

Produção e caracterização de pão de forma obtido por processo rápido

Production and characterization of loaf bread obtained by fast process

Producción y caracterización de pan de molde obtenido por proceso rápido

Recebido: 30/07/2022 | Revisado: 10/08/2022 | Aceito: 14/08/2022 | Publicado: 23/08/2022

Luciana Cristina Nogueira de Moraes Bezerra

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6197-4886>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: luciana.bezerra@ifce.edu.br

Claudio Ernani Mendes da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4899-5823>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: cems_ce@yahoo.com.br

Hélio Oliveira do Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4063-0923>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: helioliveira09@hotmail.com

Patrícia Beltrão Lessa Constant

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7095-940X>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: pblconstant@academico.ufs.br

Resumo

Pães são produtos de consumo diário pela maioria das pessoas em todo o mundo. Entre as várias etapas necessárias à fabricação deste produto, destaca-se a fermentação biológica que possibilita a devida aeração e expansão da massa com tempo variável de duas a cinco horas ou mais. Com o intuito de diminuir o tempo de produção de pão de forma foi proposto o desenvolvimento de um pão com fermentação química e adição de extrato aquoso contendo compostos do aroma e sabor de um pão de forma convencional. Um Delineamento Composto Central Rotacional foi aplicado para definir a melhor formulação para o pão proposto. Os pães da melhor formulação foram submetidos a análises de umidade, cinzas, proteína, lipídios, carboidratos, pH, teste de aceitação e análise dos voláteis. A melhor formulação foi do pão elaborado com 8,5% de extrato flavorizante de pão, 7,7% de fermento químico e 5,5% de gordura vegetal, com um escore total de qualidade igual a 73,01%. Os pães apresentaram teores de umidade, carboidratos, proteínas e lipídios de 30,61%, 54,83%, 7,43% e 3,30%, respectivamente, similares aos pães convencionais, exceto quanto ao teor de cinzas (3,82%), que se mostrou mais elevado. O teste de aceitação demonstrou que os avaliadores apresentaram a atitude de consumo “comeria frequentemente”. A análise dos voláteis do pão por CG/EM permitiu identificar 12 compostos que fazem parte do *flavour* de pães convencionais. Assim, é possível fabricar um pão de forma com redução do tempo de processamento (< 1,0 hora) e com aceitação sensorial satisfatória.

Palavras-chave: Compostos voláteis; Fermento químico; Pão; Processamento.

Abstract

Bread is a product of daily consumption by most people around the world and for its manufacture it is necessary that several steps take place for the product to be ready. One of them is the biological fermentation that lasts between two to five hours or more for the dough to develop the proper aeration. Aiming to decrease production time of loaf bread, we proposed the development of a bread with chemical fermentation and aqueous extract containing compounds of conventional pan bread flavor. A Central Rotational Composite Design were applied to define the best formulation. The best bread formulation was subjected to analysis of moisture, ash, protein, lipids, carbohydrates, pH, acceptance test and analysis of volatile. The best formulation was the one from the bread made with 8.5% of bread flavoring extract, 7.7% baking powder and 5.5% vegetable fat with a total quality score equal to 73.01%. The breads had a composition in moisture, carbohydrates, proteins and lipids similar to conventional bread with 30.61%, 54.83%, 7.43% and 3.30%, respectively and a higher ash content than conventional bread (3.82%). The acceptance test demonstrated that the evaluators showed the consumption attitude “I would eat it often”. The analysis of the volatiles of fast bread by CG / MS allowed to identify 12 compounds that are part of the flavor of conventional breads. Therefore, we believe in the possibility of making a bread with reduced processing time (< 1,0 hour) and with satisfactory sensory acceptance.

Keywords: Baking powder; Bread; Processing; Volatile compounds.

Resumen

Los panes son productos de consumo diario por la mayoría de las personas en todo el mundo. Entre los diversos pasos necesarios para la elaboración de este producto, se destaca la fermentación biológica que permite la adecuada aireación

