordura, meio para atuação de fermento e enzimas;
4. Sua quantidade é determinada pela força da farinha (absorção) e temperatura final do processo e consistência ideal da massa;
5. Influencia nas propriedades físicas da massa, tais como consistência, mobilidade, extensibilidade, pegajosidade, elasticidade, umidade, entre outros;
6. Importante manter a temperatura da água constante para manter estável a temperatura e desenvolvimento das massas.

De modo geral, o teor de água na massa está na faixa de 29-34%, valor percentual relativo a massa total da farinha. A quantidade real é determinada pela força da farinha, sua absorção típica, a temperatura do processo e a consistência desejada da massa. A água influencia muitas propriedades físicas da massa, tais como a consistência, mobilidade, extensibilidade, pegajosidade, maleabilidade, elasticidade, umidade, assim, a quantidade de água adicionada na receita, pode afetar a qualidade do produto final de diversas maneiras. Além de ser um solvente para os materiais sólidos e agente umedecedor para farinhas, e água tem ação benéfica na fermentação da esponja do biscoito tipo “*cracker*”, pois a taxa e o total de gás produzido aumentam significativamente com o aumento do nível de absorção, ainda que em quantidades inferiores a 2% (Pizzinato, 1979).

I. 1.3.2.3) Fermento Biológico:

A história do pão e da fermentação pode ser rastreada por mais de 6 milênios. É provável que tenha sido desenvolvida de uma massa rudimentar chamada gruel, uma mistura de grãos moídos em água ou leite, assada em pedras quentes. Um pão bastante diferente dos dias de hoje. Em 450 A.C. os egípcios estavam familiarizados com as massas fermentadas, sendo responsáveis pela disseminação desse conceito.

Por séculos o domínio da fabricação do pão fermentado tornou-se símbolo de status em diversas sociedades (Coelho, 2003).

Com o passar dos séculos, se intensificaram novas pesquisas e em, 1674, o holandês Van Leenwenhoeck, desenvolveu um microscópio capaz de observar os glóbulos minúsculos que fermentavam em uma solução de açúcar. Ali estava o microorganismo vivo que fazia a massa crescer. Em 1850 na França, Louis Pasteur descobriu que os minúsculos glóbulos eram “plantas” unicelulares: as células do fermento. Descobriu ainda, que estas células utilizavam o açúcar para o seu crescimento e liberavam dióxido de carbono. Desde então, o fascínio em dominar o processo de leveduras de panificação fez com que diversas empresas buscassem esse desafio (Coelho, 2003).

A levedura é um microorganismo composto de uma única célula, denominado *Saccharomyces cerevisiae* (Sacaro=açúcar, myces=fundo, cerevisiae=cervejaria). Uma levedura tem 100 vezes o tamanho de uma bactéria, sendo seu tamanho muito próximo ao de uma hemácia. A composição média da célula de levedura é água (70,0%), proteína (15,0%), Carboidrato (10,5%), lipídeo (1,5%) e cinzas (3,0%) (Coelho, 2003).

É um ser vivo que depende de alguns componentes para mantê-lo estável e permitir a sua reprodução. Os açúcares – sacarose, glicose e frutose – presentes no melado, são os principais alimentos. Além deles, o fermento necessita de outros nutrientes como fósforo, nitrogênio, sais minerais e vitaminas (Coelho, 2003).

Assim, como todo ser vivo, as leveduras são provenientes de uma célula-mãe ou semente. Essa primeira levedura é tratada e mantida sob condições especiais no Laboratório da Fábrica que produz fermento, de modo a garantir um produto final sempre com as mesmas características e qualidade. Durante a alimentação da levedura é que ocorre a multiplicação das células e conseqüentemente aumento quantitativo. A levedura se reproduz de forma assexuada chamada gemulação ou brotamento, também sendo chamada de reprodução vegetativa. É um processo onde a levedura duplica o material de seu interior e se divide em duas, o qual se repete continuamente, dependendo da disponibilidade de nutrientes (Coelho, 2003).

O tradicional fermento fresco possui cerca de 70% de umidade e validade de 45 dias e deve ser armazenado sob refrigeração 5 – 7°C. O fermento seco apresenta 4% de umidade aproximadamente, pode ser armazenado em temperatura ambiente e possui validade de até 2 anos (Coelho, 2003).

As principais funções do fermento na produção de biscoitos tipo *Cracker* são: agente de crescimento, fonte de enzimas, fonte de bactérias e melhorador de sabor. A

quantidade de fermento usada varia, mas é raramente superior a 0,3%. Fermento prensado é o mais utilizado (Pizzinato, 1979).

Durante o processo de fermentação, graças ao fermento adicionado, ocorre o desenvolvimento de bactérias do tipo *Lactobacillus* sp. Isto associado à protease e malte adicionados à formulação do biscoito vai atuar nas características reológicas e mudanças químicas na massa (Moretto, 1999)

Os ácidos acéticos, propiônicos, isobutíricos, valérico, etc. e compostos nitrogenados aumentam cinco vezes nas 20 horas de esponja, provocando o aparecimento de sabor e aroma agradáveis no biscoito (Moretto, 1999).

Há vários fatores que podem indicar a qualidade do fermento, tais como: pureza da cultura; organismos estranhos; cor; aroma e; consistência. A alteração na cor pode indicar retenção de pigmentos coloridos do melaço que deu origem e o esfarelamento do fermento pode ocorrer devido a autólise (quebra da estrutura celular) (Moretto, 1999).

A dispersão de fermento nunca deve ser feita sobre o cloreto de sódio (sal), pois o mesmo tem efeito inibidor causando danos irreparáveis ao fermento (à atividade da levedura) (Carvalho, 2005).

Para a utilização de fermentos químicos frescos é muito importante manter a cadeia do frio, pois se ocorrer interrupções em algum momento, pode ocorrer deterioração do fermento, alterando sua coloração, consistência e atividade fermentativa, ocasionando na massa com desenvolvimento irregular (Carvalho, 2005).

A levedura produzirá 3x mais gás a 30°C que a 20°C, porém pode-se considerar que a temperatura máxima de fermentação deve ser 33°C. A Levedura morre à partir de 50°C, à medida que sobe a temperatura (após 33°C), sua atividade diminui (Carvalho, 2005).

O pH ótimo para a fermentação se situa entre 4 e 6. A causa principal para que se aumente a acidez das massas são as bactérias lácticas que sempre estão presentes na farinha. Para neutralizar esses ácidos, é utilizado bicarbonato de sódio para controle de pH em etapa de reforço (Carvalho, 2005).

I. 1.3.2.4) Enzimas:

As enzimas são definidas como proteínas especializadas que agem cataliticamente em uma série variada de reações bioquímicas. Sendo catalíticas, aumentam a taxa de reação sem serem consumidas (Moretto, 1999). Na figura 6 há um

esquema sobre a redução da energia de ativação das reações pela utilização das enzimas.

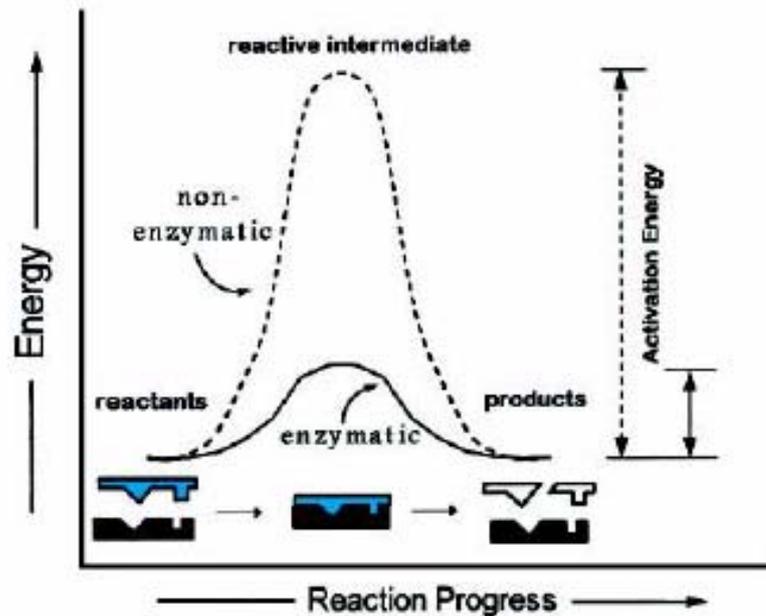


Figura 6: Atuação da enzima na redução da energia de ativação (Carvalho, 2005)

Todo o metabolismo de organismos vivos é afetado por enzimas e a extensão das reações envolvidas é incrivelmente ampla. Enzimas são altamente específicas de modo que somente certas ligações em um dado substrato são susceptíveis ao ataque (Vitti, 1988). Na Figura 7 há o esquema da reação entre a enzima e o substrato.

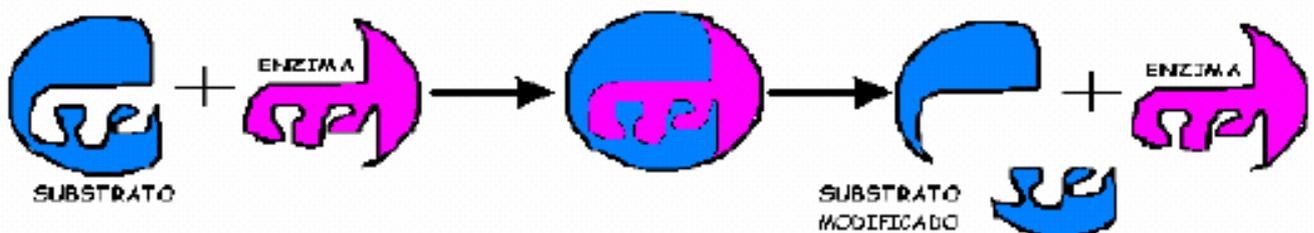


Figura 7: Ligação enzima + substrato (Carvalho, 2005)

O potencial de uma enzima é medido pela sua atividade por peso ou volume. Essa atividade é influenciada pelo pH, temperatura, tempo, substrato, concentração de enzima (Vitti, 1988). Nas figuras 8 e 9 são apresentadas os efeitos da temperatura e pH na atividade da enzima, respectivamente.

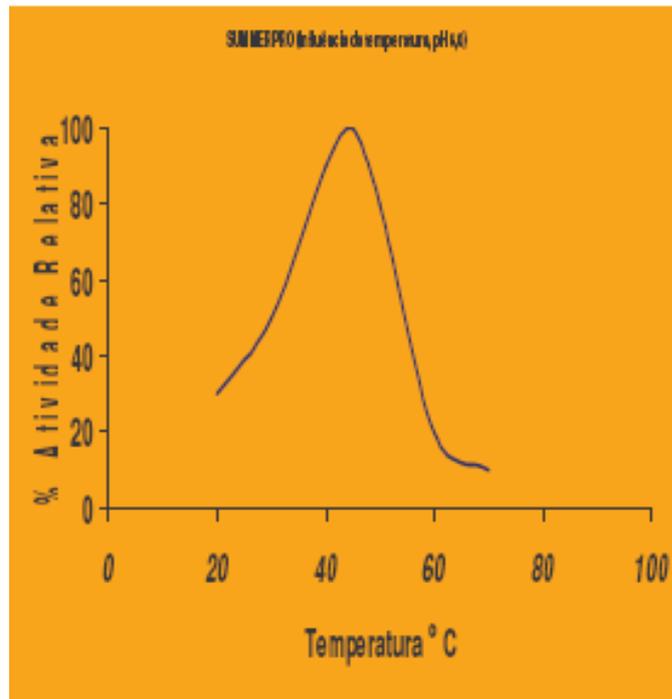


Figura 8: Efeito da temperatura na atividade da enzima (Carvalho, 2005).

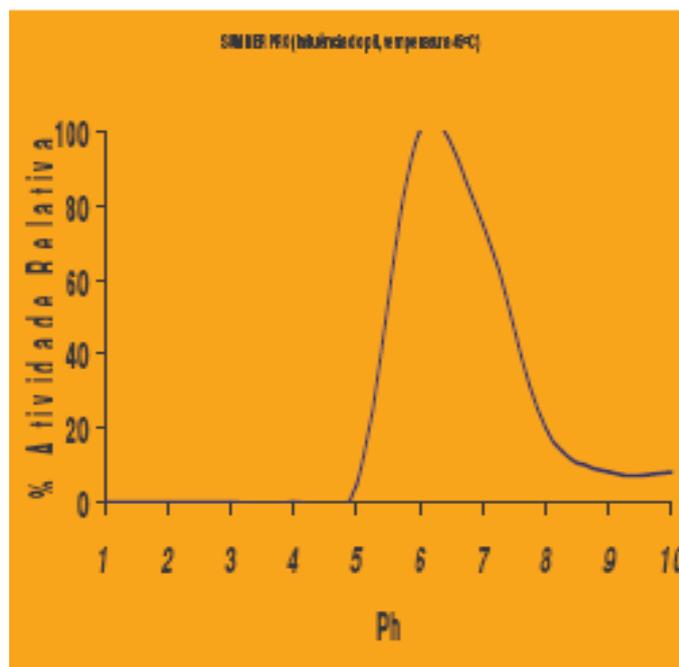


Figura 9: Efeito do pH na atividade da enzima (Carvalho, 2005).

As enzimas que atuam sobre proteínas, transformando-as em compostos mais simples, tais como peptídeos e aminoácidos, são chamadas de enzimas proteolíticas, proteases ou proteinases. As proteases pertencem à classe das hidrolases, enzimas que quebram moléculas pela introdução de água. As proteases hidrolisam as ligações peptídicas das proteínas, levando à formação de amina (NH_2) e carboxila (COOH) e

originando polipeptídeos de menor peso molecular e, em última instância, aminoácidos simples (Bruno, 1989).

Amilase e protease são importantes enzimas na panificação. Na produção de biscoito tanto amilase de origem fúngica com de cereal tem sido empregada. Hoje, enzimas de origem fúngica ou bacteriana estão em uso e têm permitido um controle mais preciso de laminação e conseqüentemente da textura do biscoito *Cracker* (Pizzinato, 1979).

A adição de proteases é particularmente benéfica na produção de *Cracker*, onde é necessária uma massa maleável e extensível para controlar a textura e volume do produto. Essas enzimas agem sobre o glúten durante a fermentação para fornecer um balanço adequado entre extensibilidade e elasticidade das massas, permitindo que as massas sejam laminadas sem se romperem e que produzam no cozimento biscoitos com superfície lisa, sem bolhas ou deformação nas bordas. O uso de proteases podem também acelerar o condicionamento do glúten durante a fermentação. No processamento de “*crackers*”, o estágio esponja envolve a fermentação de 18 horas que pode ser consideravelmente acelerado com a adição de protease (Bruno, 1995).

As proteases de origem vegetal e bacteriana são mais adequadas ao processamento de biscoitos em relação às fúngicas, por apresentarem maior eficiência na degradação do glúten. Em geral, as proteases bacterianas são concentrados enzimáticos derivados do *Bacillus subtilis*, apresentando um pH ótimo entre 6 e 7 e temperatura ótima próxima de 50°C (Bruno, 1995).

Durante muito tempo, as proteases foram consideradas como agentes redutores, devido à analogia dos efeitos causados por essas duas famílias de substâncias sobre as propriedades físicas do glúten. Os agentes redutores quebram as ligações S-S, formando grupos S-H que não tem efeito ligante, o que torna a massa macia e extensível. Os agentes oxidantes por sua vez, promovem a oxidação de grupos S-H para formar as ligações S-S entre as cadeias, tornando a massa rígida e elástica. As enzimas proteolíticas hidrolisam as cadeias de proteína nas ligações peptídicas, criando no sistema linhas protéicas transversais e diagonais unidas por pontes S-S. Dessa forma, ocorre uma nova orientação das cadeias por meio da formação de ligações frágeis, que podem ser facilmente rompidas (Bruno, 1995). Na Figura 11 há a diferença de atuação dos agentes redutores das proteases.

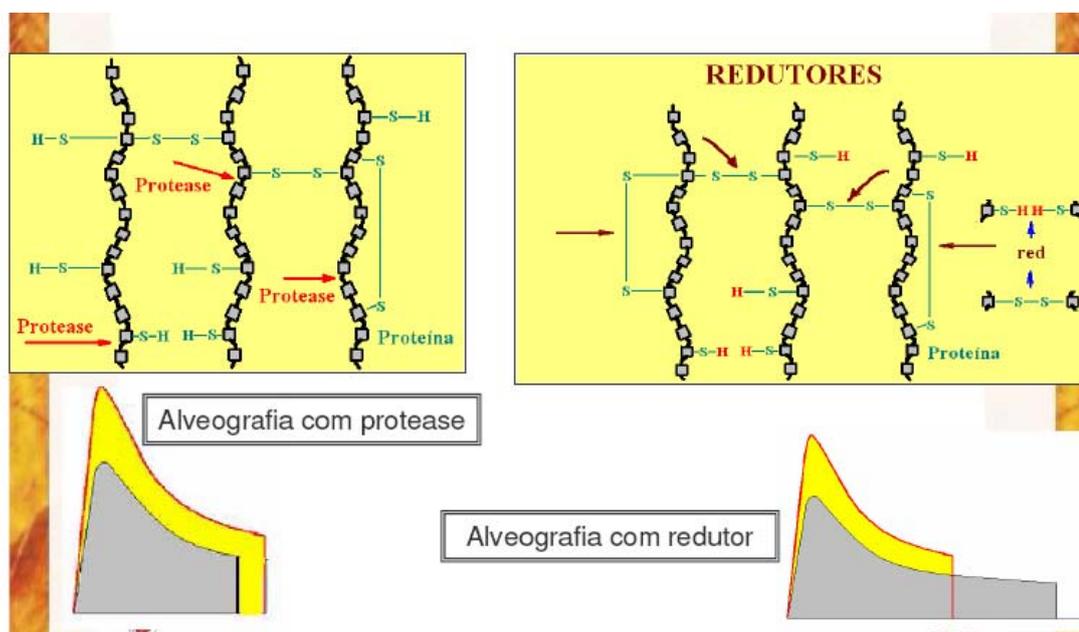


Figura 10: Atuação das proteases x agentes redutores (Carvalho, 2005).

A adição de proteases exógenas, visando ao enfraquecimento do glúten, deve ser feita em função da qualidade da farinha utilizada e do produto desejado. Na produção de biscoitos tipo *Cracker*, a rede de proteína (glúten) deve ser suficientemente enfraquecida para facilitar o processamento e fornecer um produto friável, o que pode ser alcançado através de uma ação proteolítica mais forte do que aquela para a produção de pães (Bruno, 1989).

As pentosanas estão naturalmente presentes no grão de trigo em um nível aproximadamente entre 1,5-3,0% na farinha. Como toda fibra natural, pentosanas rapidamente absorvem água. Quimicamente as pentosanas são arabinoxilanas, polímeros de pentoses, conjunto de arabinose e xilose. As pentosanas podem ser degradadas por ação de pentosanase. As pentosanases reduzem a absorção de água em biscoitos e podem ser utilizadas com utilização de baixos níveis de água com a produção de massas de mesma consistência. Biscoito com este tipo de tratamento enzimático pode ser cozido em menor tempo, pois ele contém menos água (Kulp, 1994).

De acordo com Carvalho (2005), as pentosanas são capazes de absorver aproximadamente 23% da água em farinha de trigo que é mostrado na Figura 10.

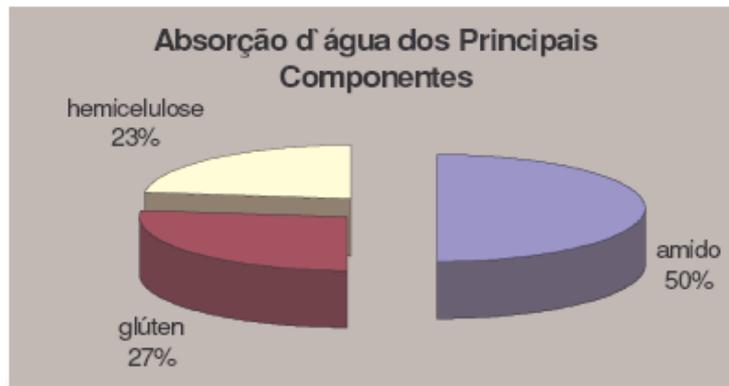


Figura 11: Absorção de água dos principais componentes presentes na farinha de trigo (Carvalho, 2005).

Além disso, as pentosanas podem afetar o desenvolvimento do glúten, devido a sua alta absorção de água. Adicionalmente, essas moléculas podem enovelar o glúten, impedindo, assim, que formem estruturas mais organizadas e com maior capacidade de retenção de gás durante o processo fermentativo, conforme ilustrados na Figura 12 (Carvalho, 2005).