y expansión de la masa con un tiempo variable de más de dos horas. Con el fin de reducir el tiempo de producción del pan, se propuso el desarrollo de un pan con fermentación química y adición de compuestos del aroma y sabor de un pan de molde convencional. Se aplicó un diseño Compuesto Central Rotacional para definir la mejor formulación para el pan propuesto. Los panes de mejor formulación fueron sometidos a análisis de humedad, cenizas, proteína, lípidos, carbohidratos, pH, prueba de aceptación y análisis de volátiles. La mejor formulación fue el pan elaborado con 8,5% de extracto aromatizante de pan, 7,7% de fermento químico y 5,5% de grasa vegetal, con un puntaje de calidad total de 73,01%. Los panes presentaron niveles de humedad, carbohidratos y lípidos de 30,61%, 54,83%, 7,43% e 3,30%, respectivamente, similares a los panes convencionales, excepto por el contenido de cenizas (3,82%), que fue mayor. La prueba de aceptación mostro que los evaluadores tuvieron la actitud de consumo "Yo comería con frecuencia". El análisis de volátiles del pan por GC/MS permitió identificar 12 compuestos que forman parte del sabor de los panes convencionales. Por lo tanto, es posible fabricar pan de molde con tiempo reducido (< 1,0 hora) y con aceptación sensorial satisfactoria.

Palabras clave: Compuestos volátiles; Pan; Polvo leudante; Producción.

1. Introdução

A Resolução de Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária de nº 263 de 22 de setembro de 2005, define pães como produtos obtidos da farinha de trigo e ou outras farinhas, adicionados de líquido, resultantes do processo de fermentação ou não e cocção, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem os produtos. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos (Brasil, 2005).

O pão é uma das principais fontes calóricas da dieta em muitos países e amplamente consumido por indivíduos de diversas classes sociais (Ranhotra, 2000; Kajishima, 2003). Ele é fonte de carboidratos, proteínas, lipídios, fibras e minerais, sendo os carboidratos responsáveis pela maior parte do teor calórico da formulação e pelo fornecimento de energia ao organismo humano (Taco, 2011).

De acordo com a *Federation of Bakers Ltd* (2021) o pão de forma foi desenvolvido em 1912, quando o norte-americano Otto Rohwedder criou a primeira máquina de fatiar pães. Cento e nove anos depois, este tipo de pão continua a ser bastante procurado e consumido até os dias de hoje.

O pão de forma é fabricado seguindo etapas semelhantes a diversos outros tipos de pães, como a pesagem e mistura dos ingredientes, desenvolvimento da rede do glúten, divisão e modelagem da massa, fermentação, forneamento, resfriamento e embalagem.

Segundo Faria (2003), a formulação é um ponto crítico do processo de panificação, pois, se for incorreta, pode comprometer a qualidade do produto final. A mistura dos ingredientes é a etapa que garante o desenvolvimento do glúten através do trabalho mecânico sobre os constituintes da massa até que esteja bem coesa, homogênea, lisa e que se desprenda das mãos e paredes da masseira. As etapas de divisão e modelagem (no caso do pão de forma a massa é colocada em formas que poderão receber tampas ou não) darão ao produto o tamanho e formato desejado que será alcançado na etapa de fermentação, responsável pelo volume, textura e aroma do pão (El – Dash, Camargo e Diaz, 1982).

A fermentação é realizada pelo fermento biológico, um produto resultante de culturas puras da levedura *Saccharomyces cerevisiae* que age na massa produzindo etanol, CO₂, ácidos orgânicos, entre outros compostos. Durante o forneamento empregam-se temperaturas entre 210 °C a 280 °C por 20 a 40 minutos e ocorrem transformações como a fixação da estrutura do miolo, produção de cor e aroma, aumento do volume, formação de casca e perda de peso do pão (Faria, 2003).

As etapas de resfriamento e embalagem complementam as etapas anteriores fechando o ciclo de produção. Estas, são etapas importantes e que devem ser executadas com rigor para que se mantenha a qualidade do produto final, podendo ser avaliada através do julgamento de um painel treinado ou não, através de suas características físicas e sensoriais como o volume específico, a cor da crosta, a textura, o desenvolvimento da célula do miolo, o odor e sabor do pão e outros parâmetros. Consequentemente nesta etapa, avalia-se a qualidade construída durante o processamento que deverá perdurar por toda a cadeia de distribuição até o consumo (Jensen, 2011).

Tucker (2019) relata que os esforços e o tempo gasto nas padarias de alto rendimento são considerados desnecessários e resultam em problemas econômicos para este setor. Pois, o processo de panificação tradicional é lento e requer várias etapas para se alcançar o produto final, principalmente as muitas horas gastas com a fermentação biológica. De acordo com o mesmo autor, a necessidade do pão como parte essencial da dieta da população é tal, que se torna imprescindível uma produção de milhares de pães a cada hora em várias padarias de grande porte.