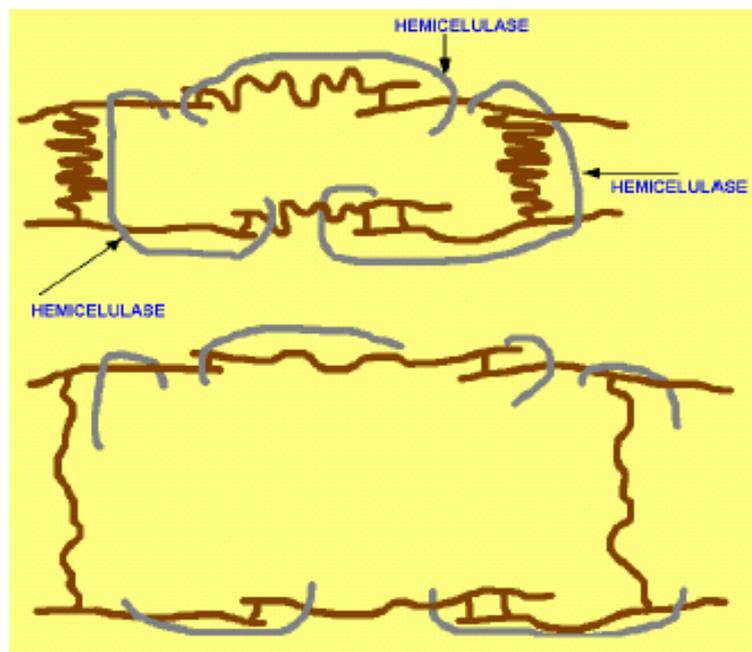


Figura 12: Esquema da atuação das pentosanas no desenvolvimento do glúten (Carvalho, 2005).

Com utilização das pentosanases, como a aplicação de xilanase, produtos como *Cream Cracker* podem apresentar um maior desenvolvimento da estrutura da rede de

glúten, proporcionando produtos com menor peso específico, com maiores alvéolos e maior expansão, conforme pode ser exemplificado na Figura 13 (Carvalho, 2005).



Figura 13: Esquema da atuação das pentosanas no desenvolvimento de biscoito *cream cracker* (Carvalho, 2005).

I. 1.3.2.5) Gordura:

A gordura normalmente em um biscoito tem função de amaciador, contribuindo para o aroma e sabor, melhoria da expansão e lubrificação da massa. Pode eventualmente funcionar como agente de crescimento pela retenção de ar (Moretto, 1999).

Por meio da cobertura dos grânulos de açúcar e partículas de farinha de trigo, a gordura é capaz de reduzir o tempo de mistura e energia exigida para tal. Previne-se o desenvolvimento excessivo do glúten e o produto final fica mais macio (Moretto, 1999).

A aeração depende dos cristais presentes, os quais são formados durante a plastificação. A aeração ocorre na fase de mistura. O ar preso como núcleo para gases de crescimento e o vapor d'água é liberado durante o assamento. O resultado disso é o aumento no volume do biscoito, textura uniforme e macia (Moretto, 1999).

Na fabricação de biscoitos "*cracker*", a gordura contribui para a maciez, qualidade crocante e sabor do produto final, o que é, em parte, consequência de um melhor crescimento no forno. A gordura também torna a massa menos pegajosa, propriedade essa muito importante na fabricação. As gorduras utilizadas normalmente são fundidas e usadas no estado líquido, o que ajuda na obtenção de uma melhor dispersão durante o curto período de tempo de mistura. A gordura pode ser introduzida tanto na esponja como na massa. Aqueles que a colocam na esponja, acreditam haver melhor dispersão da gordura, enquanto aqueles que a colocam na massa acreditam

em melhor fermentação da esponja. Há ainda aqueles que colocam metade na esponja e a outra metade na massa (Pizzinato, 1979).

I. 1.3.2.6) Cloreto de sódio (sal):

O sal é um ingrediente que além de contribuir para o sabor do produto, é responsável por características de desenvolvimento da proteína do trigo. O sal entra na composição de uma formulação em teores, variando de 0,6 a 1,5% sobre a quantidade de farinha de trigo (Moretto, 1999).

Na fermentação do biscoito *cracker*, o sal age como estabilizador da fermentação, controlando a taxa de reprodução da levedura. Além disso, é capaz de diminuir a absorção de água, ajudar no fortalecimento do glúten, melhorar a retenção dos gases, contribuir com uma melhor textura, volume e sabor do produto final (Moretto, 1999).

O sal é usado tanto na massa quanto na cobertura de biscoitos. Entretanto existe uma pequena produção de biscoito *Cracker* sem sal. Assim, o sal não é essencial para a massa, senão para melhorar o sabor. Variando-se de massa com e sem sal, devem ser feitos ajustes, normalmente na quantidade de água. O sal pode ter efeito negativo na fermentação alterando a produção de gás na massa fermentada, podendo também agir como inibidor enzimático proteolítico, quando adicionado na esponja (1º fase de massa). O sal também pode ter efeito direto no glúten. Essa função afeta a absorção máxima e melhora a retenção de gás pelo glúten e, conseqüentemente, o produto acabado melhora o volume e a textura. Assim, o sal deve ser utilizado na fase de reforço - 2º fase de massa (Pizzinato, 1979).

I. 1.3.2.7) Bicarbonato de sódio:

O pH do produto deve ser controlado cuidadosamente, a fim de desenvolver cor e sabor adequados (Moretto, 1999).

Em biscoitos tipo *cracker* o bicarbonato de sódio é adicionado no estágio de reforço (2º fase de massa) para neutralizar os ácidos formados durante a fermentação da esponja (1º fase de massa) e para definir o pH do produto final. Pode-se encontrar biscoito tipo *Cracker* de diferente pH, mas em geral, o pH se situa ao redor de 7,5, que é considerado ideal para as melhores características de sabor. Biscoito tipo *Cracker* com coloração escura pode ser causado por massas alcalinas, enquanto biscoitos

claros por massas ácidas. A quantidade de bicarbonato de sódio exigida pode ser afetada por inúmeros fatores, os quais podem estar relacionados com os ingredientes utilizados, condições de processamento, ou até mesmo condições climáticas. Praticamente, qualquer fator que afeta a acidez da massa e seu pH pode contribuir para a variação da quantidade de bicarbonato de sódio. Tanto a acidez da esponja como a acidez do reforço pode ser influenciada por fatores internos e externos, incluindo o tipo de farinha, o tempo de fermentação, a temperatura, o tipo e quantidade de fermento, além de muitos outros. Na produção de biscoitos tipo *Cracker*, o bicarbonato de sódio pode reagir com os ingredientes da massa de natureza ácida. O princípio geral envolve a reação do bicarbonato de sódio com ácidos e sais ácidos. No assamento do biscoito, o bicarbonato de sódio livre praticamente se decompõe liberando parte de seu dióxido de carbono. A decomposição do bicarbonato de sódio ocorre somente em temperaturas relativamente altas (Pizzinato, 1979).

1. 1.3.2.8) Malte:

O malte ou xarope de malte contém 75% de maltose. Existem dois tipos de malte utilizados na indústria de biscoitos: o malte não diastático e o malte diastático. O não diastático a atividade da diástase foi eliminada, e o malte diastático contém quantidades apreciáveis de enzima diástase. O malte diastático possui enzima do tipo pepsina, a protease que age no glúten da massa. Ela pode liquefazer o amido insolúvel e converte-lo em açúcar maltose. Malte com baixa capacidade diastática tem sido utilizado com vantagens em biscoitos tipo *Cracker*, numa proporção de 2% sobre a quantidade de farinha de trigo utilizada. O malte não diastático pode ser utilizado em biscoitos do tipo amanteigado para melhora da cor, sabor e aroma do produto, ou na fase de reforço dos biscoitos tipo *Cracker* para compensar o açúcar perdido durante o período de fermentação da esponja, isto contribui para melhorar o crescimento da massa (Moretto, 1999).

I. 1.4) Processamento na fabricação de biscoitos tipo *Cream Cracker*

O processo de fabricação de biscoito tipo *Cream Cracker* é constituído das etapas de preparação de massa, laminação, forneamento, resfriamento e embalagem do produto. Cada etapa do processo é desenhada para dar ao produto suas características como sabor, crocância, textura, abertura entre as camadas do produto em formato de colméia, cor entre outras.

I. 1.4.1) Preparação da massa:

Os biscoitos fermentados, *Cracker*, constituem uma classe à parte, tanto do ponto de vista de formulação como de processamento. Suas massas utilizam fermento biológico e são, geralmente, produzidos pelo método de massa esponja, como longo tempo de fermentação. Esse produto requer farinha mais forte que os outros biscoitos, principalmente para a fase de esponja, visto que deverá suportar maior manuseio e também duas etapas de fermentação (Quaglia, 1999).

De acordo com Oliver (1997) as massas de biscoito *Cream Cracker* são similares às massas de pão, pois apresentam uma rede desenvolvida de glúten que é a base molecular das interações das proteínas hidratadas do armazenadas no endosperma do trigo. As massas de biscoito *cream cracker* têm uma maior consistência (mais dura), devido ao baixo nível de água (300g/kg sobre o peso da farinha), enquanto massas de pão apresentam maior consistência (600g/kg sobre o peso da farinha).

De acordo com Morreto (1999), as fórmulas dos biscoitos *cracker* variam principalmente dependendo da farinha de trigo utilizada. Uma fórmula típica de biscoito *cracker* é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Fórmula usada na produção dos biscoitos *cracker* (Moretto, 1999).

Ingredientes	1º Etapa: Esponja (%)	2º Etapa: Massa (%)
Farinha de trigo	70	30
Gordura	10-12	0,0
Fermento	0,3-0,5	0,0
Água	43-45 dependendo da farinha	0,0
Sal	0,0	1-2
Malte	0,0	1-2
Bicarbonato de sódio	0,0	0,6 (para esponja a 28°C)

De acordo com Melo (2004), os ingredientes normalmente usados na formulação de biscoitos *cracker*, constituem de farinha de trigo, água, fermento, gordura, açúcares, bicarbonato de sódio e cloreto de sódio. Podem ser usados malte e suplemento enzimático. A fórmula apresentada na Tabela 4 pode ser adicionada outros ingredientes que alteram o sabor do *cracker* convencional.

Tabela 4: Fórmula usada na produção dos biscoitos *cracker* (Melo, 2004).

Ingredientes	1º Etapa: Esponja (%)	2º Etapa: Massa (%)
Farinha de trigo	65,0-70,0	30,0-35,0
Gordura	5,0-9,0	5,0-9,0
Fermento	0,5-1,0	0,0
Água	22,0-30,0	0,0
Sal	0,0	1,0-1,9
Malte não diastático	0,0	2,0-4,0
Bicarbonato de sódio	0,0	0,4-0,65
Lecitina de soja	0,0	0,1-0,2

No processo de manufatura mais utilizado, as massas de *cream cracker* são feitas através da massa por esponja, onde emprega processos de fermentação que podem chegar a 24 horas de fermentação. As esponjas contêm farinha de trigo, fermento, água e sal e são misturados, após são fermentados por 18 horas. Farinha de trigo, sal, bicarbonato de sódio e água são adicionados em uma segunda etapa de massa que pode ser fermentada até 5 horas em um processo final. Durante a fermentação o metabolismo microbiano é capaz de produzir componentes responsáveis pelo sabor e aroma do produto (Oliver, 1997).

De acordo com Pizzinatto (1979), o biscoito *cracker* é preparado na indústria pelo processamento de massa indireto, em dois estágios (esponja e massa), que envolve um período de fermentação de aproximadamente 24 horas, que é responsável para produzir as mudanças responsáveis pela textura e qualidades degustativas que caracterizam o biscoito *cracker*.

De acordo com Moretto (1999), os biscoitos *cracker* utilizam fermento biológico e geralmente, de longo período de fermentação. Acredita-se que as mudanças físicas e químicas que ocorrem durante a fermentação sejam responsáveis pelo sabor típico e, em parte, pela textura final que caracterizam esses biscoitos. As massas desse produto

são geralmente produzidas pelo método de “massa esponja”, processo no qual o tempo total de produção é de 24 horas aproximadamente.

No processo de biscoito *cream cracker*, o preparo da massa é feita em dois estágios: o primeiro constitui a formação da esponja e o segundo, a formação da massa. Para a esponja, mistura-se parte da farinha (60-70%), todo o fermento suspenso em parte da água, uma parte da gordura (ou o total) e o malte. Mistura-se por 5 a 10 minutos, deixando a esponja fermentar em câmara a 26 a 30 °C e umidade relativa de 70 a 85% por 18-20 horas. Depois se adicionam à esponja o restante dos ingredientes, mistura-se por 3-7 minutos e deixa-se fermentar por mais 4 a 5 horas. O misturador normalmente usado para este produto é o vertical de duas hastes, com velocidade baixa (fixa ou variável). As pás têm um formato tal que propiciem o máximo de mistura com o mínimo de desenvolvimento mecânico da massa (Quaglia, 1999).

Após a fermentação, a esponja atinge uma acidez bem maior que a inicial (pH inicial = 6,0 e pH final = 4,5), devendo ser adicionado bicarbonato de sódio para neutralizar os ácidos produzidos. Ao iniciar a segunda fermentação, a massa tem em torno de pH 8,0 e após a fermentação chega a pH 6,3 (Quaglia, 1999).

A diferença de 1 a 2°C na temperatura da massa da esponja pode afetar o trabalho mecânico na massa e definitivamente causará uma queda na qualidade do biscoito “*cracker*”. A velocidade de mistura, temperatura e o tempo de fermentação devem ser rigorosamente controlados (Pizzinato, 1979).

O fermento e o suplemento enzimático devem ser totalmente dissolvidos antes da adição à massa. O bicarbonato de sódio deve ser cuidadosamente calculado para cada massa de acordo com o pH da esponja. Uma vez estabelecida a sua quantidade básica, o acréscimo ou decréscimo de bicarbonato de sódio dependerá da variação da temperatura da esponja em relação a um padrão (Pizzinato, 1979).

Os ingredientes secos, a serem adicionados no estágio de mistura da massa, devem ser rigorosamente distribuídos e misturados dentro da farinha, antes da mistura, a fim de garantir total dispersão e evitar aglutinação (Pizzinato, 1979).

O misturador mais comum para massa de biscoito “*cracker*” é chamado misturador de haste vertical. Os braços que fazem a mistura, em número de 2 a 4, estão ligados em ângulo reto com o eixo vertical e espaçados igualmente do fundo para a altura máxima nivelada de massa na carga. A massa é colocada num tacho e os braços abaixados sobre a carga para executar a mistura. Quando esta for completada, os braços são levantados e a carga removida. Os braços do misturador têm a forma de

pá de hélice de modo a propiciar o máximo de mistura e o mínimo desenvolvimento mecânico à massa (Pizzinato, 1979).

A Figura 14 mostra um misturador de haste vertical, utilizado em indústria de biscoitos, em produtos *cream cracker*.



Figura 14: Misturador de haste vertical utilizado na produção de biscoito *cream cracker*.

A velocidade do misturador é ao redor de 20rpm, podendo-se encontrar modelos com 30 a 40rpm. Uma sala de fermentação operando entre 26 a 30°C e com 70 a 80% de umidade relativa oferece bons resultados (Pizzinato, 1979).

A Figura 15 mostra uma sala de fermentação, contendo esponjas nessa fase do processo.



Figura 15: Sala de fermentação de produto *cream cracker*.

De acordo com Quaglia (1999) foi acompanhado o processo de biscoito *cream cracker* em duas indústrias: Produtos Águia Central S.A., de Salvador e Petybon Alimentícia Ltda, em São Paulo. Cada indústria usou sua formulação usual, apenas substituindo 20% da farinha de trigo pelas sucedâneas. A esponja foi misturada em misturador vertical por 5 a 9 minutos, usando água a 14-16°C. A esponja foi fermentada por 7 horas em câmara regulada a 20°C, após este período a temperatura da esponja era de cerca de 35°C. Esta então foi colocada normalmente na bateadeira para a formação da massa, quando se adicionou o restante dos ingredientes, misturando por 5 minutos, ao final dos qual a massa alcançou 34°C e retornou à fermentação. A segunda fermentação durou 3 horas em câmara a 24°C.

1. 1.4.2) Laminação da massa:

Após a preparação da massa, no término da fermentação da segunda etapa, a massa é conduzida automaticamente para a laminadora, sendo introduzida na moega de alimentação. No fundo da moega existem rolos estriados que ajudam a formar uma lâmina espessa e contínua de massa. Esta lâmina de massa passa através de uma série de rolos, os quais reduzem a sua espessura por etapas, passando-a de aproximadamente 35mm para 4 ou 5mm. A lâmina fina é então dobrada sobre si mesma pela secção da máquina conhecida como dobradora. O número de dobras

pode variar, mas é comumente encontradas de 6 a 8 camadas de massa empilhada de tal modo a formar um ângulo reto com a direção do movimento da massa. Esta pilha de massa é então reduzida novamente em espessura por outros 3 pares de rolos laminadores, sendo que no último par é feito o controle de espessura da massa de modo a ter um determinado número de biscoitos por unidade de peso e volume (Pizzinato, 1979).

De acordo com Quaglia (1999), na laminação a massa é passada por rolos para formar lâminas, cuja espessura é gradativamente reduzida. Há dois sistemas de laminação para *cracker*, um horizontal e outro vertical. Sendo a laminação vertical, mais moderno e compacto. O sistema de laminação para esse biscoito é mais complexo que para semidoces duros, pois envolve uma etapa onde a lâmina é dobrada em várias camadas sobrepostas, entre as quais se coloca uma “farofa”. Essa farofa é feita de farinha de trigo, gordura e sal e deve ser adicionada o mais fria possível. Esse procedimento permite que, após o cozimento, se visualizem as diferentes camadas de massa que compõe o biscoito, semelhante a uma massa folhada.

De acordo com MORETTO (1999), a farofa é feita de farinha de trigo (100 partes), gordura (40 partes) e sal (1-2 partes). Estes ingredientes devem ser homogeneizados e peneirados antes da adição.

A Figura 16 mostra a sobreposição de massas na laminação com a aplicação de farofa entre elas, e o efeito da farofa no produto final.



A Figura 16: Sobreposição de massas na laminação com a aplicação de farofa entre elas, e o efeito da farofa no produto final.

Depois de dobrada, a massa passa novamente por rolos para reduzir a lâmina à espessura adequada, quando é, então estampada e cortada por prensa ou rolo. O corte deve ser efetuado com pressão suficiente para que as bordas fiquem bem seladas e não abram durante o cozimento. O *cracker* pode ainda receber um pouco de sal na superfície na etapa de laminação e um spray de óleo após o cozimento, dependendo do tipo de produto (Quaglia, 1999).

O sistema de laminação deve ser ajustado para seguir os seguintes princípios: evitar o esforço na massa devido a estiramentos ou concentrações de massa em determinado ponto em contato com os rolos; utilizar todos os rolos laminadores igualmente, a fim de evitar o pressionamento excessivo da massa pela redução rápida em algum ponto do conjunto de rolos. Se o número de rolos for inadequado, fazer da primeira redução a maior, manter as dobras e a bordadura uniformes e usar farinha de trigo para polvilhamento. Quando a lâmina de massa vem dos rolos de acabamento, passa sob um sistema de moldador que ao mesmo tempo perfura e estampa o biscoito (Pizzinato, 1979).

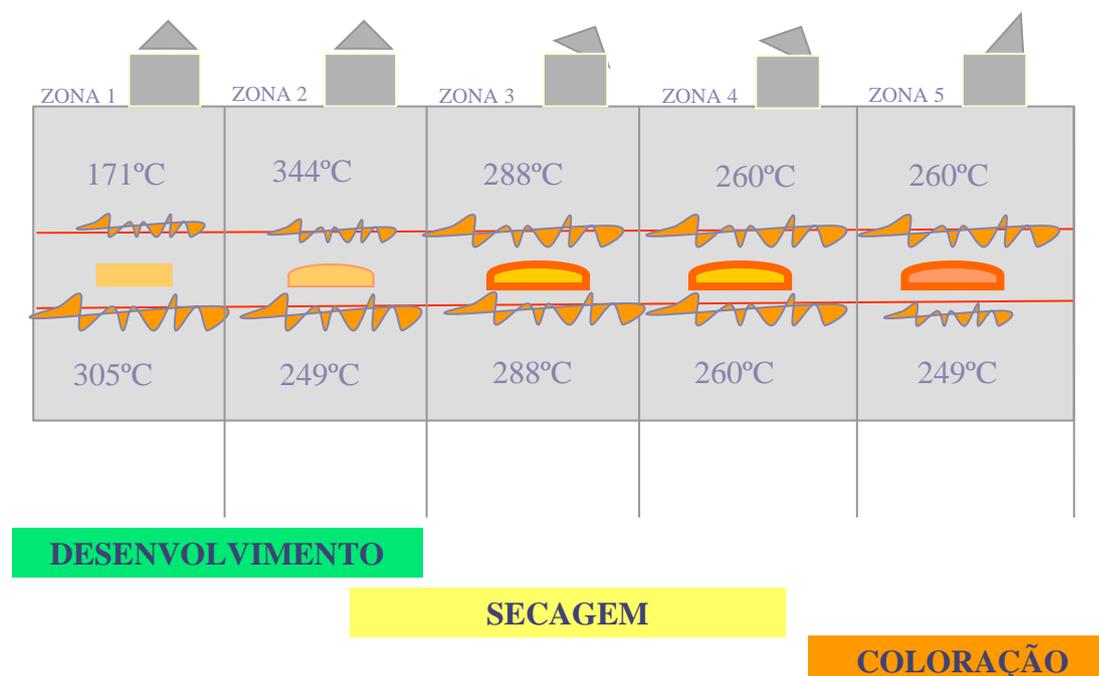
I. 1.4.3) Forneamento:

De acordo com Moretto (1999), o forno mais utilizado para os biscoitos *cream cracker* é o de esteira metálica.

A lâmina de massa passa do moldador-cortador para uma superfície contínua onde se realiza o assamento, a qual é na forma de uma esteira transportadora metálica passando através da câmara de assamento. A superfície de assamento mais desejável para biscoito é do tipo metálico, construída de arame trançado. Existem diferentes tipos de esteira em uso. As mais comuns têm ao redor de 1m de largura. O comprimento da esteira é governado pelo comprimento da câmara de assamento, o que determina a capacidade de assamento do forno. Na prática, estes fornos podem ir de 30 à 100mm, sendo mais comum encontrar fornos de 70 a 90m. A massa de biscoito *cracker* contém aproximadamente 34% de água, que é proveniente da água e da umidade dos outros ingredientes. O biscoito *cracker* após o cozimento pode conter aproximadamente 3% de umidade. Assim, os fornos para este produto devem ter um eficiente sistema de exaustão para remover a água. O forno pode ser alimentado por qualquer tipo de combustível comum. A maioria dos fornos é alimentada diretamente por queimadores de chama aberta, acima e abaixo da superfície de assamento (Pizzinato, 1979).

Nos biscoitos *cracker* o volume deve ser obtido nas primeiras zonas do forno e deve ser mantido pelo calor adequado destas zonas, mas não deve acontecer formação de cor. As primeiras zonas do forno devem manter um adequado balanço de calor entre o teto e a base. Um excesso de calor na base causará biscoitos encurvados, já que as margens ficarão voltadas para baixo. Se o excesso de calor é no teto, as margens ficarão voltadas para cima. O tempo de cozimento depende do tipo de forno, mas de forma geral, está entre 3 e 5 minutos (Moretto, 1999).

Um exemplo de condições de temperatura do forno de 90m, que produzem um bom produto, é mostrado na Figura 17. O tempo médio de cozimento desta etapa é de 3 – 5 minutos.



A Figura 17: Condições de temperatura de um forno esquemático de 90m.

O biscoito *cracker*, sem considerar o fabricante e independente de preferências individuais de aroma, sabor, cor e espessura, deve ser macio e crocante. Estas características de qualidade vêm de produtos bem seco, de textura aberta, e uniforme. Deseja-se ainda que os biscoitos tenham as seguintes características: formato uniforme, plano e com laterais fechadas, pH uniforme, ausência de farinha tanto na parte superior como inferior, quebra uniforme nas linhas, ausência de pequenas bolhas na superfície, cor uniforme e número adequado de biscoitos por unidade de peso (Pizzinato, 1979).

I. 1.4.4) Resfriamento e embalagem:

Após a etapa de forneamento, o produto é resfriado através de esteiras que vão em direção às máquinas de embalar (Pizzinato, 1979).

O tempo de resfriamento pode ser em média, duas vezes maior do que o assamento (Vitti, 1979).

Na área de empacotamento o produto é embalado com material capaz de proteger o produto devido a gordura, da umidade externa (Pizzinato, 1979).

I. 2 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

I. 2.1 Melhoria e estatística da qualidade:

Nos dias atuais, a qualidade de produtos e de serviços tem se tornado um importante fator de decisão na maioria dos negócios. Quando um consumidor estiver fazendo decisões de compra, ele estará propenso a considerar a qualidade com a mesma importância que o custo e o prazo de entrega. Conseqüentemente, a melhoria da qualidade tem se tornado uma preocupação importante para muitas corporações (Montgomery, 2003).

O termo qualidade significa adequação ao uso: os consumidores esperam encontrar produtos e serviços em conformidade com seus requerimentos ou desejos. A qualidade ou adequação ao uso é determinada através da interação de qualidade de projeto e qualidade de conformidade. Por qualidade de projeto, pode se entender como os diferentes graus ou níveis de desempenho, de confiabilidade, de serviços e de função que são o resultado de decisões. Por qualidade de conformidade, queremos dizer a redução sistemática de variabilidade e a eliminação de defeitos até que cada unidade produzida seja idêntica e livre de defeitos (Montgomery, 2003).

De acordo com Montgomery (2003), métodos estatísticos desempenham um papel vital na melhoria da qualidade. Algumas aplicações são:

1. No planejamento e desenvolvimento de produtos, métodos estatísticos, incluindo experimentos planejados, podem ser usados para comparar diferentes ingredientes, materiais e componentes, e ajudar a determinar tolerâncias do sistema. Essa aplicação pode reduzir os custos e tempo de desenvolvimento de um produto.
2. Métodos estatísticos podem ser usados para determinar a capacidade de um processo de fabricação, promovendo a melhoria sistemática de um processo pela redução da variabilidade.
3. Métodos de planejamento de experimentos podem ser usados para investigar melhorias de processo. Essas melhorias podem conduzir a rendimentos maiores e menores custos de fabricação.
4. Testes de vida fornecem confiabilidade e outros dados de desempenho sobre o produto.

De acordo com Costa (2005), as técnicas de Planejamento de experimentos e Análise de experimentos, especialmente de planejamentos fatoriais, são extremamente úteis na descoberta dos fatores (parâmetros) que afetam a qualidade de uma característica de interesse (variável resposta).

De acordo com Montgomery (2004), um experimento planejado é extremamente útil na descoberta das variáveis-chave que influenciam as características da qualidade de interesse no processo. Um experimento planejado é uma abordagem de variação sistemática de fatores de entrada controláveis no processo e de determinação do efeito que esses fatores têm nos parâmetros do produto de saída. Experimentos estatisticamente planejados são valiosos na redução da variabilidade nas características da qualidade e na determinação dos níveis das variáveis controláveis que aperfeiçoam o desempenho do processo.

1. 2.2 Planejamento de Experimentos:

A introdução da metodologia de planejamento de experimentos nos estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento é, em geral, a chave para o sucesso geral do produto. Este tem sido o princípio de várias indústrias como eletrônica, aeroespacial, automotiva, produtos médicos, alimentos, farmacêutica entre outras. O uso eficaz da metodologia de planejamento de experimentos pode levar a produtos mais fáceis de serem produzidos, com maior confiabilidade e que têm desempenho de campo acentuado (Montgomery, 2004).

Um experimento planejado é um teste ou uma série de testes, no qual são feitas mudanças propositais nas variáveis de entrada de um processo, de modo a podermos observar e identificar mudanças correspondentes na resposta de saída (Montgomery, 2004).

A validade das conclusões que são retiradas de um experimento depende em grande extensão de como o experimento foi conduzido. Assim, o planejamento do experimento desenvolve o papel principal na solução futura do problema que inicialmente motivou o experimento (Montgomery, 2004).

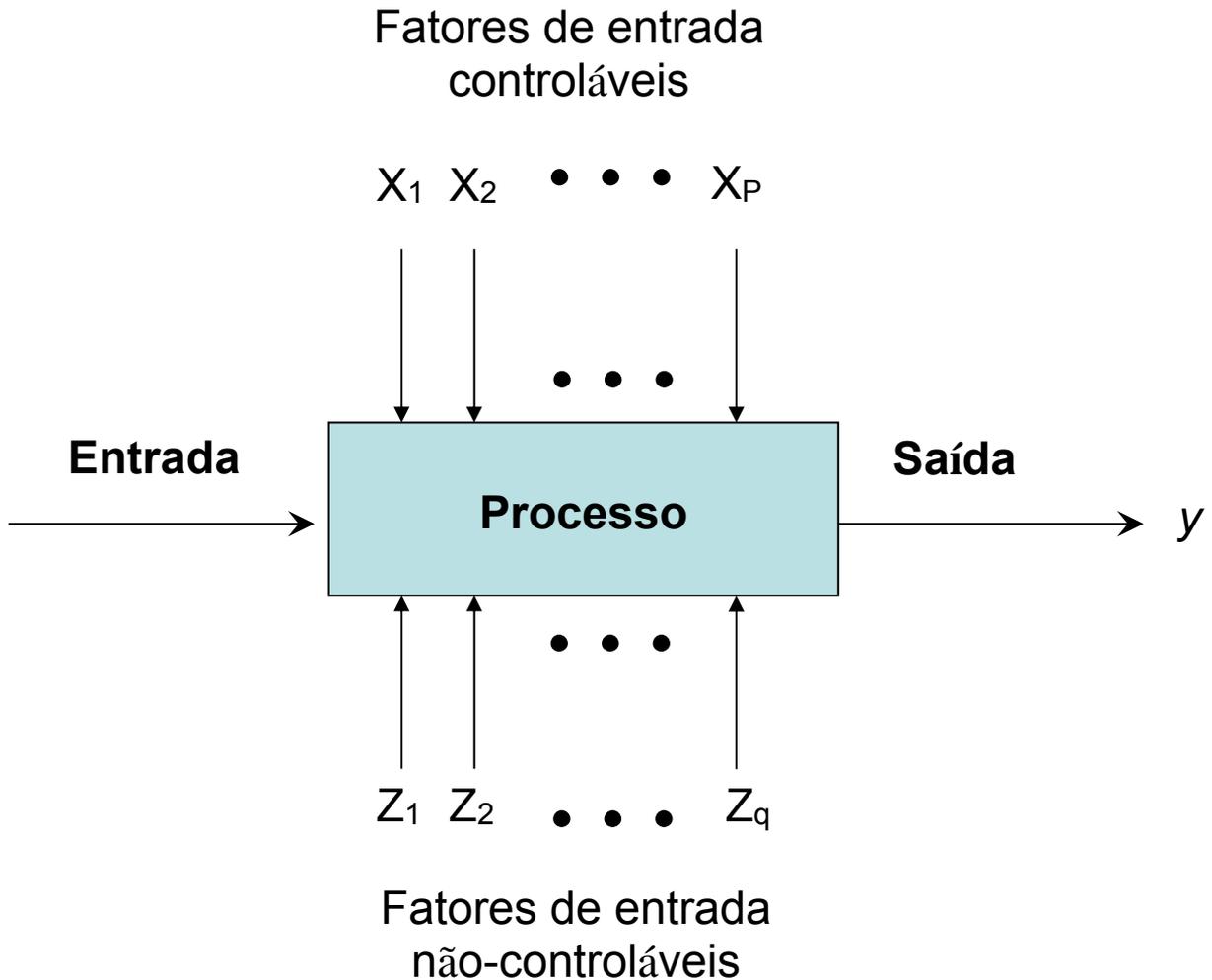
Um planejamento de experimentos deve ser realizado para determinar e até mesmo quantificar a influencia das variáveis sobre as variáveis respostas estudadas. Um planejamento adequado é indispensável para que resultados confiáveis sejam obtidos e para que análises estatísticas consistentes possam ser realizadas. Quantificar o efeitos das variáveis do processo através das técnicas do planejamento

experimental, com o objetivo de obter informações sobre a robustez ou não das respostas desejadas, é de fundamental importância para a área de implementação de controle de processos (Rodrigues, 2005).

De acordo com Rodrigues (2005), as vantagens do planejamento de experimentos são:

1. Reduz o número de experimentos ou repetições e melhora a qualidade da informação obtida através dos resultados.
2. Os fatores são analisados simultaneamente, dessa forma é capaz de ser verificado e quantificado os efeitos sinérgicos e antagônicos entre os fatores que estão sendo estudados.
3. Otimização de mais de uma resposta ao mesmo tempo. Esta é uma das vantagens do planejamento fatorial.
4. Permite calcular e avaliar o erro experimental. Isso é importante para especificar o nível de confiança estatística para estimar a reprodutibilidade do resultado desejado.

De acordo com Montgomery (2004) um processo, pode ser demonstrado de acordo com a Figura 18, com uma combinação de máquinas, métodos e pessoas, que transforma um material de entrada em um produto de saída. Este produto de saída pode ter uma ou mais características de qualidade observáveis ou resposta.



A Figura 18: Modelo geral de um processo (Montgomery, 2004).

De acordo com Montgomery (2004), os objetivos de um planejamento de experimentos podem ser:

1. Determinar de quais variáveis são mais influentes na resposta y ;
2. Determinar o valor a ser atribuído aos x 's influentes de modo que y esteja perto da exigência nominal;
3. Determinar o valor a ser atribuído aos x 's influentes de modo que a variabilidade em y seja pequena;
4. Determinar o valor a ser atribuído aos x 's influentes de modo que os efeitos das variáveis não-controláveis sejam minimizados.

Assim, métodos de planejamento de experimentos podem ser usados tanto no desenvolvimento do processo quanto na solução de problemas do processo, para

melhorar o seu desempenho ou obter um processo que seja robusto ou não sensível a fontes externas de variabilidade (Montgomery, 2004).

De acordo com Montgomery (2004), o planejamento de experimentos é uma ferramenta de engenharia criticamente importante para melhorar um processo de fabricação. Tem também aplicação extensiva no desenvolvimento de novos processos. A aplicação dessas técnicas no desenvolvimento do processo pode resultar em:

1. Melhora de produção;
2. Redução da variabilidade e conformidade mais próxima da nominal;
3. Tempo de desenvolvimento reduzido;
4. Custos totais reduzidos.

De acordo com Montgomery (2004), os métodos de planejamento de experimentos podem também desempenhar um papel importante nas atividades do planejamento de engenharia, onde novos produtos são desenvolvidos e os novos são melhorados. Algumas aplicações do planejamento de experimentos estatístico no planejamento de engenharia incluem:

1. Avaliação e comparação de configurações básicas de planejamento;
2. Avaliação de materiais alternativos;
3. Determinação de parâmetros-chave do planejamento do produto que têm impacto sobre o desempenho.

Assim, o uso desta técnica nessas áreas pode resultar em capacidade melhorada de fabricação do produto, desempenho de campo e confiabilidade acentuados, menor custo e menor tempo de desenvolvimento do produto (Montgomery, 2004).

1. 2.3 Etapas de desenvolvimento para o planejamento de experimentos:

Os experimentos planejados são uma abordagem poderosa para a melhoria de um processo. Então, para utilização dessa ferramenta, é necessário que todos os envolvidos no experimento tenham uma idéia prévia clara do objetivo do experimento, de exatamente quais fatores devem ser estudados, de como o experimento deve ser conduzido e, pelo menos, uma compreensão qualitativa de como os dados serão analisados. Dessa forma, segue abaixo os passos para a execução de um de um planejamento experimental (Montgomery, 2004).

1. **Reconhecimento e relato do problema:** É essencial desenvolver todas as idéias sobre o problema e sobre os objetivos específicos do planejamento. Usualmente, é importante solicitar entradas de todas as partes envolvidas – engenharia, qualidade, marketing, cliente, gerência e operadores. Um relato claro do problema e dos objetivos do experimento costuma contribuir substancialmente para uma melhora na contribuição do processo e para uma eventual solução do problema.
2. **Escolha dos fatores e dos níveis:** Devem ser escolhidos os fatores que devem variar os intervalos sobre os quais esses fatores variarão e os níveis específicos nos quais cada rodada será feita. Exige-se o conhecimento do processo para fazer isso. É importante investigar todos os fatores que possam ser importantes. Quando o objetivo é a varredura dos fatores ou caracterização do processo, é, em geral, melhor manter baixo o número de níveis de fatores (em geral são usados dois níveis).
3. **Seleção da variável-resposta:** Na seleção da variável-resposta, o experimentador deve ter certeza de que aquela variável realmente fornece informação útil sobre o processo em estudo. Muitas vezes, a média ou o desvio padrão (ou ambos) da característica medida será a variável-resposta.
4. **Escolha do planejamento experimental:** Se os três primeiros passos forem feitos corretamente, este passo será relativamente fácil. A escolha do planejamento envolve consideração sobre o tamanho da amostra (número de replicações), seleção de uma ordem adequada de rodadas para as tentativas experimentais, ou se a formação de blocos ou outras restrições de aleatorização estão envolvidas.
5. **Realização do experimento:** É de vital importância monitorar o processo, para garantir que tudo esteja sendo feito de acordo com o planejamento. Erros no procedimento experimental nesse estágio, em geral, destruirão a validade do experimento. O planejamento geral, do início até o fim, é crucial para o sucesso.
6. **Análise dos dados:** Métodos estatísticos devem ser usados para analisar os dados, de modo que os resultados e conclusões sejam objetivos e não de opinião. Se o experimento foi planejado corretamente e se foi realizado de acordo com o planejamento, então o tipo de métodos

estatísticos exigidos não é complicado. A análise dos resíduos e a verificação da validade do modelo são também importantes.

7. **Conclusões e recomendações:** Uma vez analisados os dados, o experimento deve acarretar conclusões práticas sobre os resultados e recomendar um curso de ação. Métodos gráficos os resultados e recomendar um curso de ação. Métodos gráficos são, em geral, usados nesse estágio, particularmente na apresentação dos resultados.

1. 2.4 Experimentos fatoriais:

De acordo com Montgomery (2003), quando vários fatores são de interesse em um experimento, um planejamento fatorial deve ser usado, o qual consiste na utilização de todas as combinações possíveis dos níveis dos fatores em investigação. Os fatores são as variáveis independentes ou preditoras, que tiveram seus níveis fixados a priori, segundo o interesse do pesquisador (Rodrigues, 2005).

De acordo com Rodrigues (2005), um exemplo de um delineamento inteiramente casualizado com dois fatores, cada qual com dois níveis teremos as seguintes combinações, tratamentos ou ensaios:

- Fator A: Nível 1.
 Nível 2.
- Fator B: Nível 1
 Nível 2
- Combinações possíveis:
 $A_1B_1 / A_2B_1 / A_1B_2 / A_2B_2$

Seja K o número de fatores em estudo, cada qual com N níveis, denota-se um esquema fatorial completo por N^K . Assim, o número de ensaios cresce exponencialmente, praticamente inviabilizando a utilização de esquemas completos para 6 ou mais fatores com 2 níveis e para 4 ou mais fatores com 3 níveis, como pode ser visto na Tabela 5, (Rodrigues, 2005):

Tabela 5: Número de ensaios, combinações de fatoriais completos (Rodrigues, 2005).

Níveis	Fatores							
	K=2	K=3	K=4	K=5	K=6	K=7	K=...	K=K
2	$2^2 = 4$	$2^3 = 8$	$2^4 = 16$	$2^5 = 32$	$2^6 = 64$	$2^7 = 128$...	2^K
3	$3^2 = 9$	$3^3 = 27$	$3^4 = 81$	$3^5 = 243$	$3^6 = 729$	$3^7 = 2187$...	3^K
...
N	N^2	N^3	N^4	N^5	N^6	N^7	...	N^K

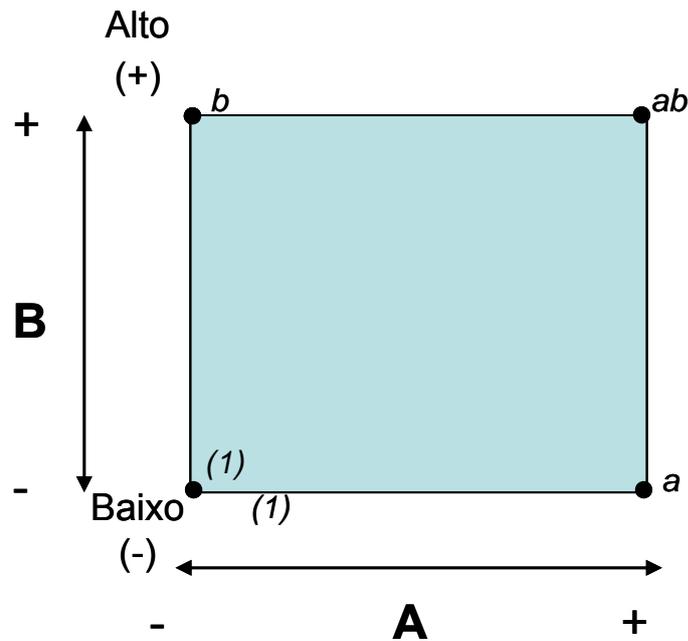
1. 2.5 Planejamento fatorial 2^K :

De acordo com Montgomery (2004), há tipos de planejamento fatorial muito úteis no desenvolvimento e melhoria do processo. Um desses é um planejamento fatorial com K fatores, cada um com dois níveis. Como cada replicação completa do planejamento tem 2^K rodadas, o arranjo é chamado um planejamento fatorial 2^K . Esses planejamentos têm uma análise grandemente simplificada, e formam também a base de muitos outros planejamentos úteis.

De acordo com Rodrigues (2005), delineamentos desse tipo são muito utilizados em laboratórios e/ou locais onde as fontes externas de variação são, geralmente, muito bem controladas. Eles apresentam uma vantagem incontestável: fornecem o maior número possível de graus de liberdade para o resíduo.

O termo graus de liberdade resulta do fato de que n desvios $x_1 - \bar{x}$, $x_2 - \bar{x}$, ..., $x_n - \bar{x}$ sempre somam zero e assim, especificar os valores de quaisquer $n - 1$ dessas quantidades determina automaticamente aquele restante (Montgomery, 2004).

O tipo mais simples do planejamento 2^K é o 2^2 , isto é, dois fatores, A e B, cada um com dois níveis. Em geral, consideramos esses níveis “baixo” ou “-“ e alto ou “+” do fator. A Figura 20 mostra o planejamento 2^2 . Note que o planejamento pode ser representado geometricamente como um quadrado com as $2^2 = 4$ rodadas formando as arestas do quadrado (Montgomery, 2004).



A Figura 20: Planejamento fatorial 2^2 (Montgomery, 2004).

Por exemplo, a rodada *a* indica que o fator A está em seu nível alto e o fator B, nível baixo. A rodada com ambos os fatores no nível baixo é representada por (1). Essa notação é usada em todas as séries do planejamento 2^K . Os efeitos de interesse em um planejamento fatorial 2^2 são os efeitos principais A e B e a interação AB. Sejam (1), *a*, *b* e *ab*, também, os totais das *n* observações tomadas nesses pontos do planejamento (Montgomery, 2004).