Visando favorecer a diminuição do tempo de produção de pães de forma, foi desenvolvido um pão usando fermento químico em substituição ao fermento biológico e adicionando um extrato aquoso contendo compostos do aroma e sabor de pão de forma tradicional.

2. Materiais e Métodos

2.1 Materiais usados na formulação do pão

Farinha de trigo (Finna tipo 1 - Moinho M. Dias Branco; Fortaleza – CE com 12% de proteínas), xarope de glucose (Unilever Brasil Industrial LTDA; Garanhuns – PE), fermento químico (Fleischmann; Pederneira – SP), gordura vegetal hidrogenada (Primor; Ipojuca – PE), leite em pó desnatado instantâneo (Itambé Alimentos S/A; Uberlândia – MG), sal refinado iodado (Qualitá; Areia Branca – RN), melhorador de farinha (Fleischmann; Pederneira – SP) e flavorizante obtido da mistura em parte iguais (1:1) do extrato massa (EM) e extrato pão (EP). Estes extratos foram produzidos experimentalmente.

2.2 Metodologia

2.2.1 Delineamento experimental

Com o propósito de definir a melhor formulação para produção do pão foi realizado um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) para três variáveis independentes (2^3), incluindo 6 ensaios nas condições axiais e 3 repetições no ponto central, totalizando 17 ensaios. O delineamento experimental foi gerado a partir do software Statistica versão 10 da StatSoft, Inc. Os níveis iniciais de fermento químico e gordura para compor o delineamento experimental foram baseados nas pesquisas de El-Dash, Campos e Germani (1994), Veluppillai, Nithyanantharajah, Vasantharuba, Balakumar e Arasaratnam (2010) e Clark (2016). Os níveis iniciais do extrato flavorizante de pão foram baseados em 10 testes preliminares. Os níveis das variáveis independentes geradas pelo Statistica variaram de 0 a 19,4% para extrato, 0 a 7,7% para fermento e 1,3 a 9,7% para gordura. Como os pontos axiais mínimos ($-\alpha$) para o extrato e a gordura situaram-se em zero por cento e sabendo que um pão sem fermento e sem sabor de pão não teria uma boa qualidade sensorial, decidimos por elevar esse valor para 1% em ambas as variáveis. A matriz do delineamento aplicado encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Matriz do delineamento experimental com os valores codificados e reais das formulações dos pães.

VARIÁVEIS						
Codificadas				Reais		
Ensaio	Extrato (%)	Fermento químico (%)	Gordura (%)	Extrato (%)	Fermento químico (%)	Gordura (%)
1	-1	-1	-1	2	1	3
2	-1	-1	1	2	1	8
3	-1	1	-1	2	6	3
4	-1	1	1	2	6	8
5	1	-1	-1	15	1	3
6	1	-1	1	15	1	8
7	1	1	-1	15	6	3
8	1	1	1	15	6	8
9	-1,68	0	0	1	3,5	5,5
10	1,68	0	0	19,4	3,5	5,5
11	0	-1,68	0	8,5	1	5,5
12	0	1,68	0	8,5	7,7	5,5
13	0	0	-1,68	8,5	3,5	1,3
14	0	0	1,68	8,5	3,5	9,7
15 (C)	0	0	0	8,5	3,5	5,5
16 (C)	0	0	0	8,5	3,5	5,5
17 (C)	0	0	0	8,5	3,5	5,5

Fonte: Dados da pesquisa.

Foi estudado o efeito combinado de três ingredientes (variáveis independentes), extrato flavorizante de pão (%), fermento químico (%) e gordura vegetal hidrogenada (%), sobre o volume específico, cor da crosta, quebra, simetria, característica interna da crosta, cor do miolo, textura do miolo, aroma, sabor e escore total de qualidade (variáveis dependentes). As variáveis dependentes (respostas) foram obtidas a partir da avaliação da qualidade tecnológica dos pães, de acordo com El-Dash (1978), usando as 17 formulações.

2.2.2 Preparo dos pães

Os pães foram fabricados de acordo com a metodologia proposta por El-Dash (1978) e usando como formulação fixa, farinha de trigo (100%), água (58%), leite em pó desnatado (6%), xarope de glicose (2%), sal (1,75%) e melhorador (0,08%). A quantidade total de farinha de trigo foi usada para cálculo dos demais ingredientes e a quantidade de água variou de acordo com a absorção da farinha de trigo. O percentual usado do extrato, fermento químico e gordura vegetal hidrogenada seguiu o delineamento experimental exposto na Tabela 1.

Os ingredientes secos foram misturados na batedeira semi-industrial por 1 minuto na velocidade 1. Posteriormente, os ingredientes úmidos foram adicionados aumentando-se gradualmente a velocidade da batedeira até a última velocidade e ficando nesta, até o completo desenvolvimento do glúten (12 minutos). A massa formada foi dividida em porções de 150 gramas, em seguida as porções foram boleadas, moldadas, colocadas em formas retangulares (topo, 14 x 6,8 cm; base, 13 x 5,5 cm; profundidade, 4,2 cm), forneadas à 190 °C/20 minutos e resfriadas. Os pães assim obtidos, foram submetidos aos testes de avaliação da qualidade tecnológica após o término da produção.

2.2.3 Avaliação da qualidade tecnológica dos pães

Os testes de avaliação da qualidade tecnológica foram aplicados com o objetivo de avaliar a qualidade dos pães em relação às formulações definidas no delineamento experimental. Seguindo a metodologia proposta por El-Dash (1978) foram avaliadas

as características externas (volume específico, cor da crosta, simetria e quebra), internas (característica interna da crosta, cor do miolo, estrutura das células do miolo e textura do miolo), sabor e aroma dos pães por 5 avaliadores treinados com 5 repetições por formulação (Tabela 2).

Tabela 2 – Características de avaliação da qualidade de pães e respectivas pontuações máximas, segundo metodologia desenvolvida por El-Dash (1978).

CARACTERÍSTICAS	PONTUAÇÃO MÁXIMA
Características externas	40
Volume específico (x 3,33)	20
Cor da crosta	10
Simetria	5
Quebra	5
Características internas	35
Característica interna da crosta	5
Cor do miolo	10
Estrutura da célula do miolo	10
Textura do miolo	10
Aroma e sabor	25
Aroma	10
Sabor	15
Score total de qualidade	100

Fonte: El-Dash (1978).

Os avaliadores usaram a descrição dos fatores desejáveis e indesejáveis citados no Quadro 1 como parâmetros para pontuarem cada característica observada nos pães durante os testes. Esses descritores foram adaptados de Couto (2007) e Ribeiro (2009). As características externas foram analisadas com os pães inteiros e a textura por compressão do miolo entre os dedos.

Quadro 1 - Descrição dos fatores desejáveis e indesejáveis de cada característica avaliada nos pães de forma.

Características	Fatores desejáveis	Fatores indesejáveis
<i>Cor da crosta</i>	Dourada-amarronzada intensa na parte superior e mais pálida nas laterais	Não uniforme, muito clara ou muito escura
<i>Simetria</i>	Aspecto simétrico	Desigualdade nas laterais, pontas e superfícies
<i>Quebra</i>	Extensa e uniforme	Muito pequena, desigual e presença de rasgos
<i>Característica interna da crosta</i>	Aderente, fina e maleável	Muito grossa, muito fina, quebradiça e dura
<i>Cor do miolo</i>	Clara e uniforme	Cinza, escura, opaca e desigual
<i>Estrutura das células do miolo</i>	Uniformes e alongadas	Muito fechadas, muito abertas e sem uniformidade
<i>Textura do miolo</i>	Elasticidade e suavidade	Aspereza, compacidade e secura
<i>Aroma</i>	Suave e característico	Ausência, desagradável, estranho ou muito forte
<i>Sabor</i>	Característico de pão	Estranho, sabor salino, ácido e de massa

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao final, os pães foram classificados quanto à qualidade em função do total de pontos recebidos de acordo com Dutcosky (1996) que classifica os pães como de boa qualidade (81 a 100 pontos), regular (61 a 80 pontos), ruim (31 a 60 pontos) e muito ruim (inferior a 30 pontos).

2.2.4 Volume específico (cm³/g)

O volume foi medido através do deslocamento de sementes de painço, de acordo com a metodologia de nº 72-10 da *American Association of Cereal Chemists* (AACC, 2000), em triplicata. O volume específico foi calculado pela divisão do volume deslocado do pão (mL) pela sua massa (g).