Os coeficientes de contrastes são sempre +1, ou -1. Na Tabela 6 é mostrado os de sinais que pode ser determinado para cada rodada. Os cabeçalhos das colunas para a tabela são os efeitos principais A e B, a interação AB e *I*, que representa o total. As linhas são as rodadas. Note que os sinais na coluna AB são os produtos dos sinais das colunas A e B.

Tabela 6: Sinais para os Efeitos no Planejamento 2^2 (Montgomery, 2004).

Rodada		Efeito Fatorial			
		<i>I</i>	A	B	AB
1	(1)	+	-	-	+
2	<i>a</i>	+	+	-	-
3	<i>b</i>	+	-	+	-
4	<i>ab</i>	+	+	+	+

De acordo com Montgomery (2004) as seqüências de passos geralmente usados para analisar experimentos fatoriais são:

1. Estimar os efeitos dos fatores;
2. Construir o modelo preliminar;
3. Testar significância dos efeitos dos fatores;
4. Analisar os resíduos;
5. Redefinir o modelo, se necessário;
6. Interpretar os resultados.

1. 2.6 Adição de pontos centrais no planejamento 2^K :

De acordo com Montgomery (2004), uma preocupação potencial no uso de planejamentos fatoriais de dois níveis é a hipótese de linearidade dos efeitos dos fatores. Naturalmente, não é necessário uma linearidade perfeita, e o sistema 2^K funcionará muito bem mesmo quando a hipótese de linearidade se verificar apenas aproximadamente. De fato, pode ser observado que quando se acrescenta um termo de interação a um modelo de efeitos principais, introduz-se curvatura na superfície de resposta. Como um planejamento 2^K suportará um modelo de efeitos principais mais interações, algumas proteções contra a curvatura já é inerente ao planejamento. Há um método para acrescentar um ponto a um planejamento fatorial 2^K que fornecerá alguma proteção contra os efeitos quadráticos puros. Além disso, se esse ponto for replicado, então, pode-se obter uma estimativa independente do erro experimental. O método consiste na adição de pontos centrais no planejamento 2^K . Esses pontos centrais consistem em n_c replicações rodadas no ponto $x_i = 0$ ($i = 1, 2, \dots, K$). Uma razão importante para se adicionar rodadas replicadas no centro do planejamento é que os pontos centrais não causam impacto nas estimativas usuais dos efeitos em um planejamento 2^K .

De acordo com Rodrigues (2005), ensaios no ponto central podem fornecer informações muito úteis sobre o comportamento das respostas entre os níveis iniciais atribuídos aos fatores, além de evidenciar a qualidade da repetibilidade do processo.

1. 2.7 Adição de pontos axiais no planejamento 2^K :

De acordo com Rodrigues (2005), muitas vezes há o interesse em ajustar às respostas experimentais um modelo de segunda ordem, assim, em alguns casos há mais

parâmetros no modelo que pontos fatoriais, assim, uma alternativa é adicionar ao fatorial 2^K , pontos axiais gerando assim um delineamento adequado, denominado Delineamento Composto Central. Há várias possibilidades para a escolha dos níveis nos pontos axiais. Pode ser utilizado $\pm \alpha$, onde $\alpha = (2^K)^{1/4}$, alguns valores de α é apresentado na Tabela 7:

Tabela 7: Valores de Sinais α (Rodrigues, 2004).

K	2	3	4	5	6
A	$\pm 1,4142$	$\pm 1,6818$	$\pm 2,0000$	$\pm 2,3784$	$\pm 2,8284$

Um Delineamento Composto Central que tem pontos axiais definidos é dito Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). De modo geral, um DCCR com 2 níveis originais, temos 2^K pontos fatoriais + $2 \times K$ pontos axiais + um número arbitrário de pontos centrais.

CAPÍTULO 2 – DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

II. 1 – MATERIAIS:

II. 1.1 *Matérias-primas:*

Para a etapa de esponja na preparação da massa foram utilizados os ingredientes comumente utilizados na fabricação de biscoito *cream cracker*, conforme segue:

- Farinha de trigo;
- Água;
- Gordura de palma;
- Extrato de malte não diastático;
- Fermento biológico;
- Enzima proteolítica (protease);
- Enzima hemicelulase (xilanase).

Destaca-se que a farinha de trigo utilizada neste trabalho possuía as características reológicas específicas para produção de biscoitos *cream cracker* conforme especificação de produção das empresa onde foram realizados os experimentos, apresentados na Tabela 8:

Tabela 8: Especificação de Farinha de Trigo específica para produção de Biscoito *Cream Cracker*.

Análise	Parâmetro	Especificação
Determinação da quantidade de glúten	Glúten Úmido (%)	27,0 – 33,0
	Glúten Seco (%)	9,0 – 11,0
Umidade	Umidade (%)	Máximo 14,5
Cinzas	Cinzas (%)	Máximo 1,1
	Absorção (%)	58,0 – 60,0
	Estabilidade (min)	10,0 – 13,0
Farinografia	ITM (índice de tolerância à mistura) (UF)	20,0 – 50,0
	P	90,0 – 110,0
Alveografia	P/L	1,0 – 1,7
	W	190,0 – 270,0

li. 1.2 Equipamentos:

Os equipamentos utilizados para o preparo da massa e o acompanhamento do processo de fermentação foram:

- Batedeira de marca Hobat com capacidade nominal 6 litros;
- Estufa de secagem e esterilização Fanem, modelo 315 SE;
- pHmetro de marca Testo, modelo 206 PH2;
- Balanças analíticas.

II. 2 – METODOLOGIA:

O desenvolvimento do presente trabalho contou com as seguintes etapas:

- Definição da metodologia de experimentação para acompanhamento do processo fermentativo na produção do biscoito *Cream Cracker*;
- Definição do planejamento de experimentos;
- Preparação da massa de acordo com a sequência do planejamento;
- Acompanhamento da fermentação da esponja;
- Análise dos dados e resultados obtidos;

- Otimização do processo de fermentação da fase de esponja.

II. 2.1 – Método de preparação da massa de biscoito Cream Cracker:

A preparação da massa e o acompanhamento de sua fermentação foram executados nas instalações de uma indústria de produção de biscoitos, em sua planta piloto, com a replicação do processo com os mesmos parâmetros e matérias-primas utilizadas, em pequena escala.

II. 2.2 Receita utilizada na preparação da massa (esponja):

A receita utilizada na preparação da esponja é apresentada na Tabela 9. Foram preparadas massas de 1,0Kg.

Tabela 9: Receita utilizada na preparação da esponja:

Ingredientes	Quantidade (%)
Farinha de trigo	65,0 – 70,0
Gordura	5,0 – 9,0
Fermento	0,5 – 1,0
Água	22,0 – 30,0
Extrato de Malte (não diastático)	2,0 – 4,0
Enzima Proteolítica	0,010 – 0,013
Enzima Xilanase	0,040 – 0,043

Ressalta-se que esta receita segue o proposto Melo (2004), Tabela 4, porém modificada com a adição extrato de malte não diastático, enzima proteolítica e enzima xilanase à esponja.

II. 2.3 Processo de preparação da massa:

Após a pesagem de todos os ingredientes, a massa foi preparada com a adição dos ingredientes na seguinte ordem:

1º - Água;

2º - Fermento biológico previamente diluído em água;

- 3° - Enzimas (proteolítica), previamente diluída em 20 mL de água;
- 4° - Enzimas (xilanase), previamente diluída em 20 mL de água;
- 4° - Extrato de malte não diastático;
- 5° - Gordura;
- 6° - Farinha de Trigo.

Todos os ingredientes foram adicionados na batedeira e misturados por um tempo total de 4 minutos. Ressalta-se que todas as massas dos experimentos deste trabalho foram preparadas com matérias-primas de mesmo lote. Para cada ensaio realizado, foram preparadas duas massas acondicionadas em recipientes diferentes e fermentadas na mesma estufa.

II. 2.4 Processo de acompanhamento da fermentação da esponja:

Após o preparo da massa essa foi armazenada em recipientes e colocada em estufa com controle de temperatura. Foi realizado o acompanhamento de hora em hora dos parâmetros temperatura da massa e pH. Para cada massa, foi acompanhado o processo de fermentação durante tempo total de 10,0 horas.

II. 3 - PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL:

II. 3.1 Reconhecimento e relato do problema:

Durante a fermentação da massa de *cream cracker* ocorrem transformações dos componentes devido à atividade enzimática e metabolismo do fermento biológico. Em decorrência dessas transformações, ocorrem alterações no pH e temperatura da massa. Essas alterações são funções de parâmetros inicialmente adotados como a temperatura do fermento, temperatura inicial da massa e temperatura da câmara de fermentação. Ressalta-se que a temperatura inicial da massa é a temperatura no término do preparo a qual é controlada pela temperatura da água. Durante o processo de fermentação, os parâmetros pH e temperatura da massa são medidos por serem indicadores da efetividade da fermentação que é importante para as características finais do produto. Assim, o conhecimento das relações entre esses parâmetros é importante para a determinação o tempo total de processo, para a manutenção

controlada do pH e temperatura final, podendo-se assim, definir os parâmetros ótimos de processo.

O processo de preparação de massa é semi-contínuo: inicia-se com batimento das massas, e com o monitoramento da fermentação em tempo específico. Na operação industrial todo o processo fermentativo é monitorado por um tempo total de 10 horas de fermentação na etapa de esponja e 3 horas de fermentação na etapa de reforço. Neste trabalho o monitoramento se resumiu a etapa de esponja, ou seja, com o tempo de acampamento do processo de 10 horas.

É desejável que o tempo de fermentação seja o menor possível em razão dos custos de matérias-primas estocada e também dos riscos relacionados à massas previamente preparadas bem como das possíveis quebras (paradas) de máquinas dos processos subsequentes.

II. 3.2 Escolha dos fatores e dos níveis:

Na avaliação do pH e temperatura da massa, foram selecionados os seguintes parâmetros de estudos:

- Temperatura do fermento ao ser adicionado à massa;
- Temperatura da massa no final do processo de preparação;
- Temperatura da câmara de fermentação.

No processo industrial, os valores desses parâmetros devem estar em conformidade com as faixas de especificação apresentada na Tabela 10.

Tabela 10: Especificação de processo de parâmetros para fermentação da esponja de *Cream Cracker*

Parâmetros	Especificação
Temperatura do Fermento (°C)	2,0 – 9,0
Temperatura da Massa (°C)	25,0 – 30,0
Temperatura da Câmara (°C)	27,0 – 31,0

Na avaliação experimental deste trabalho optou-se em manter a faixa de especificação de temperatura do fermento, pois fora dessa faixa há o comprometimento da atividade metabólica do fermento, conforme instruções do fornecedor desta matéria-

prima. Porém, com o intuito de desafiar o processo optou-se por ampliar a faixa de valores dos parâmetros de Temperatura de Massa e Temperatura da Câmara.. Destaca-se que, optou-se pelo tratamento estatístico denominado Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), conforme anteriormente descrito e apresentado na Tabela 7. A Tabela 11 apresenta os valores utilizados no planejamento deste trabalho.

Tabela 11: Valores utilizados no DCCR para três fatores:

Variável		- 1,68	-1	0	+1	+1,68
Temperatura do Fermento (°C)	X1	2,0	3,0	5,0	7,0	9,0
Temperatura da Massa (°C)	X2	23,0	25,0	27,5	30,0	32,0
Temperatura da Câmara (°C)	X3	25,0	27,0	29,0	31,0	33,0

II. 3.3 Seleção das variáveis respostas:

As variáveis respostas selecionadas foram o pH e a temperatura da massa. Durante o processo de fermentação esses parâmetros foram acompanhados de hora em hora, gerando assim curvas de pH e Temperatura da massa. Após o acompanhamento das curvas de pH e Temperatura, foram determinados os valores que representam o limite do processo de fermentação para cada curva.

II. 3.4 Escolha do planejamento experimental:

Como são três variáveis a serem estudadas, em dois níveis, foi realizado um fatorial completo 2^3 , incluindo 6 pontos axiais e 6 repetições no ponto central, totalizando 20 ensaios.

Os experimentos foram realizados, baseados na codificação dos parâmetros apresentados na matriz do planejamento fatorial 2^3 , mostrado na Tabela 12:

Tabela 12: Matriz do planejamento fatorial 2³:

Ensaio	Temperatura do Fermento (X1)	Temperatura da Massa (X2)	Temperatura da Câmara (X3)
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1
9	-1,68	0	0
10	+1,68	0	0
11	0	-1,68	0
12	0	+1,68	0
13	0	0	-1,68
14	0	0	+1,68
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0

II. 3.5 Realização do experimento:

Os experimentos foram realizados de forma aleatória, com sorteio dos ensaios conforme mostrado na Tabela 13.

Tabela 13: Seqüência da realização dos experimentos

Seqüenciamento dos testes	Ensaio
1	Ensaio 1
2	Ensaio 12
3	Ensaio 3
4	Ensaio 16
5	Ensaio 8
6	Ensaio 19
7	Ensaio 7
8	Ensaio 17
9	Ensaio 5
10	Ensaio 2
11	Ensaio 4
12	Ensaio 9
13	Ensaio 15
14	Ensaio 13
15	Ensaio 11
16	Ensaio 14
17	Ensaio 20
18	Ensaio 18
19	Ensaio 6
20	Ensaio 10

Antes do preparo das massas foi medida a temperatura do fermento biológico, para poder verificar se estava conforme o exigido pela codificação do ensaio. Durante o processo de batimento da massa era acompanhada a sua temperatura, para que também ficasse conforme o exigido pela codificação do ensaio. Após o preparo, a massa, foi levada à estufa, com temperatura ajustada no valor de *set point* e com o controle simultâneo dos valores indicados pelo termômetro dentro da estufa em conformidade com a codificação do ensaio. Cada massa foi fermentada por 10 horas com medição horária da temperatura e pH.

CAPÍTULO 3 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

III. 1 – CURVAS DE pH e TEMPERATURA DA MASSA:

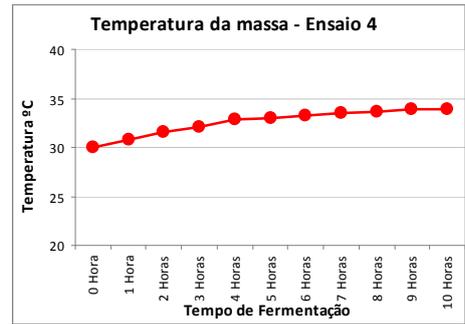
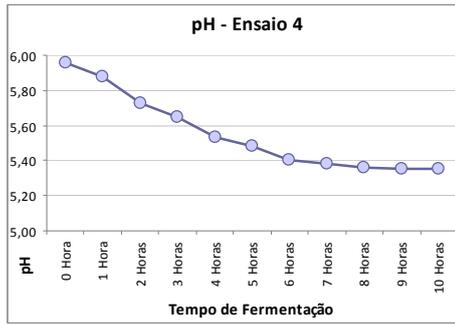
Os resultados das curvas de pH e temperatura da massa medidos de hora em hora, para cada massa preparada para todos os ensaios deste trabalho estão apresentados na Tabela 14 (a-d). Destaca-se que os curvas foram construídas utilizando-se os valores médios dos experimentos em duplicata.

Tabela 14a: Curvas de pH e Temperatura para cada experimento realizado.

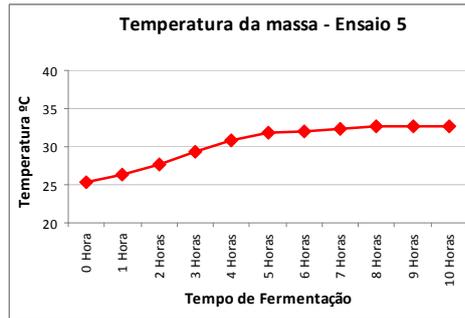
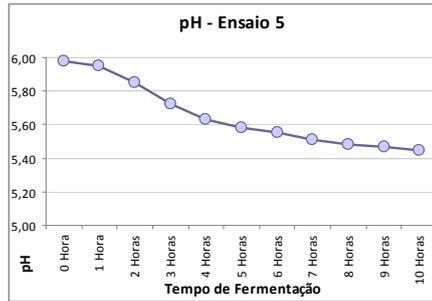
Nº	(X1)	(X2)	(X3)	Curva de pH	Curva de Temperatura																																																
1	-1	-1	-1	<p>Curva de pH - Ensaio 1</p> <table border="1"> <caption>Dados para Curva de pH - Ensaio 1</caption> <thead> <tr><th>Tempo de Fermentação (Horas)</th><th>pH</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>6,00</td></tr> <tr><td>1</td><td>5,90</td></tr> <tr><td>2</td><td>5,85</td></tr> <tr><td>3</td><td>5,80</td></tr> <tr><td>4</td><td>5,75</td></tr> <tr><td>5</td><td>5,65</td></tr> <tr><td>6</td><td>5,60</td></tr> <tr><td>7</td><td>5,55</td></tr> <tr><td>8</td><td>5,50</td></tr> <tr><td>9</td><td>5,50</td></tr> <tr><td>10</td><td>5,45</td></tr> </tbody> </table>	Tempo de Fermentação (Horas)	pH	0	6,00	1	5,90	2	5,85	3	5,80	4	5,75	5	5,65	6	5,60	7	5,55	8	5,50	9	5,50	10	5,45	<p>Temperatura da massa - Ensaio 1</p> <table border="1"> <caption>Dados para Temperatura da massa - Ensaio 1</caption> <thead> <tr><th>Tempo de Fermentação (Horas)</th><th>Temperatura (°C)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>25,0</td></tr> <tr><td>1</td><td>26,0</td></tr> <tr><td>2</td><td>27,0</td></tr> <tr><td>3</td><td>28,0</td></tr> <tr><td>4</td><td>28,5</td></tr> <tr><td>5</td><td>29,5</td></tr> <tr><td>6</td><td>30,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>31,0</td></tr> <tr><td>8</td><td>31,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>31,0</td></tr> <tr><td>10</td><td>31,0</td></tr> </tbody> </table>	Tempo de Fermentação (Horas)	Temperatura (°C)	0	25,0	1	26,0	2	27,0	3	28,0	4	28,5	5	29,5	6	30,5	7	31,0	8	31,0	9	31,0	10	31,0
Tempo de Fermentação (Horas)	pH																																																				
0	6,00																																																				
1	5,90																																																				
2	5,85																																																				
3	5,80																																																				
4	5,75																																																				
5	5,65																																																				
6	5,60																																																				
7	5,55																																																				
8	5,50																																																				
9	5,50																																																				
10	5,45																																																				
Tempo de Fermentação (Horas)	Temperatura (°C)																																																				
0	25,0																																																				
1	26,0																																																				
2	27,0																																																				
3	28,0																																																				
4	28,5																																																				
5	29,5																																																				
6	30,5																																																				
7	31,0																																																				
8	31,0																																																				
9	31,0																																																				
10	31,0																																																				
2	+1	-1	-1	<p>pH - Ensaio 2</p> <table border="1"> <caption>Dados para pH - Ensaio 2</caption> <thead> <tr><th>Tempo de Fermentação (Horas)</th><th>pH</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>5,95</td></tr> <tr><td>1</td><td>5,85</td></tr> <tr><td>2</td><td>5,75</td></tr> <tr><td>3</td><td>5,70</td></tr> <tr><td>4</td><td>5,65</td></tr> <tr><td>5</td><td>5,60</td></tr> <tr><td>6</td><td>5,55</td></tr> <tr><td>7</td><td>5,50</td></tr> <tr><td>8</td><td>5,50</td></tr> <tr><td>9</td><td>5,50</td></tr> <tr><td>10</td><td>5,45</td></tr> </tbody> </table>	Tempo de Fermentação (Horas)	pH	0	5,95	1	5,85	2	5,75	3	5,70	4	5,65	5	5,60	6	5,55	7	5,50	8	5,50	9	5,50	10	5,45	<p>Temperatura da massa - Ensaio 2</p> <table border="1"> <caption>Dados para Temperatura da massa - Ensaio 2</caption> <thead> <tr><th>Tempo de Fermentação (Horas)</th><th>Temperatura (°C)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>25,0</td></tr> <tr><td>1</td><td>26,5</td></tr> <tr><td>2</td><td>27,5</td></tr> <tr><td>3</td><td>29,0</td></tr> <tr><td>4</td><td>29,5</td></tr> <tr><td>5</td><td>30,5</td></tr> <tr><td>6</td><td>31,0</td></tr> <tr><td>7</td><td>32,0</td></tr> <tr><td>8</td><td>32,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>32,0</td></tr> <tr><td>10</td><td>32,0</td></tr> </tbody> </table>	Tempo de Fermentação (Horas)	Temperatura (°C)	0	25,0	1	26,5	2	27,5	3	29,0	4	29,5	5	30,5	6	31,0	7	32,0	8	32,0	9	32,0	10	32,0
Tempo de Fermentação (Horas)	pH																																																				
0	5,95																																																				
1	5,85																																																				
2	5,75																																																				
3	5,70																																																				
4	5,65																																																				
5	5,60																																																				
6	5,55																																																				
7	5,50																																																				
8	5,50																																																				
9	5,50																																																				
10	5,45																																																				
Tempo de Fermentação (Horas)	Temperatura (°C)																																																				
0	25,0																																																				
1	26,5																																																				
2	27,5																																																				
3	29,0																																																				
4	29,5																																																				
5	30,5																																																				
6	31,0																																																				
7	32,0																																																				
8	32,0																																																				
9	32,0																																																				
10	32,0																																																				
3	-1	+1	-1	<p>pH - Ensaio 3</p> <table border="1"> <caption>Dados para pH - Ensaio 3</caption> <thead> <tr><th>Tempo de Fermentação (Horas)</th><th>pH</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>5,95</td></tr> <tr><td>1</td><td>5,90</td></tr> <tr><td>2</td><td>5,85</td></tr> <tr><td>3</td><td>5,80</td></tr> <tr><td>4</td><td>5,70</td></tr> <tr><td>5</td><td>5,65</td></tr> <tr><td>6</td><td>5,50</td></tr> <tr><td>7</td><td>5,45</td></tr> <tr><td>8</td><td>5,40</td></tr> <tr><td>9</td><td>5,35</td></tr> <tr><td>10</td><td>5,35</td></tr> </tbody> </table>	Tempo de Fermentação (Horas)	pH	0	5,95	1	5,90	2	5,85	3	5,80	4	5,70	5	5,65	6	5,50	7	5,45	8	5,40	9	5,35	10	5,35	<p>Temperatura da massa - Ensaio 3</p> <table border="1"> <caption>Dados para Temperatura da massa - Ensaio 3</caption> <thead> <tr><th>Tempo de Fermentação (Horas)</th><th>Temperatura (°C)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>30,0</td></tr> <tr><td>1</td><td>30,5</td></tr> <tr><td>2</td><td>31,0</td></tr> <tr><td>3</td><td>31,5</td></tr> <tr><td>4</td><td>32,0</td></tr> <tr><td>5</td><td>32,5</td></tr> <tr><td>6</td><td>32,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>33,0</td></tr> <tr><td>8</td><td>33,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>33,0</td></tr> <tr><td>10</td><td>33,0</td></tr> </tbody> </table>	Tempo de Fermentação (Horas)	Temperatura (°C)	0	30,0	1	30,5	2	31,0	3	31,5	4	32,0	5	32,5	6	32,5	7	33,0	8	33,0	9	33,0	10	33,0
Tempo de Fermentação (Horas)	pH																																																				
0	5,95																																																				
1	5,90																																																				
2	5,85																																																				
3	5,80																																																				
4	5,70																																																				
5	5,65																																																				
6	5,50																																																				
7	5,45																																																				
8	5,40																																																				
9	5,35																																																				
10	5,35																																																				
Tempo de Fermentação (Horas)	Temperatura (°C)																																																				
0	30,0																																																				
1	30,5																																																				
2	31,0																																																				
3	31,5																																																				
4	32,0																																																				
5	32,5																																																				
6	32,5																																																				
7	33,0																																																				
8	33,0																																																				
9	33,0																																																				
10	33,0																																																				

Tabela 14b: Curvas de pH e Temperatura para cada experimento realizado.

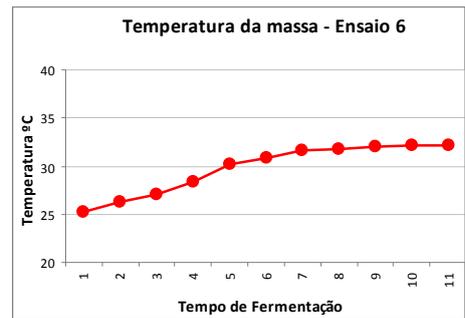
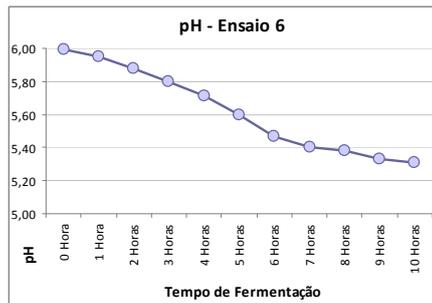
4 +1 +1 -1



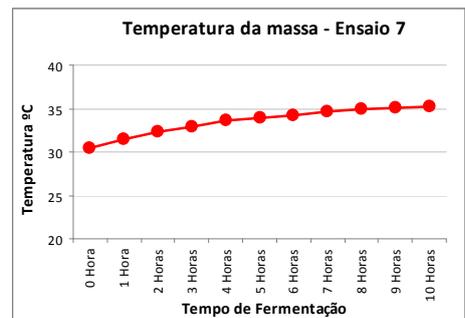
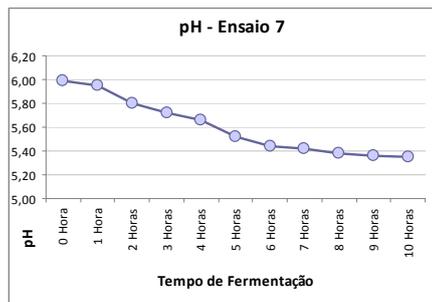
5 -1 -1 +1



6 +1 -1 +1



7 -1 +1 +1



8 +1 +1 +1

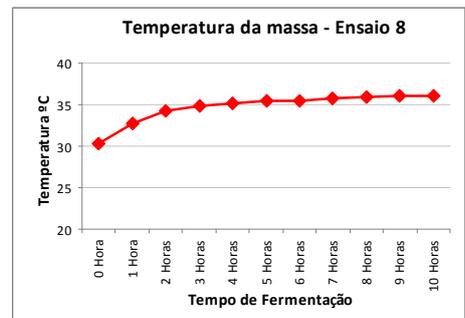
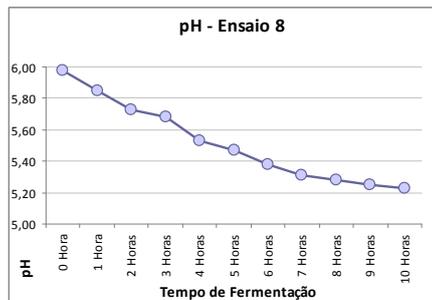


Tabela 14c: Curvas de pH e Temperatura para cada experimento realizado.

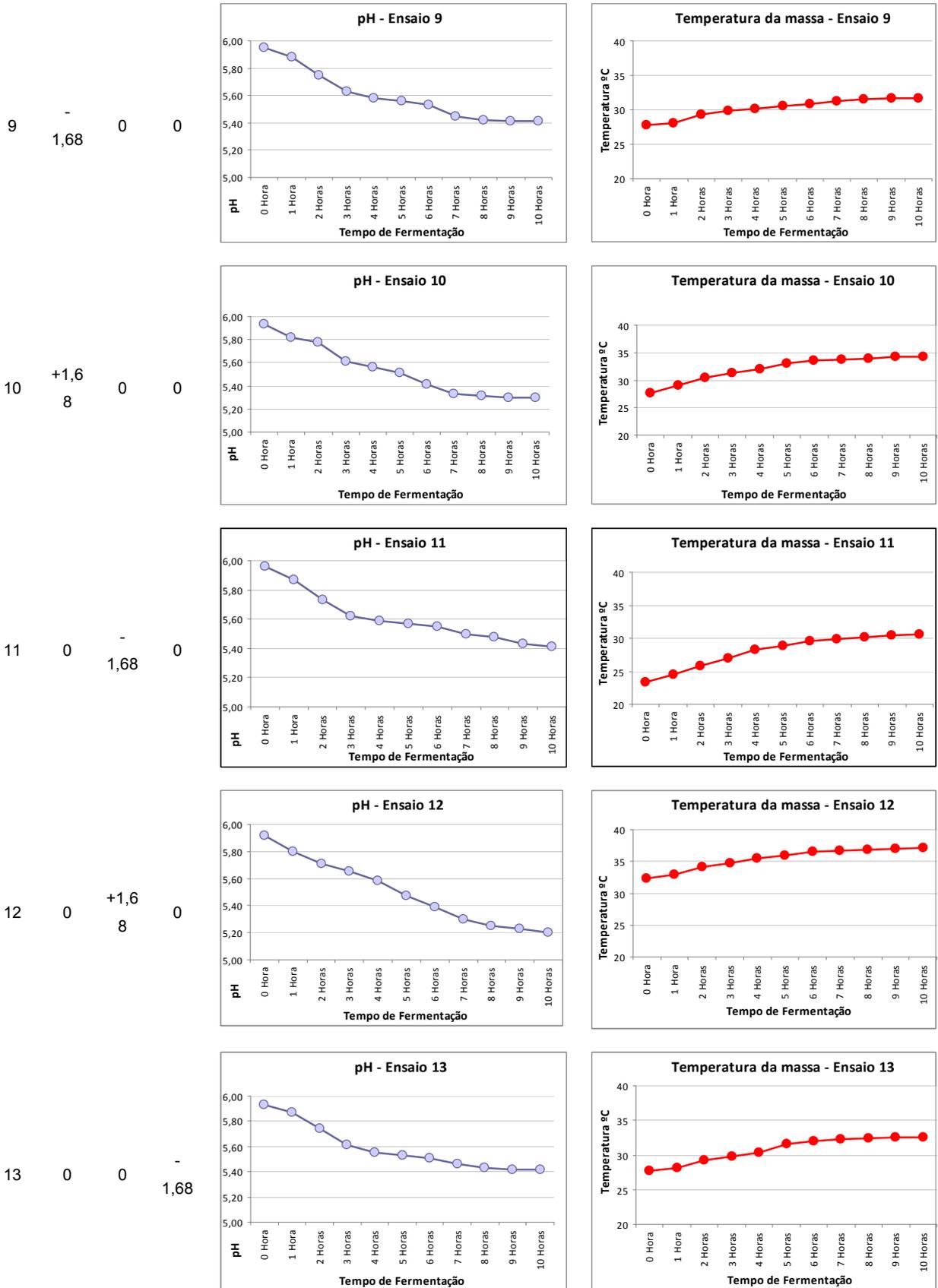
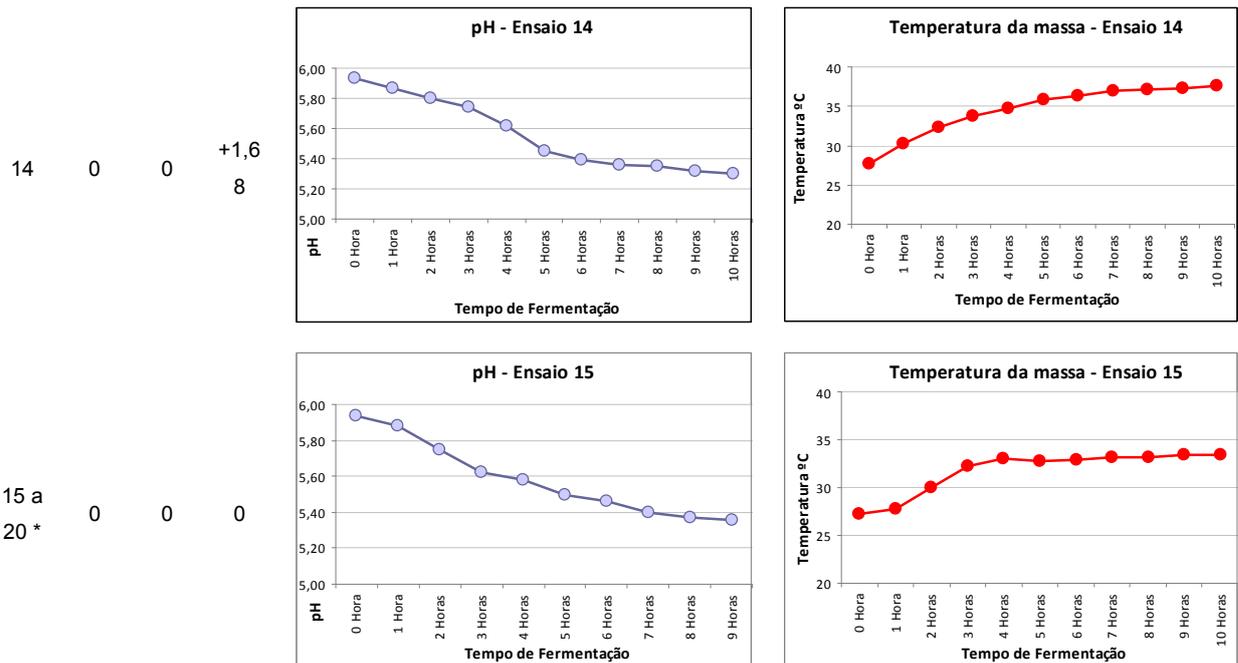


Tabela 14d: Curvas de pH e Temperatura para cada experimento realizado.



* O gráfico dos ensaios 15 à 20 representam a média dos pontos centrais para cada experimento dos valores de pH e temperatura da massa.

III.2 – ANÁLISE DOS DADOS DAS CURVAS DE pH e TEMPERATURA DA MASSA:

Com o objetivo de determinar o tempo ótimo de fermentação em função dos valores de pH e temperatura de massa simultaneamente, foi utilizada a metodologia de análise da relação entre essas variáveis respostas, por meio da identificação do valor máximo da primeira derivada de $\Delta\text{pH} / \Delta\text{Temperatura}$, para todos os experimentos, conforme apresentado na Tabela 15 (a-h). Os valores máximos da primeira derivada e os respectivos tempos de fermentação aparecem destacados.

Tabela 15a: Determinação do tempo máximo de fermentação por experimento.

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)				
1	3	25	27				
Tempo de fermentação	x		f(x)				
	Temperatura	pH	Temp.'	d (pH)	Δ temp.	Δ pH	Δ pH / Δ Temp
0	25,3	5,98					
1	25,8	5,91	25,55	5,95	0,25	0,04	0,14
2	26,5	5,85	26,15	5,88	0,35	0,03	0,09
3	27,8	5,8	27,15	5,83	0,65	0,02	0,04
4	28,3	5,74	28,05	5,77	0,25	0,03	0,12
5	29,5	5,66	28,90	5,70	0,60	0,04	0,07
6	30,1	5,61	29,80	5,64	0,30	0,02	0,08
7	30,6	5,54	30,34	5,58	0,24	0,04	0,15
8	30,6	5,52	30,60	5,53	0,02	0,01	0,50
9	30,7	5,51	30,65	5,52	0,02	0,00	0,20
10	30,7	5,49	30,70	5,50	0,02	0,01	0,40
Máximo da 1º derivada							0,50

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)				
2	7	25	27				
Tempo de fermentação	x		f(x)				
	Temperatura	pH	Temp.'	d (pH)	Δ temp.	Δ pH	Δ pH / Δ Temp
0	25,1	5,925					
1	26,3	5,845	25,70	5,89	0,60	0,04	0,07
2	27,5	5,765	26,90	5,81	0,60	0,04	0,07
3	29,1	5,72	28,30	5,74	0,80	0,02	0,03
4	29,8	5,655	29,45	5,69	0,35	0,03	0,09
5	30,5	5,6	30,15	5,63	0,35	0,03	0,08
6	30,8	5,52	30,65	5,56	0,15	0,04	0,27
7	31,8	5,5	31,29	5,51	0,49	0,01	0,02
8	31,9	5,47	31,86	5,49	0,08	0,01	0,19
9	32,1	5,46	32,00	5,47	0,05	0,00	0,09
10	32,2	5,45	32,10	5,46	0,05	0,00	0,10
Máximo da 1º derivada							0,27

Tabela 15b: Determinação do tempo máximo de fermentação por experimento.

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)				
3	3	30	27				
	x		f(x)				
Tempo de fermentação	Temperatura	pH	Temp'	d (pH)	Δ temp.	Δ pH	Δ pH / Δ Temp
0	30,0	5,97					
1	30,2	5,93	30,10	5,95	0,10	0,02	0,20
2	30,6	5,88	30,40	5,91	0,20	0,02	0,12
3	30,9	5,81	30,75	5,85	0,15	0,04	0,23
4	31,3	5,7	31,10	5,76	0,20	0,05	0,28
5	31,7	5,63	31,50	5,67	0,20	0,04	0,18
6	32,0	5,48	31,85	5,56	0,15	0,07	0,50
7	32,4	5,45	32,20	5,47	0,20	0,01	0,08
8	32,5	5,38	32,45	5,42	0,05	0,04	0,70
9	32,8	5,35	32,65	5,37	0,15	0,02	0,10
10	32,9	5,35	32,85	5,35	0,05	0,00	0,00
Máximo da 1° derivada							0,70

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)				
4	7	30	27				
	x		f(x)				
Tempo de fermentação	Temperatura	pH	Temp'	d (pH)	Δ temp.	Δ pH	Δ pH / Δ Temp
0	30,0	5,96					
1	30,8	5,88	30,40	5,92	0,40	0,04	0,10
2	31,5	5,73	31,15	5,81	0,35	0,07	0,21
3	32,1	5,65	31,80	5,69	0,30	0,04	0,13
4	32,8	5,53	32,45	5,59	0,35	0,06	0,17
5	33,0	5,48	32,90	5,51	0,10	0,03	0,25
6	33,3	5,4	33,15	5,44	0,15	0,04	0,27
7	33,5	5,38	33,40	5,39	0,10	0,01	0,10
8	33,7	5,36	33,60	5,37	0,10	0,01	0,10
9	33,9	5,35	33,80	5,36	0,10	0,01	0,05
10	33,9	5,35	33,90	5,35	0,00	0,00	0,00
Máximo da 1° derivada							0,27

Tabela 15c: Determinação do tempo máximo de fermentação por experimento.

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)				
5	3	25	31				
Tempo de fermentação	x		f(x)				
	Temperatura	pH	Temp'	d (pH)	Δ temp.	Δ pH	Δ pH / Δ Temp
0	25,3	5,98					
1	26,4	5,95	25,85	5,97	0,55	0,01	0,03
2	27,6	5,85	27,00	5,90	0,60	0,05	0,08
3	29,3	5,72	28,45	5,79	0,85	0,07	0,08
4	30,8	5,63	30,05	5,68	0,75	0,04	0,06
5	31,8	5,58	31,30	5,61	0,50	0,03	0,05
6	32,0	5,55	31,90	5,57	0,10	0,01	0,15
7	32,4	5,51	32,20	5,53	0,20	0,02	0,10
8	32,6	5,48	32,50	5,50	0,10	0,01	0,15
9	32,7	5,47	32,65	5,48	0,05	0,00	0,10
10	32,7	5,45	32,70	5,46	0,00	0,01	0,00
Máximo da 1° derivada							0,15

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)				
6	7	25	31				
Tempo de fermentação	x		f(x)				
	Temperatura	pH	Temp'	d (pH)	Δ temp.	Δ pH	Δ pH / Δ Temp
0	25,2	5,99					
1	26,3	5,95	25,75	5,97	0,55	0,02	0,04
2	27,1	5,88	26,70	5,92	0,40	0,04	0,09
3	28,4	5,8	27,75	5,84	0,65	0,04	0,06
4	30,2	5,71	29,30	5,76	0,90	0,04	0,05
5	30,9	5,6	30,55	5,66	0,35	0,05	0,16
6	31,6	5,47	31,25	5,54	0,35	0,07	0,19
7	31,8	5,4	31,70	5,44	0,10	0,04	0,35
8	32,0	5,38	31,90	5,39	0,10	0,01	0,10
9	32,2	5,33	32,10	5,36	0,10	0,03	0,25
10	32,2	5,31	32,20	5,32	0,00	0,01	0,00
Máximo da 1° derivada							0,35

Tabela 15d: Determinação do tempo máximo de fermentação por experimento.

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)				
7	3	30	31				
	x		f(x)				
Tempo de fermentação	Temperatura	pH	Temp'	d (pH)	Δ temp.	Δ pH	Δ pH / Δ Temp
0	30,4	5,99					
1	31,5	5,95	30,95	5,97	0,55	0,02	0,04
2	32,3	5,8	31,90	5,88	0,40	0,08	0,19
3	32,9	5,72	32,60	5,76	0,30	0,04	0,13
4	33,6	5,66	33,25	5,69	0,35	0,03	0,09
5	33,9	5,52	33,75	5,59	0,15	0,07	0,47
6	34,2	5,44	34,05	5,48	0,15	0,04	0,27
7	34,6	5,42	34,40	5,43	0,20	0,01	0,05
8	34,9	5,38	34,75	5,40	0,15	0,02	0,13
9	35,1	5,36	35,00	5,37	0,10	0,01	0,10
10	35,2	5,35	35,15	5,36	0,05	0,01	0,00
Máximo da 1° derivada							0,47

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)				
8	7	30	31				
	x		f(x)				
Tempo de fermentação	Temperatura	pH	Temp'	d (pH)	Δ temp.	Δ pH	Δ pH / Δ Temp
0	30,3	5,98					
1	32,8	5,85	31,55	5,92	1,25	0,07	0,05
2	34,3	5,73	33,55	5,79	0,75	0,06	0,08
3	34,9	5,68	34,60	5,71	0,30	0,03	0,08
4	35,1	5,53	35,00	5,61	0,10	0,08	0,75
5	35,4	5,47	35,25	5,50	0,15	0,03	0,20
6	35,5	5,38	35,45	5,43	0,05	0,04	0,90
7	35,7	5,31	35,60	5,35	0,10	0,04	0,35
8	35,9	5,28	35,80	5,30	0,10	0,01	0,15
9	36,0	5,25	35,95	5,27	0,05	0,02	0,30
10	36,1	5,23	36,05	5,24	0,05	0,01	0,20
Máximo da 1° derivada							0,90

Tabela 15e: Determinação do tempo máximo de fermentação por experimento.