2.2.5 Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada mediante aprovação do Comitê de Ética, sob parecer 3.921.140, segundo a Resolução nº 466 do Conselho Nacional de Saúde, de 12 de dezembro de 2012 (Brasil, 2013). O teste sensorial foi aplicado para verificar a aceitação por atitude de consumo e intenção de compra do pão que teve a formulação de melhor desempenho no teste de avaliação da qualidade tecnológica dos pães. Também foi avaliada a frequência de consumo de pães convencionais.

Participaram 105 analistas acima de 18 anos, não treinados, do sexo masculino e feminino, onde uma fatia de pão (50g) foi servida para cada um em recipiente descartável de cor branca, acompanhada com água mineral para limpeza do paladar antes da prova da amostra. O teste usado foi o de aceitação usando a escala de atitude e seguiu a metodologia descrita por Schutz (1964) utilizando uma escala previamente estabelecida, chamada *Food Action Rate Scale* (FACT). O Quadro 2 mostra esta escala que se baseia em atitudes do consumidor em relação a frequência que estaria disposto a consumir o produto em determinado período e é recomendada para testes de aceitação onde os avaliadores não estejam familiarizados com o produto.

Quadro 2 – Escala de atitude verbal de 9 pontos.

Classificação da atitude	Pontuação
Comeria sempre que tivesse oportunidade	9
Comeria muito frequentemente	8
Comeria frequentemente	7
Gosto e comeria de vez em quando	6
Comeria se estivesse acessível, mas não me esforçaria para isto	5
Não gosto, mas comeria ocasionalmente	4
Raramente comeria	3
Só comeria se não pudesse escolher outro alimento	2
Só comeria se fosse forçado (a)	1

Fonte: Minim (2018).

A análise estatística consistiu na tabulação dos dados obtidos que foram convertidos em valores numéricos de acordo com o Quadro 2 e avaliados considerando a média dos escores obtidos do número total de avaliadores que realizaram o teste, que é o procedimento indicado quando se avalia apenas uma amostra de acordo com Minim (2018).

2.2.6 Análises físico-químicas

Estas análises foram realizadas nos pães da formulação que apresentou melhor desempenho no teste de avaliação da qualidade tecnológica. Adotou-se o que está descrito na AACC (1995), com exceção da determinação de carboidratos totais que

foram estimados por diferença, de acordo com o Instituto Adolfo Lutz (1985). Todas as análises foram executadas em triplicata. As análises de umidade seguiram a metodologia de secagem direta em estufa à 105 °C, de acordo com o método nº 44-15. Para a determinação do resíduo mineral (cinzas) adotou-se a incineração da amostra a 550 °C, de acordo com o método nº 08-01 e a quantidade de proteínas foi encontrada a partir da determinação do nitrogênio da amostra seguindo o método de Kjeldahl e multiplicando o resultado pelo fator de conversão para proteínas 5,70, de acordo com o método nº 46-13. As análises de lipídios seguiram o método de Soxhlet onde os lipídios são separados da amostra usando um solvente a quente (hexano), de acordo com o método nº 30-25.

2.2.7 Identificação dos voláteis presentes no pão

A identificação dos voláteis ocorreu nos pães que apresentou melhor desempenho no teste de avaliação da qualidade tecnológica.

2.2.7.1 Extração dos voláteis usando a técnica de Microextração em Fase Sólida do Headspace (SPME-HS)

A extração dos compostos voláteis das amostras foi realizada por microextração em fase sólida (SPME) usando uma fibra de revestimento misto de carboxeno, divinilbenzeno e polidimetilsiloxano (CAR/DVB/PDMS) de 50/30 µm de espessura, de acordo com Ruiz, Quilez, Mestres e Guasch (2003) e Almeida (2015). As amostras (1g), em triplicata, foram trituradas e colocadas em frascos especiais (vials) de 40 mL juntamente com 50 µL de padrão interno 2-octanol (40ppm) e 9,9 mL de solução de NaCl 20%, em seguida os frascos foram hermeticamente fechados com tampas contendo septo de borracha por onde a fibra é inserida. Os frascos já fechados foram aquecidos a 50 °C e ficaram sob agitação juntamente com a fibra que ficou exposta no *headspace* por 60 minutos. Após 60 minutos, a fibra foi removida do frasco e inserida na porta do injetor do cromatógrafo a gás para dessorção térmica (250 °C/7min.) e análise dos voláteis pelo espectrômetro de massa.