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)				
9	2	27,5	29				
	x		f(x)				
Tempo de fermentação	Temperatura	pH	Temp'	d (pH)	Δ temp.	Δ pH	Δ pH / Δ Temp
0	27,8	5,95					
1	28,1	5,88	27,95	5,92	0,15	0,04	0,23
2	29,3	5,75	28,70	5,82	0,60	0,06	0,11
3	29,8	5,63	29,55	5,69	0,25	0,06	0,24
4	30,1	5,58	29,95	5,61	0,15	0,03	0,17
5	30,5	5,56	30,30	5,57	0,20	0,01	0,05
6	30,9	5,53	30,70	5,55	0,20	0,01	0,07
7	31,2	5,45	31,05	5,49	0,15	0,04	0,27
8	31,5	5,42	31,35	5,44	0,15	0,02	0,10
9	31,6	5,41	31,55	5,42	0,05	0,00	0,10
10	31,6	5,41	31,60	5,41	0,00	0,00	0,00
Máximo da 1° derivada							0,27

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)				
10	9	27,5	29				
	x		f(x)				
Tempo de fermentação	Temperatura	pH	Temp'	d (pH)	Δ temp.	Δ pH	Δ pH / Δ Temp
0	27,6	5,93					
1	29,1	5,82	28,35	5,88	0,75	0,05	0,07
2	30,4	5,78	29,75	5,80	0,65	0,02	0,03
3	31,3	5,61	30,85	5,70	0,45	0,09	0,19
4	32,0	5,56	31,65	5,59	0,35	0,03	0,07
5	33,0	5,51	32,50	5,54	0,50	0,03	0,05
6	33,5	5,41	33,25	5,46	0,25	0,05	0,20
7	33,8	5,33	33,65	5,37	0,15	0,04	0,27
8	34,0	5,31	33,90	5,32	0,10	0,01	0,10
9	34,2	5,3	34,10	5,31	0,10	0,00	0,05
10	34,2	5,3	34,20	5,30	0,00	0,00	0,00
Máximo da 1° derivada							0,27

Tabela 15f: Determinação do tempo máximo de fermentação por experimento.

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)					
11	5	23	29					
	x		f(x)					
Tempo de fermentação	Temperatura	pH	Temp'	d (pH)	Δ temp.	Δ pH	Δ pH / Δ Temp	
0	23,3	5,96						
1	24,5	5,87	23,90	5,92	0,60	0,04	0,07	
2	25,8	5,73	25,15	5,80	0,65	0,07	0,11	
3	26,9	5,62	26,35	5,68	0,55	0,06	0,10	
4	28,2	5,59	27,55	5,61	0,65	0,02	0,02	
5	28,8	5,57	28,50	5,58	0,30	0,01	0,03	
6	29,5	5,55	29,15	5,56	0,35	0,01	0,03	
7	29,8	5,5	29,65	5,53	0,15	0,03	0,17	
8	30,2	5,48	30,00	5,49	0,20	0,01	0,05	
9	30,5	5,43	30,35	5,46	0,15	0,03	0,17	
10	30,6	5,41	30,55	5,42	0,05	0,01	0,00	
Máximo da 1° derivada							0,17	

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)					
12	5	32	29					
	x		f(x)					
Tempo de fermentação	Temperatura	pH	Temp'	d (pH)	Δ temp.	Δ pH	Δ pH / Δ Temp	
0	32,4	5,92						
1	33,0	5,8	32,70	5,86	0,30	0,06	0,20	
2	34,2	5,71	33,60	5,76	0,60	0,04	0,07	
3	34,8	5,65	34,50	5,68	0,30	0,03	0,10	
4	35,5	5,58	35,15	5,62	0,35	0,04	0,10	
5	36,0	5,47	35,75	5,53	0,25	0,06	0,22	
6	36,5	5,39	36,25	5,43	0,25	0,04	0,16	
7	36,7	5,3	36,60	5,35	0,10	0,04	0,45	
8	36,9	5,25	36,80	5,28	0,10	0,03	0,25	
9	37,0	5,23	36,95	5,24	0,05	0,01	0,20	
10	37,2	5,2	37,10	5,22	0,10	0,01	0,00	
Máximo da 1° derivada							0,45	

Tabela 15g: Determinação do tempo máximo de fermentação por experimento.

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)
13	5	27,5	25

Tempo de fermentação	x		f(x)				
	Temperatura	pH	Temp'	d (pH)	Δ temp.	Δ pH	Δ pH / Δ Temp
0	27,7	5,93					
1	28,2	5,87	27,95	5,90	0,25	0,03	0,12
2	29,3	5,74	28,75	5,81	0,55	0,06	0,12
3	29,8	5,61	29,55	5,68	0,25	0,07	0,26
4	30,4	5,55	30,10	5,58	0,30	0,03	0,10
5	31,6	5,53	31,00	5,54	0,60	0,01	0,02
6	32,0	5,51	31,80	5,52	0,20	0,01	0,05
7	32,3	5,46	32,15	5,49	0,15	0,02	0,17
8	32,4	5,43	32,35	5,45	0,05	0,02	0,30
9	32,6	5,42	32,50	5,43	0,10	0,00	0,05
10	32,6	5,42	32,60	5,42	0,00	0,00	0,00
Máximo da 1° derivada							0,30

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)
14	5	27,5	33

Tempo de fermentação	x		f(x)				
	Temperatura	pH	Temp'	d (pH)	Δ temp.	Δ pH	Δ pH / Δ Temp
0	27,6	5,93					
1	30,2	5,87	28,90	5,90	1,30	0,03	0,02
2	32,3	5,8	31,25	5,84	1,05	0,04	0,03
3	33,8	5,74	33,05	5,77	0,75	0,03	0,04
4	34,7	5,62	34,25	5,68	0,45	0,06	0,13
5	35,8	5,45	35,25	5,54	0,55	0,09	0,15
6	36,3	5,39	36,05	5,42	0,25	0,03	0,12
7	36,9	5,36	36,60	5,38	0,30	0,01	0,05
8	37,1	5,35	37,00	5,36	0,10	0,01	0,05
9	37,3	5,32	37,20	5,34	0,10	0,01	0,15
10	37,6	5,3	37,45	5,31	0,15	0,01	0,00
Máximo da 1° derivada							0,15

Tabela 15h: Determinação do tempo máximo de fermentação por experimento.

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)				
15 - 20	5	27,5	29				
Tempo de fermentação	x		f(x)				
	Temperatura	pH	Temp'	d (pH)	Δ temp.	Δ pH	Δ pH / Δ Temp
0	27,2	5,94					
1	27,7	5,88	27,45	5,91	0,25	0,03	0,12
2	30,0	5,75	28,85	5,82	1,15	0,06	0,06
3	32,3	5,62	31,15	5,69	1,15	0,07	0,06
4	33,0	5,58	32,65	5,60	0,35	0,02	0,06
5	32,7	5,5	32,85	5,54	0,15	0,04	0,27
6	32,9	5,46	32,80	5,48	0,10	0,02	0,20
7	33,1	5,4	33,00	5,43	0,10	0,03	0,30
8	33,2	5,37	33,15	5,39	0,05	0,01	0,30
9	33,4	5,36	33,30	5,37	0,10	0,00	0,05
10	33,4	5,35	33,40	5,36	0,00	0,01	0,00
Máximo da 1º derivada							0,30

Na Tabela 16, é apresentado à síntese dos tempos de fermentação para cada ensaio.

Tabela 16: Tempo de fermentação para cada ensaio.

Ensaio	Temperatura do Fermento (°C)	Temperatura da Massa (°C)	Temperatura da Câmara (°C)	Tempo de fermentação (Horas)
1	3,0	25,0	27,0	8,0
2	7,0	25,0	27,0	6,0
3	3,0	30,0	27,0	8,0
4	7,0	30,0	27,0	6,0
5	3,0	25,0	31,0	6,0
6	7,0	25,0	31,0	7,0
7	3,0	30,0	31,0	5,0
8	7,0	30,0	31,0	6,0
9	2,0	27,5	29,0	6,0
10	9,0	27,5	29,0	7,0
11	5,0	23,0	29,0	7,0
12	5,0	32,0	29,0	7,0
13	5,0	27,5	25,0	8,0
14	5,0	27,5	33,0	8,0
15 - 20	5,0	27,5	29,0	7,0

De acordo com os valores mostrados na Tabela 16, podemos então concluir que os valores máximos primeira derivada para $\Delta \text{pH} / \Delta \text{Temperatura}$, estiveram entre 5 e 8 horas de fermentação, assim, este tempo de fermentação pode ser otimizado em seu valor médio de 7 horas.

III. 3 – RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS:

Para a determinação dos valores mais representativos das variáveis respostas pH e temperatura, para o planejamento de experimentos, foram retirados os respectivos valores, no tempo de fermentação 7 horas. Na Tabela 17, é mostrado os valores codificados com os resultados dos valores de pH (Y1) e Temperatura final da massa (Y2).

Tabela 17: Valores codificados das variáveis predictoras e os resultados das variáveis respostas (Y1 e Y2).

Ensaio	Temperatura do Fermento (X1)	Temperatura da Massa (X2)	Temperatura da Câmara (X3)	Y1 (pH) Após 7 horas de fermentação	Y2 (Temperatura final da massa) Após 7 horas de fermentação
1	-1	-1	-1	5,54	30,6
2	+1	-1	-1	5,50	31,8
3	-1	+1	-1	5,45	32,4
4	+1	+1	-1	5,38	33,5
5	-1	-1	+1	5,51	32,4
6	+1	-1	+1	5,40	31,8
7	-1	+1	+1	5,42	34,6
8	+1	+1	+1	5,31	35,7
9	-1,68	0	0	5,45	31,2
10	+1,68	0	0	5,33	33,8
11	0	-1,68	0	5,50	29,8
12	0	+1,68	0	5,30	36,7
13	0	0	-1,68	5,46	32,3
14	0	0	+1,68	5,39	36,9
15	0	0	0	5,40	33,1
16	0	0	0	5,42	33,3
17	0	0	0	5,38	32,7
18	0	0	0	5,43	33,4
19	0	0	0	5,43	33,3
20	0	0	0	5,35	32,8

Através dos resultados obtidos foi possível determinar os coeficientes de regressão para a variável pH (Y1) que estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Coeficientes de regressão para a resposta Y1 (pH)

	Coeficiente de regressão	Erro padrão	T(7)	p-valor
Constante	5,403	0,007	762,97	0,000
X1	-0,0389	0,0066	-5,87	0,000
X2	-0,0532	0,0066	-8,01	0,000
X3	-0,0255	0,0066	-3,84	0,002
X1*X1	0,03542	0,0112	3,16	0,008
X1*X2	-0,0037	0,0086	-0,43	0,673
X1*X3	-0,0137	0,0086	-1,59	0,139
X2*X3	0,00375	0,0086	0,43	0,673

Dos resultados obtidos, conclui-se que as interações entre X1*X2, X1*X3, X2*X3 não são estatisticamente significativas (alto p-valor >0,05), podendo ser excluídas do modelo a ser proposto. Neste trabalho propõe-se um modelo com as seguintes variáveis codificadas:

$$Y1 = 5,40 - 0,0390 X1 - 0,0532 X2 - 0,0255 X3 + 0,0354 X1*X1$$

A hipótese que se deseja verificar neste modelo se o pH é influenciado pelas variáveis X1, X2, X3, X1*X1 através das hipóteses H₀ H₁, que representam não influencia e influência respectivamente:

$$\text{Teste de hipótese} \left\{ \begin{array}{l} \bullet H_0: 5,40 - 0,0390 X1 - 0,0532 X2 - 0,0255 X3 + 0,0354 X1*X1 = 0 \\ \bullet H_1: \text{CC (Caso contrário)} \end{array} \right.$$

Na Tabela 18 apresentam-se os resultados da análise estatística: ANOVA para a resposta Y1 (pH).

Tabela 19: ANOVA para a resposta Y1 (pH)

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Fcalculado	p-valor
Regressão	0,074215334	4	0,018554	31,06226232	0,000000
Resíduos	0,008959666	15	0,000597		
Total	0,083175	19			

% Variação explicada (R^2) = 89,23% $F_{4;15;0,05} = 3,06$

O resultado do teste de hipótese para a variável resposta Y1 (pH), indicou que o valor de F calculado (31,06) é maior que o valor de F tabelado (3,06), significando que H_0 é rejeitado ao nível de 5% de significância, ou seja, o pH é influenciado pelos fatores (X1, X2 e X3) e pela interação (X1*X1). Adicionalmente foi verificado que Fcalc. é altamente significativo ($p < 0,00001$). Na Figura 21 são apresentados os valores experimentais com relação aos valores previstos pelo modelo, indicando bom ajuste, que é comprovado pelo valor do percentual de variação explicada de 89,23%.

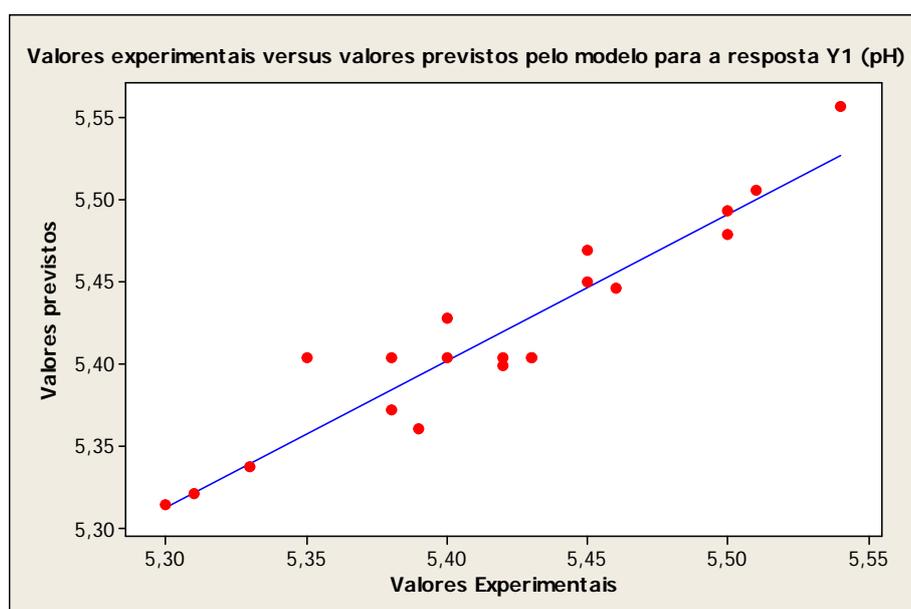


Figura 21: Valores experimentais versus valores previstos pelo modelo para Y1 (pH)

Na Figura 22 pode-se verificar a distribuição dos resíduos, constatando-se que os erros de ajuste estão independentes e normalmente distribuídos, indicando que o modelo é estatisticamente satisfatório.

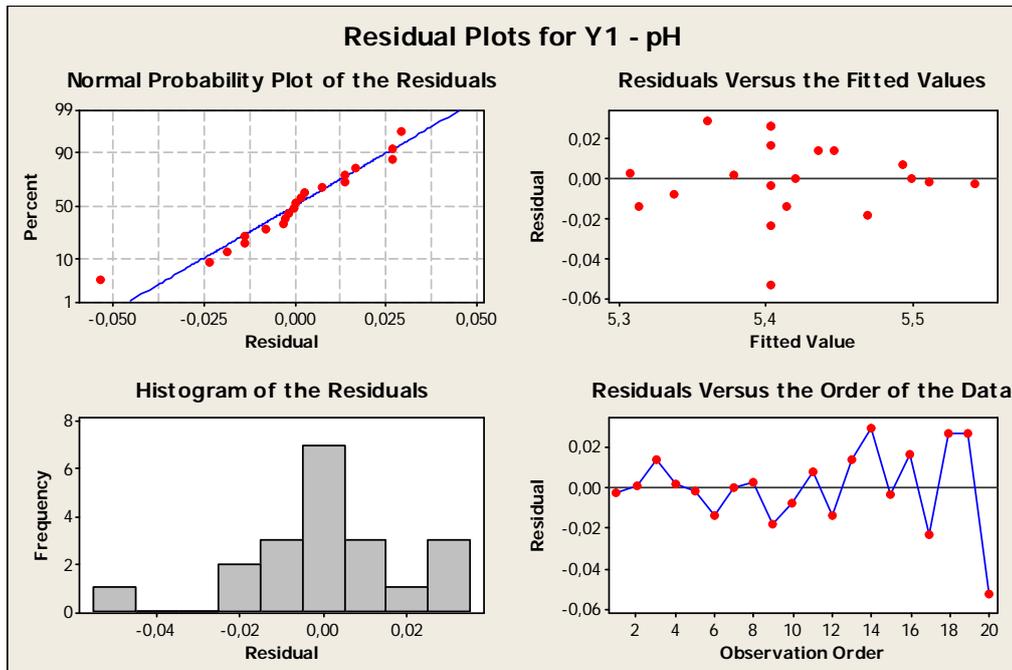


Figura 22: Distribuição dos resíduos para a resposta Y1 (pH)

Através dos resultados obtidos foi possível determinar os coeficientes de regressão para a variável Temperatura de massa (Y2) que estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 20: Coeficientes de regressão para a resposta Y2 (Temperatura da massa)

	Coeficiente de regressão	Erro padrão	T(7)	p-valor
Constante	33,2750	0,2622	126,93	0,000
X1	0,5253	0,2458	2,14	0,000
X2	1,5531	0,2458	6,32	0,000
X3	1,0208	0,2458	4,15	0,001
X1*X1	-0,4250	0,4145	-1,03	0,325
X1*X2	0,2000	0,3211	0,62	0,545
X1*X3	-0,2250	0,3211	-0,70	0,497
X2*X3	0,3250	0,3211	1,01	0,331

Dos resultados obtidos, conclui-se que as interações entre X1*X1, X1*X2, X1*X3, X2*X3 não são estatisticamente significativas (alto p-valor >0,05), podendo ser excluídas do modelo a ser proposto. Neste trabalho propõe-se um modelo com as seguintes variáveis codificadas:

$$Y2 = 33,1 + 0,525 X1 + 1,55 X2 + 1,02 X3$$

A hipótese que se deseja verificar neste modelo se a temperatura da massa é influenciada pelas variáveis X1, X2, X3, X1*X1 através das hipóteses H₀ H₁, que representam não influencia e influência respectivamente:

$$\text{Teste de hipótese} \left\{ \begin{array}{l} \bullet H_0: 33,1 + 0,525 X1 + 1,55 X2 + 1,02 X3 = 0 \\ \bullet H_1: \text{CC (Caso contrário)} \end{array} \right.$$

Na Tabela 20 apresentam-se os resultados da análise estatística: ANOVA para a resposta Y2 (Temperatura da massa).

Tabela 21: ANOVA para a resposta Y2 (Temperatura da massa)

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Fcalculado	p-valor
Regressão	51,10247655	3	17,03416	22,19408451	0,000000
Resíduos	12,28014345	16	0,767509		
Total	63,38262	19			

% Variação explicada (R^2) = 80,62% $F_{3;16;0,05} = 3,24$

O resultado do teste de hipótese para a variável resposta Y2 (Temperatura da massa) indicou que o valor de F calculado (22,19) é maior que o valor de F tabelado (3,24), significando que H_0 é rejeitado ao nível de 5% de significância, ou seja, a temperatura da massa é influenciado pelos fatores (X1, X2 e X3). Adicionalmente foi verificado que Fcalc. é altamente significativo ($p < 0,00001$). Na Figura 23 são apresentados os valores experimentais com relação aos valores previstos pelo modelo, indicando bom ajuste, que é comprovado pelo valor do percentual de variação explicada de 80,62%.

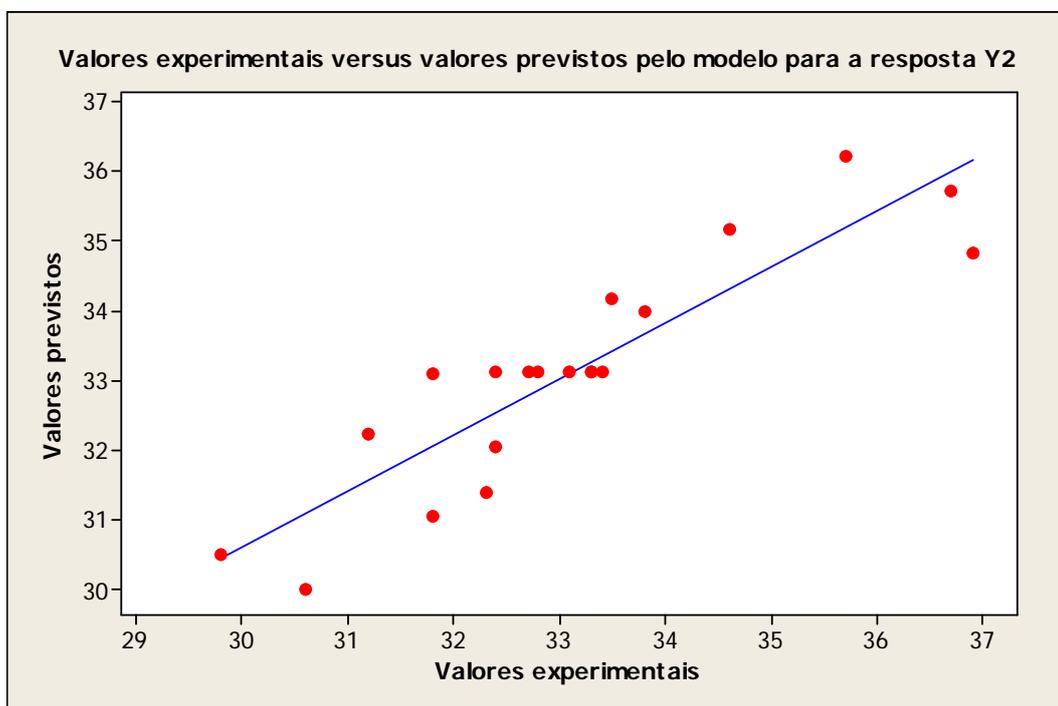


Figura 23: Valores experimentais versus valores previstos pelo modelo para Y2 (Temperatura final da massa)

Na Figura 24 pode-se verificar a distribuição dos resíduos, constatando-se que os erros de ajuste estão independentes e normalmente distribuídos, indicando que o modelo é estatisticamente satisfatório.

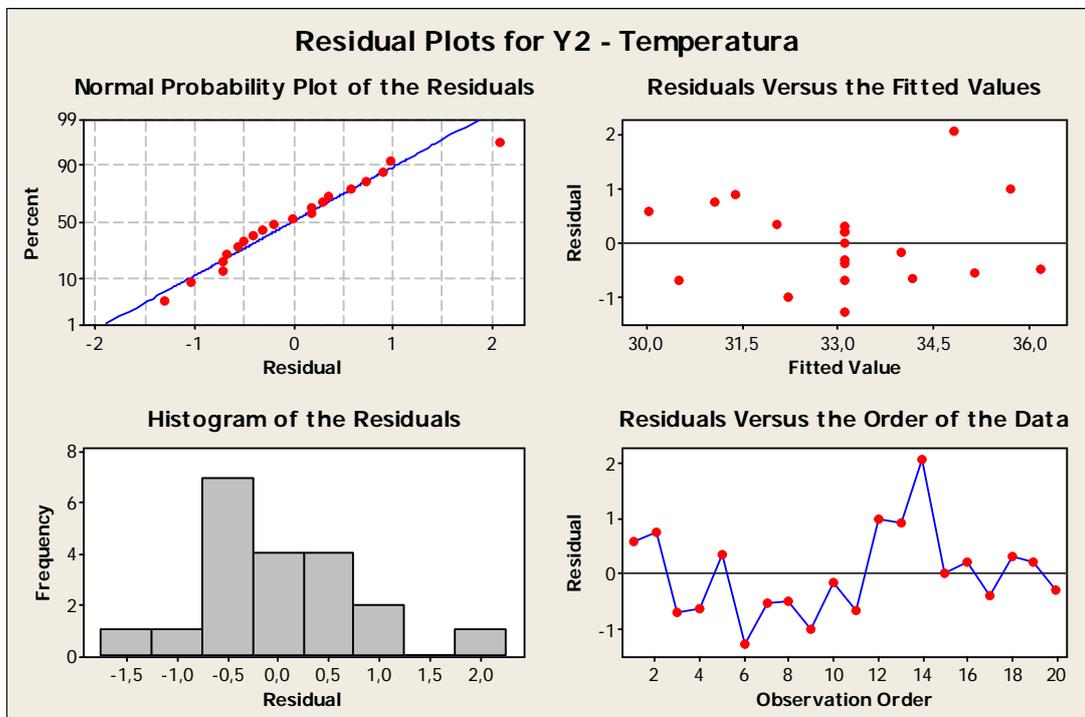


Figura 24: Distribuição dos resíduos para a resposta Y2 (Temperatura final da massa)

III. 4 – OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FERMENTAÇÃO FASE ESPONJA:

Nesta etapa do trabalho objetiva-se determinar as faixas ótimas de operação para a temperatura inicial do fermento, temperatura inicial da massa e temperatura da câmara de fermentação, por meio da análise das curvas de superfície.

Nas figuras 23 à 25 são apresentadas as curvas superfícies de resposta para Y1 (pH) com relação às variáveis temperatura de massa, temperatura do fermento e temperatura de câmara de fermentação.

A análise das três superfícies de resposta indica que os menores valores de pH foram obtidos com a temperatura inicial do fermento biológico entre 5°C – 7°C, com temperaturas iniciais de massa entre 30°C – 32°C e temperatura de câmara entre 31°C – 33°C. Destaca-se que essas faixas de valores das temperaturas iniciais de massa e temperatura de câmara são industrialmente consideradas altas. Contudo, para a indústria esses resultados são favoráveis, uma vez que propicia a redução de custos energéticos empregados no resfriamento da água durante o preparo da massa e com o ar de refrigeração da câmara de fermentação.

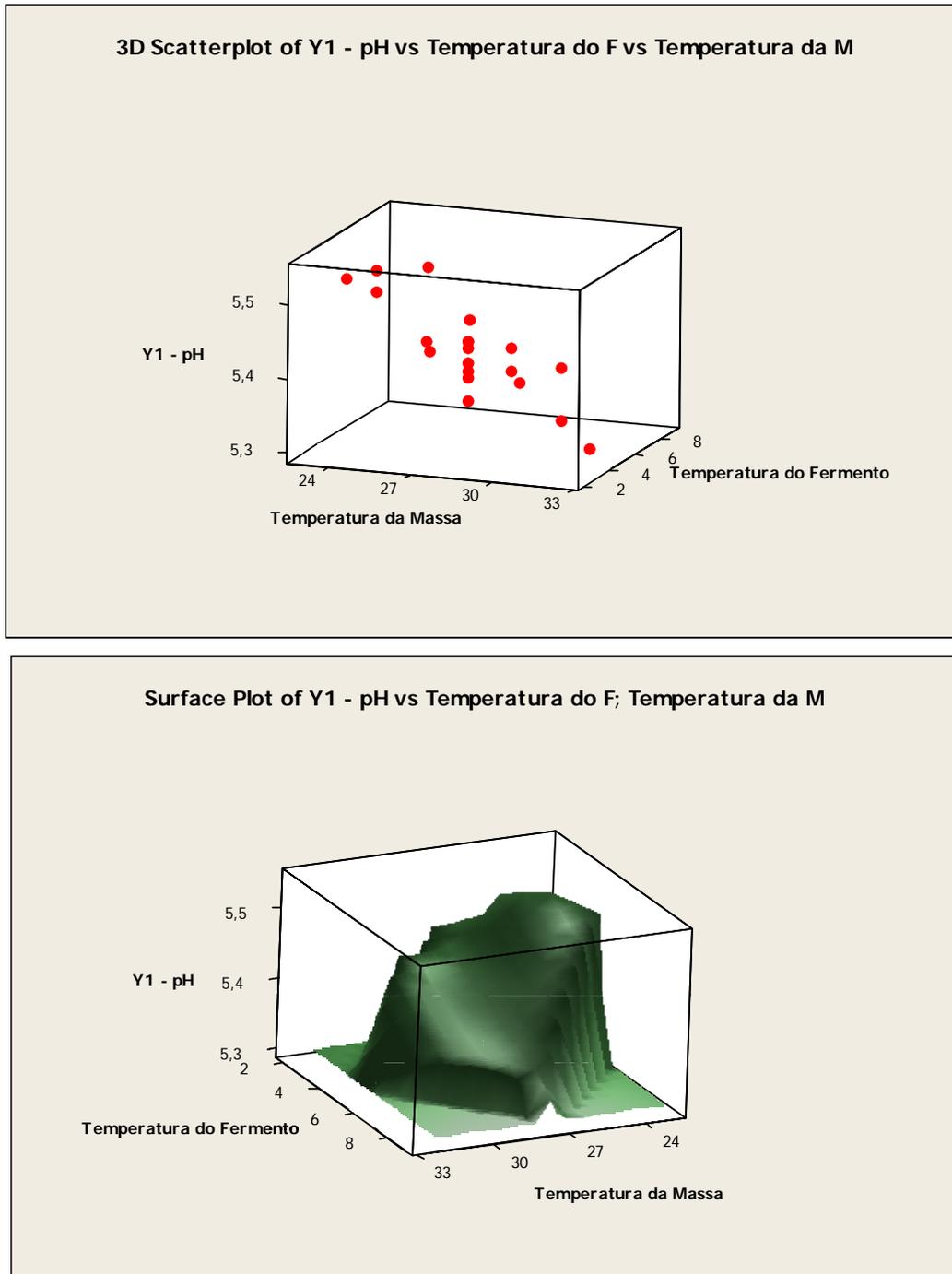


Figura 25: Superfícies de resposta para Y1, com relação às variáveis: Temperatura de massa e temperatura do fermento.

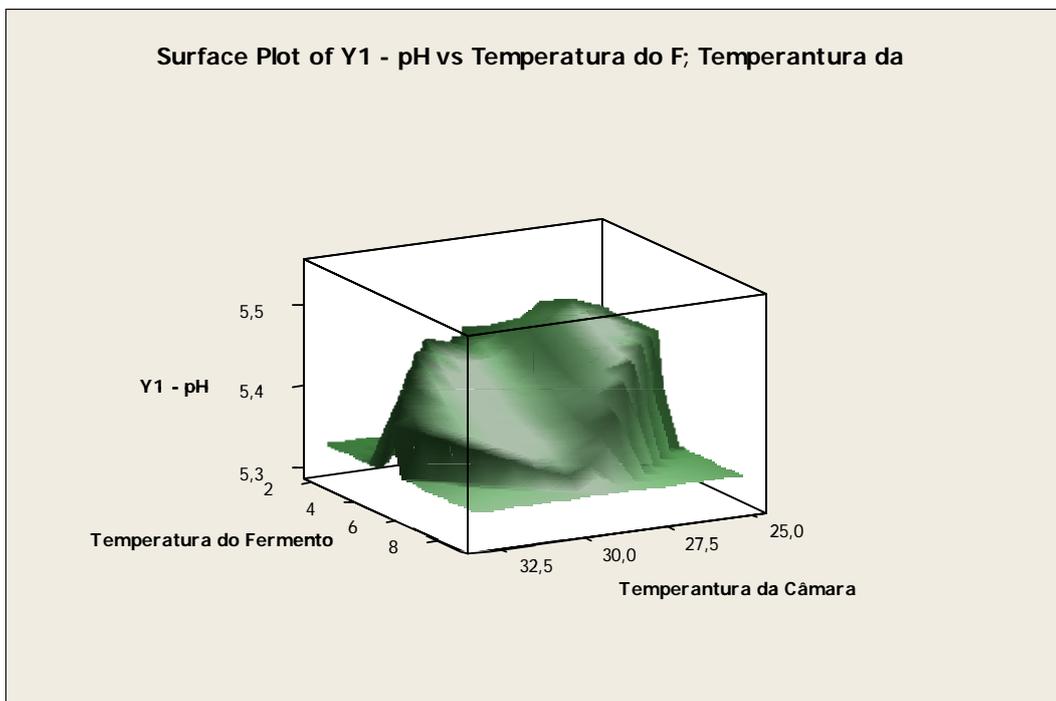
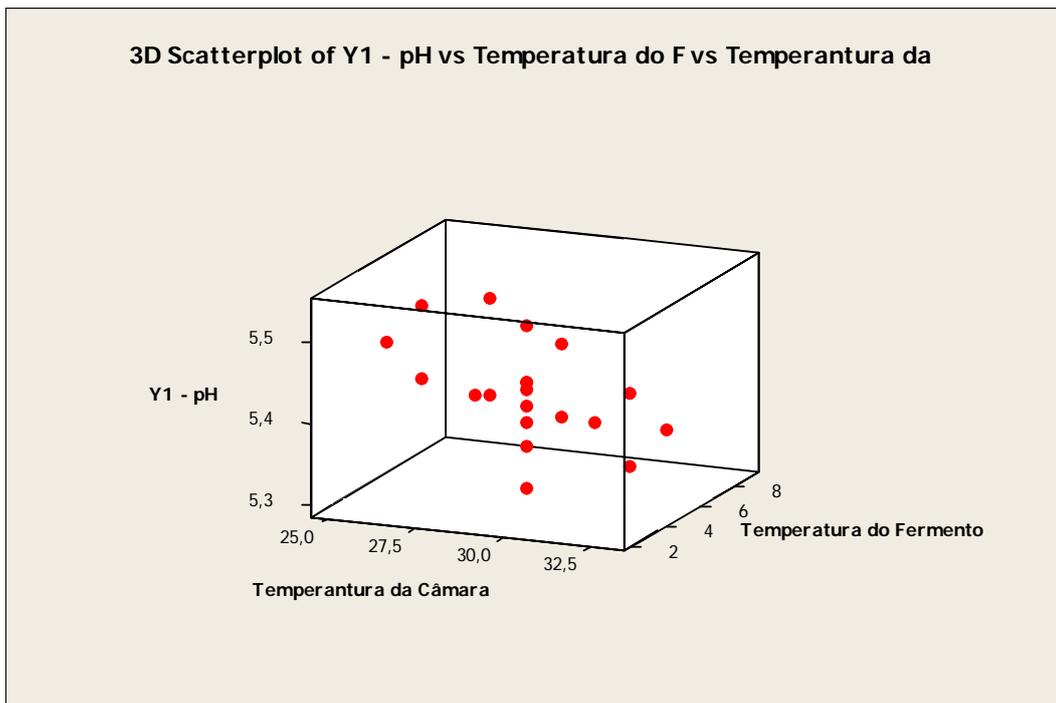


Figura 26: Superfícies de resposta para Y1, com relação às variáveis: Temperatura da câmara de fermentação e temperatura do fermento.

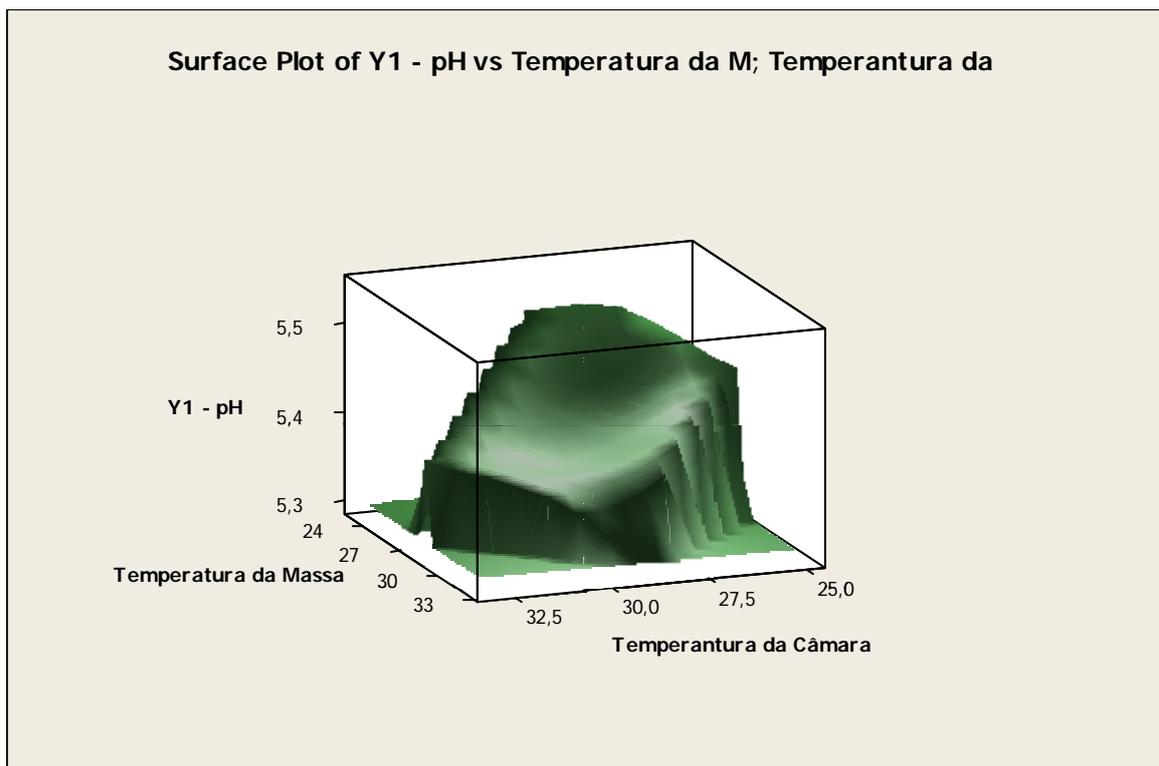
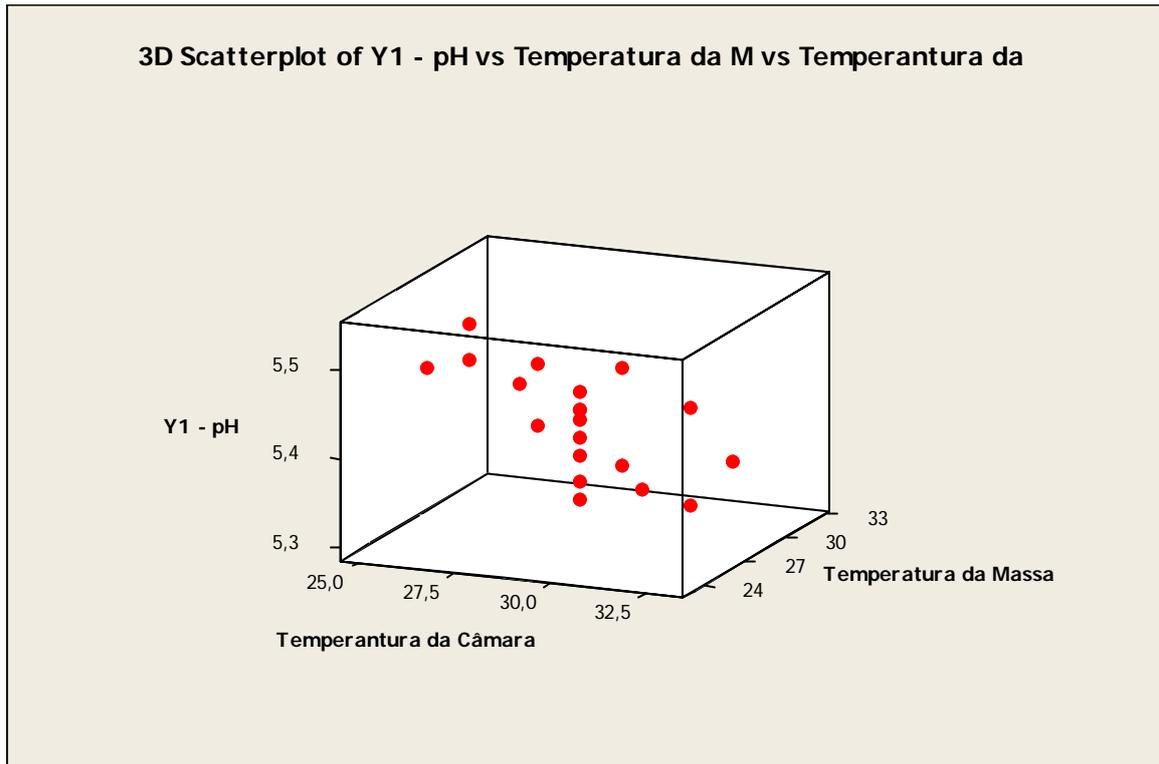


Figura 27: Superfícies de resposta para Y1, com relação às variáveis: Temperatura da câmara de fermentação e temperatura da massa.

Em síntese o resultado otimizado do pH deste trabalho propõem que as faixas de temperatura:

- Temperatura inicial do fermento biológico entre 5°C – 7°C.
- Temperaturas iniciais de massa entre 30°C – 32°C.
- Temperatura de câmara entre 31°C – 33°C.

Nas figuras 28 à 30 são apresentadas as curvas superfícies de resposta para Y2 (temperatura da massa) com relação às variáveis temperatura de massa, temperatura do fermento e temperatura de câmara de fermentação.

A análise das três superfícies de resposta indica que os maiores valores de temperatura da massa foram obtidos com a temperatura inicial do fermento biológico entre 5°C – 7°C, com temperaturas iniciais de massa entre 30°C – 32°C e temperatura de câmara entre 31°C – 33°C. Destaca-se que essas faixas de valores das temperaturas iniciais de massa e temperatura de câmara são industrialmente consideradas altas. Contudo, para a indústria esses resultados são favoráveis, uma vez que propicia a redução de custos energéticos empregados no resfriamento da água durante o preparo da massa e com o ar de refrigeração da câmara de fermentação.