2.2.7.2 Condições instrumentais da separação e identificação dos compostos voláteis por CG/EM

As análises cromatográficas foram realizadas usando um cromatógrafo a gás da marca Shimadzu, modelo GC-2010 acoplado a um espectrômetro de massa da mesma marca de modelo GCMS-QP2010 com impacto de elétrons a 70 eV e com a fonte de íons e interface mantidas a 300 °C. A coluna cromatográfica empregada foi uma DB-5 (30 m de comprimento x 0,25mm de diâmetro interno x 0,25 µm de espessura do filme) e o gás de arraste usado na corrida foi o gás hélio com fluxo constante de 1,3 mL.min⁻¹ (94 psi) e velocidade linear constante de 31,2 cm.s⁻¹ e razão Split 1:10.

A identificação dos compostos voláteis foi realizada a partir do cálculo do índice de retenção de Kovats (Kovats, 1965) de cada pico do cromatograma em relação a um padrão de n-alcenos (C6 a C20), usando a mesma coluna capilar em todas as corridas e realizadas em triplicata para todas as amostras. Os espectros de massa dos compostos desconhecidos foram comparados com os espectros de massa presentes em bancos de dados do equipamento (biblioteca NIST, versão 05) e de bases online (*Nist Chemistry Webbook*, SRD 69).

2.2.8 Análises estatísticas

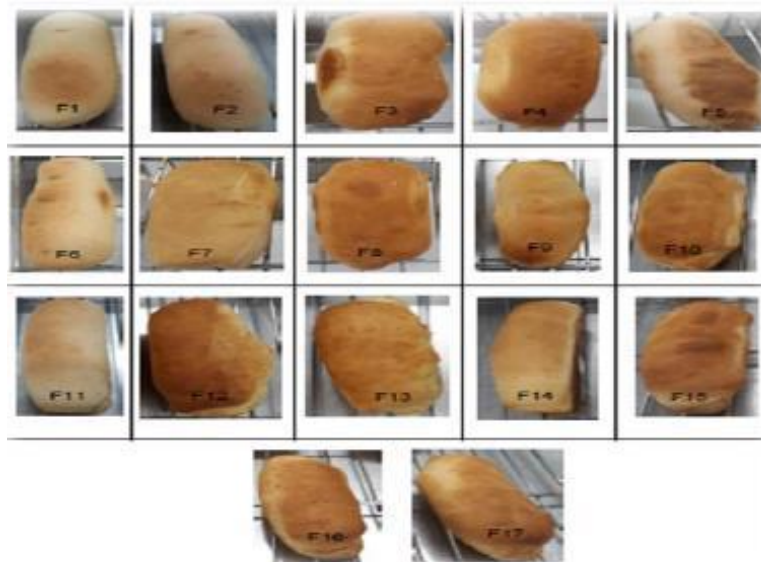
Os resultados das análises foram apresentados por meio de médias e desvios padrão, além da análise de variância (ANOVA) e comparação entre médias por meio do teste de Tukey (p<0,05), quando necessário. Os dados estatísticos foram obtidos utilizando-se o software Statistica versão 10 da StatSoft, Inc.

3 Resultados e discussão

3.1 Avaliação da qualidade tecnológica dos pães

As imagens dos pães submetidos aos testes de qualidade encontram-se na Figura 1 e os resultados obtidos da avaliação tecnológica dos pães encontram-se nas Tabelas 3 e 4.

Figura 1 – Pães de forma desenvolvidos para a avaliação tecnológica.



Legenda: ***F1**- 2% EF, 1% FQ, 3% GVH; **F2** – 2% EF, 1% FQ, 8% GV; **F3** – 2% EF, 6% FQ, 3% GVH; **F4** – 2% EF, 6% FQ, 8% GVH; **F5** - 15% EF, 1% FQ, 3% GVH; **F6** - 15% EF, 1% FQ, 8% GVH; **F7** - 15% EF, 6% FQ, 3% GVH; **F8** - 15% EF, 6% FQ, 8% GVH; **F9** - 1% EF, 3,5% FQ, 5,5% GVH; **F10** – 19,4% EF, 3,5% FQ, 5,5% GVH; **F11** – 8,5% EF, 1% FQ, 5,5% GVH; **F12** – 8,5% EF, 7,7% FQ, 5,5% GVH; **F13** – 8,5% EF, 3,5% FQ, 1,3% GVH; **F14** – 8,5% EF, 3,5% FQ, 9,7% GVH; **F15** – 8,5% EF, 3,5% FQ, 5,5% GVH; **F16** – 8,5% EF, 3,5% FQ, 5,5% GVH; **F17** – 8,5% EF, 3,5% FQ, 5,5% GVH. ** EF = extrato flavorizante de pão; FQ = fermento químico; GVH = gordura vegetal hidrogenada. Fonte: Arquivo pessoal (2020).