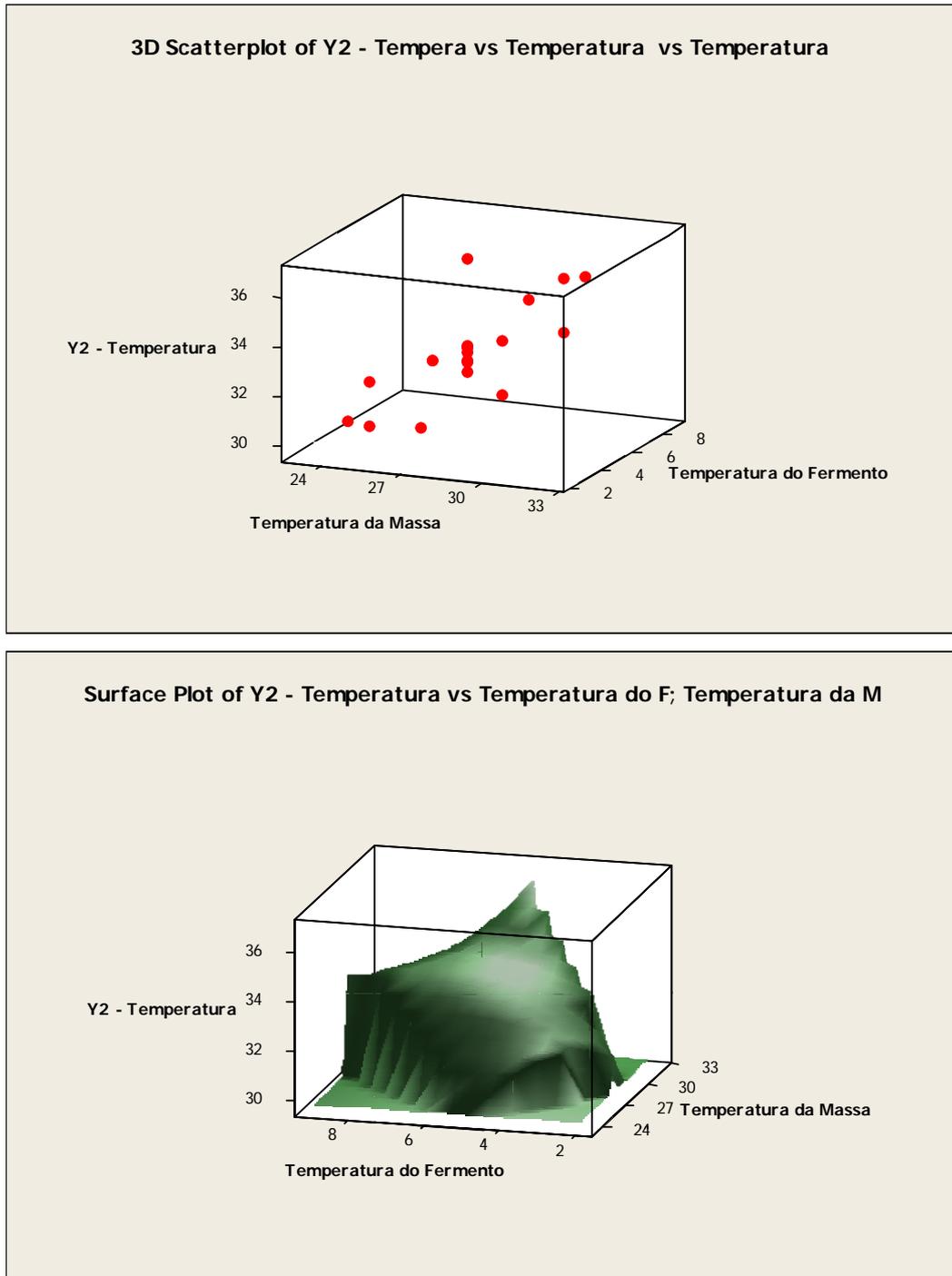


Figura 28: Superfícies de resposta para Y2, com relação às variáveis: Temperatura da massa e Temperatura do fermento.

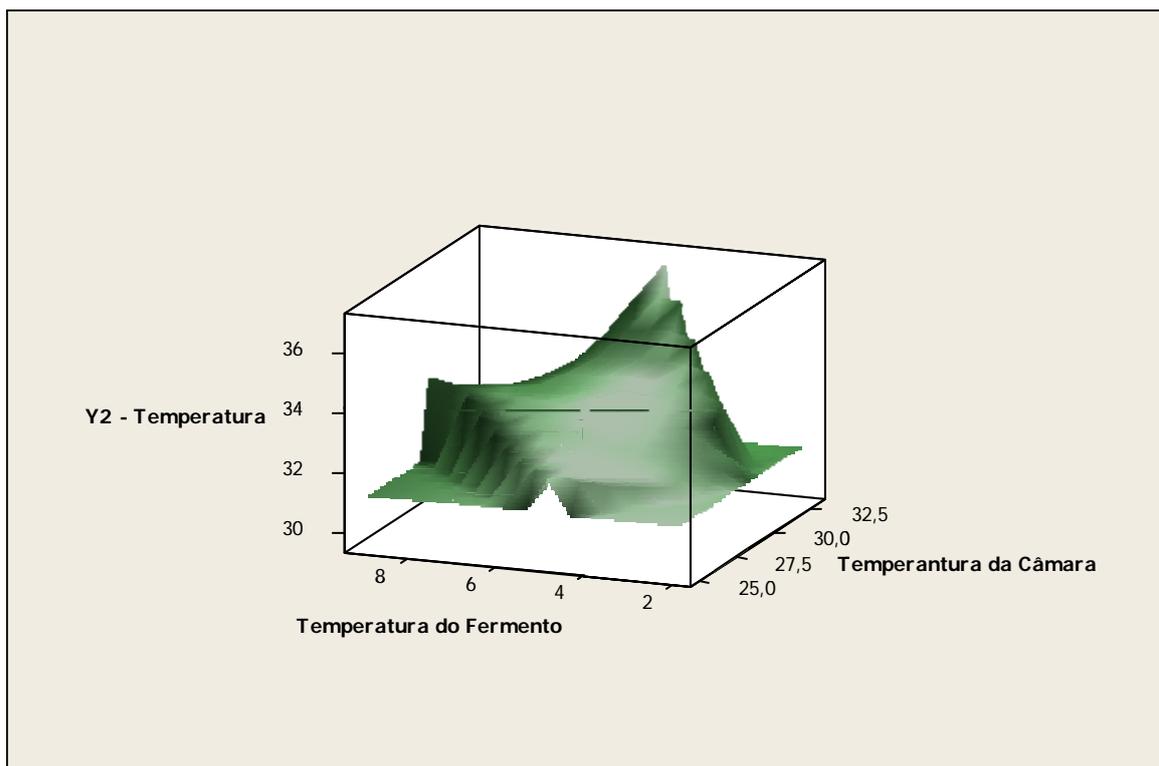
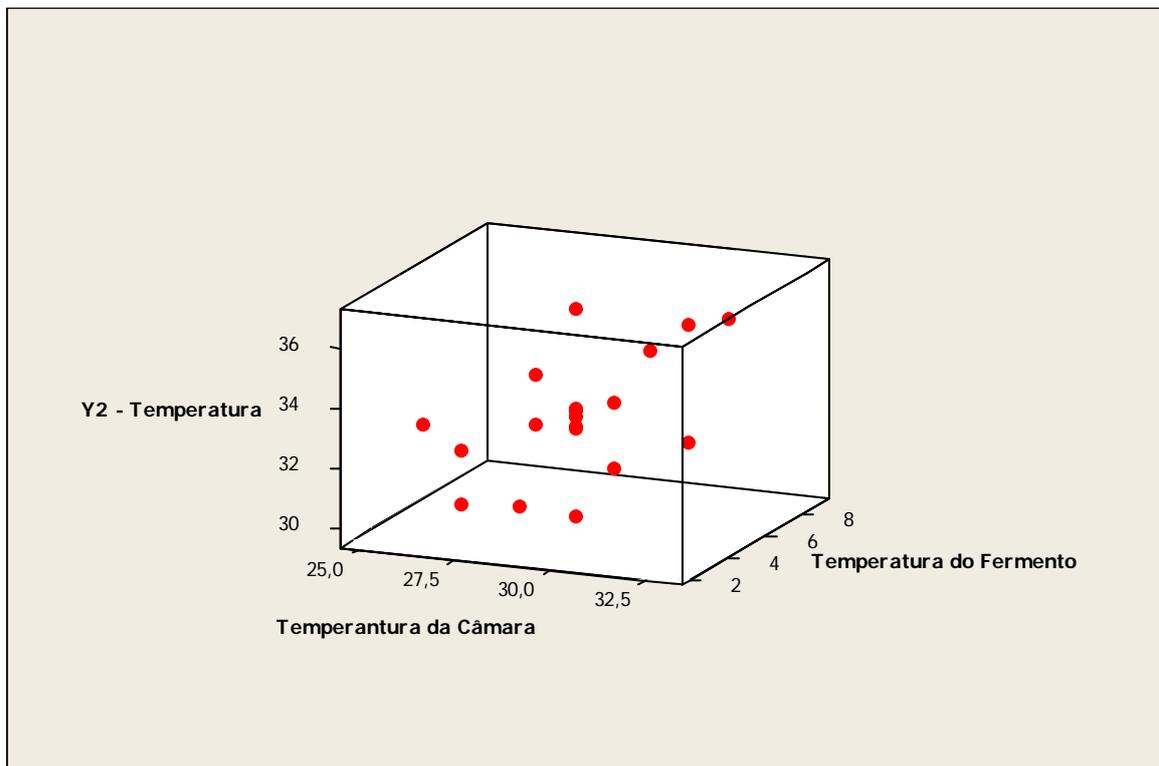


Figura 29: Superfícies de resposta para Y2, com relação às variáveis: Temperatura da massa e Temperatura do fermento.

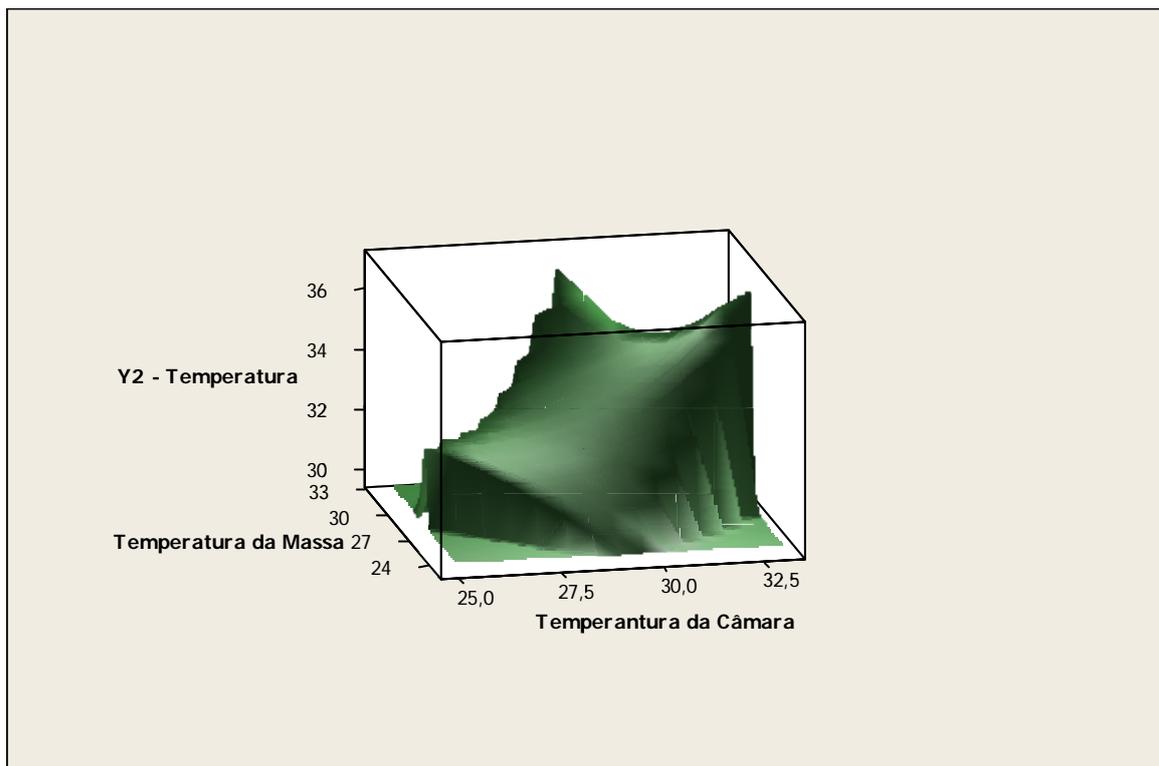
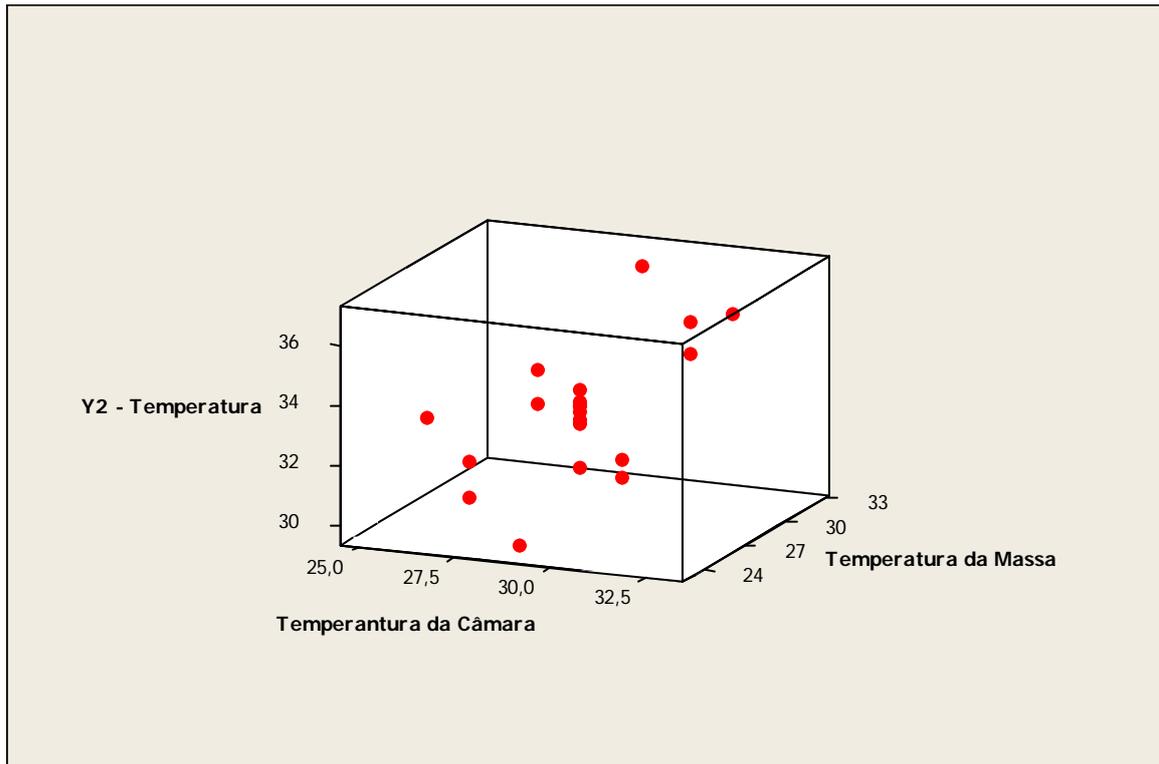


Figura 30: Superfícies de resposta para Y2, com relação às variáveis: Temperatura da massa e Temperatura da câmara.

Em síntese o resultado otimizado da temperatura da massa deste trabalho propõem que as faixas de temperatura:

- Temperatura inicial do fermento biológico entre 5°C – 7°C.
- Temperaturas iniciais de massa entre 30°C – 32°C.
- Temperatura de câmara entre 31°C – 33°C.

Os parâmetros ótimos de processo para a etapa de esponja baseados nos gráficos de superfície são mostrados na Tabela 21:

Tabela 22: Parâmetros ótimos de processo para esponja:

Parâmetros de processo	Faixa de trabalho ótimo
Temperatura do fermento biológico	5°C – 7°C
Temperatura inicial de massa	30°C – 32°C
Temperatura da câmara de fermentação	31°C – 33°C

O ensaio com sua respectiva curva de pH e temperatura de massa que melhor representa os parâmetros de processo otimizado é o ensaio 8, onde sua massa foi preparada com temperatura do fermento igual a 7°C, temperatura da massa com 30°C e foi fermentada em câmara com 31°C.

CONCLUSÕES

De maneira geral através dos experimentos planejados neste trabalho foi possível verificar que o processo de fermentação da massa de *Cream Cracker* pode ser otimizado com a redução de tempo de fermentação de 7 horas para 10 horas.

Para a variável pH da massa foi obtido o seguinte modelo matemático:

$$Y1 = 5,40 - 0,0390 X1 - 0,0532 X2 - 0,0255 X3 + 0,0354 X1 \cdot X1$$

Sendo o pH influenciado pela temperatura do fermento biológico (X1), temperatura inicial da massa (X2) e temperatura da câmara de fermentação (X3).

O modelo matemático para a variável resposta pH apresentou bom ajuste com porcentagem de variação explicada, de 89,23%.

O modelo matemático para a variável temperatura final da massa é expresso por:

$$Y2 = 33,1 + 0,525 X1 + 1,55 X2 + 1,02 X3$$

Sendo também influenciado pela temperatura do fermento biológico, temperatura da câmara de fermentação e temperatura inicial da massa.

O modelo matemático para a variável resposta Temperatura final da massa apresentou bom ajuste com porcentagem de variação explicada, de 80,62%.

Para se alcançar os menores valores de pH e os maiores de temperatura final de massa, os parâmetros de temperatura do fermento biológico devem ser em torno de 5°C – 7°C, com altas temperaturas iniciais de massa 30°C – 32°C e temperatura de câmara entre 31°C – 33°C. Esses parâmetros para a indústria são mais econômicos uma vez que a necessidade de temperaturas baixas não é necessária. Além disso, são mais fáceis de serem controlados.

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS:

A sugestão de trabalhos futuros é o acréscimo da variável resposta consistência de massa que pode ser medida através das análises de farinografia e alveografia para avaliação da estabilidade da massa e P/L respectivamente.

Como a redução de tempo de fermentação pode impactar no sabor do produto, antes da redução do tempo sugerido por este trabalho é importante realizar uma análise sensorial triangular com o produto padrão e produto com tempo reduzido para verificar se houve alterações significativas do sabor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução CNNPA nº 12, 30 de março 1978. Resolve aprovar as seguintes NORMAS TÉCNICAS ESPECIAIS, do Estado de São Paulo, revistas pela CNNPA, relativas a alimentos (e bebidas), para efeito em todo território nacional. D.O. de 24/07/1978.

Associação Brasileira da Indústria do Trigo. História do trigo. Disponível em <http://www.abitriigo.com.br>. Fev. 2009. Acesso em: 02 de fevereiro. 2009.

BRUNO M. E. C.; Utilização de proteases de origem bacteriana e fúngica na produção de biscoitos semi doces duros. Tese apresentada à faculdade de engenharia de alimentos da Universidade Estadual de Campinas, para a obtenção do título de mestre em tecnologia de alimentos – **Universidade Estadual de Campinas**, 1989.

BRUNO M. E. C.; CAMARGO C. R. de O.; Enzimas proteolíticas no processamento de biscoitos e pães. **Bol. SBCTA**, 29 (2):170-178, jul/dez 1995.Campinas.

CARVALHO JÚNIOR, D. Tecnologia de biscoitos, qualidade de farinhas e função de ingredientes. Curitiba, **Granotec do Brasil**, 2005. Apostila.

COELHO, R. O fascínio pelo fermento. Aditivos & Ingredientes – nº65 – Março/Abril, 2003.

COSTA, A.F.B. et al. *Controle Estatístico de qualidade*. 2ª edição, São Paulo, SP: Atlas, 2005.

GUILHERME DE A. S. et al.; Estudo da adição de vital glúten à farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade de pães. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas Jan./Apr. 2001

GUTKOSKI, L. C. *et al.*; Avaliação de farinhas de trigos cultivados no Rio Grande do Sul na produção de biscoitos. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 23 (Supl): 91-97, dez. 2003.

KULP, K.; *Cookie chemistry and technology*. 1ª edição, AIB (American Institute of Baking), Manhattan, Kansas, USA, AIB, 1994.

MANLEY, D.; *Technology of biscuits, crackers and cookies*. 1ª edição, England: Ellis Horwood Limited, 1991.

MELO et al.; Modelos em programação matemática para o processamento do biscoito tipo *Cracker*. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas Jul./Set. 2004

MONTENEGRO, F. M., ORMENESE, R, C. Avaliação da qualidade tecnológica da farinha de trigo. São Paulo, **Instituto de tecnologia de alimentos**, 2005. Apostila.

MORETTO, E.; FETT, R.; *Processamento e análise de biscoitos*. 1ª edição, São Paulo, SP: Livraria Varela, 1999.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. 2ª edição, Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2003.

MONTGOMERY, D.C. *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. 4ª edição, Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2004.

Nestlé. Produto. Disponível em <http://www.nestle.com.br> Fev. 2009. Acesso em: 05 de Março 2009.

OLIVER G.; BROCK C. J. A Rheological Study of Mechanical Dough Development and Long Fermentation Processes for *Cream-Cracker* Dough Production. Sci Food Agric. Great Britain, 1997.

PIZZINATTO, A.; Aspectos sobre a produção de biscoito “*cracker*”: Considerações sobre a matéria-prima e o processamento. **Bol. ITAL (Instituto de tecnologia de alimentos)**, Campinas, 16 (2): 165-189, abr./jun. 1979.

QUAGLIA, G.; *Ciencia y Tecnologia de La Panificacion*. 1ª edição, Acribia, 1999.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. *Planejamento de Experimentos e Otimização de Processo: uma estratégia seqüencial de planejamentos*. 1ª edição, Campinas, SP: Casa do Pão Editora, 2005.

Sindicato das indústrias de massas alimentícias e biscoitos do estado de São Paulo. Estatística. Disponível em <http://www.simabesp.org.br/assoc.asp>. Fev. 2009. Acesso em: 02 de fevereiro 2009.

VITTI, P.; GARCIA, LEITÃO, R.F.; Tecnologia de biscoitos e macarrão. São Paulo, **Instituto de tecnologia de alimentos**, 1979. Apostila.

VITTI, P.; GARCIA, E. E. C.; OLIVEIRA, L. M. Tecnologia de biscoitos. São Paulo, **Instituto de tecnologia de alimentos**, 1988. Apostila.