Ao analisar as Tabelas 3 e 4 podemos observar quais combinações entre extrato flavorizante de pão, fermento químico e gordura favoreceram os atributos avaliados (variáveis dependentes) e a partir do delineamento aplicado foi possível verificar a existência ou não de influência das variáveis independentes para a qualidade dos pães de forma. Quando possível, um modelo preditivo e uma superfície de resposta foi construída para as variáveis resposta estudadas.

Tabela 3 – Matriz do delineamento experimental (DCCR) com as respostas das características externas obtidas na avaliação da qualidade tecnológica dos pães.

VARIÁVEIS INDEPENDENTES				VARIÁVEIS DEPENDENTES (Média*/desvio padrão)			
Ensaio	E (%)	F (%)	G (%)	VE	CC	QU	SI
1	2	1	3	3,79 ^{fg} ± 0,17	6,50 ⁱ ± 0,52	1,07 ^m ± 1,49	2,56 ^{fgh} ± 0,52
2	2	1	8	3,56 ^g ± 0,33	5,14 ^k ± 1,56	0,86 ⁿ ± 0,86	2,93 ^{cd} ± 0,83
3	2	6	3	5,43 ^{cd} ± 0,47	7,00 ^g ± 2,22	2,75 ^d ± 0,86	3,00 ^c ± 0,78
4	2	6	8	5,97 ^{abc} ± 0,09	6,40 ⁱ ± 1,71	1,60 ^k ± 0,52	2,67 ^{defg} ± 0,89
5	15	1	3	4,24 ^{efg} ± 0,22	1,50 ^m ± 1,60	2,40 ^h ± 0,52	2,20 ⁱ ± 1,03
6	15	1	8	3,84 ^{fg} ± 0,09	5,92 ^j ± 0,79	2,67 ^e ± 0,50	2,60 ^{efgh} ± 0,52
7	15	6	3	6,59 ^{ab} ± 0,53	8,18 ^c ± 1,78	2,09 ⁱ ± 1,87	4,00 ^a ± 0,00
8	15	6	8	4,46 ^{ef} ± 0,22	8,00 ^d ± 0,82	2,42 ^h ± 0,51	2,70 ^{defg} ± 0,48
9	1	3,5	5,5	4,77 ^{de} ± 0,18	4,89 ^l ± 1,05	2,46 ^g ± 0,52	2,77 ^{cdef} ± 0,83
10	19,4	3,5	5,5	5,91 ^{bc} ± 0,21	8,92 ^a ± 0,90	3,50 ^a ± 0,53	2,67 ^{defg} ± 0,49
11	8,5	1	5,5	3,59 ^g ± 0,07	6,73 ^h ± 1,74	2,55 ^f ± 0,52	3,40 ^b ± 0,52
12	8,5	7,7	5,5	6,69 ^a ± 0,11	8,90 ^a ± 0,88	2,67 ^e ± 0,58	3,00 ^c ± 1,50
13	8,5	3,5	1,3	6,61 ^{ab} ± 0,28	8,43 ^b ± 0,53	2,08 ⁱ ± 1,04	1,80 ^j ± 1,55
14	8,5	3,5	9,7	4,37 ^{ef} ± 0,09	8,00 ^d ± 1,28	1,56 ^l ± 0,53	2,08 ^{hi} ± 1,44
15	8,5	3,5	5,5	5,91 ^{bc} ± 0,20	8,20 ^c ± 1,55	1,86 ^j ± 1,56	2,42 ^{ghi} ± 1,83
16	8,5	3,5	5,5	6,23 ^{ab} ± 0,35	7,36 ^f ± 1,36	3,17 ^b ± 0,83	2,91 ^{cde} ± 0,83
17	8,5	3,5	5,5	5,89 ^{bc} ± 0,04	7,55 ^e ± 0,52	2,82 ^c ± 0,87	2,64 ^{defg} ± 0,50

Legenda: E – extrato flavorizante de pão; F – fermento químico; G – gordura vegetal hidrogenada; VE – volume específico (cm³.g⁻¹); CC – cor da crosta; QU – quebra; SI – simetria; * Médias com letras iguais na vertical não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de Tukey. Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 4 – Matriz do delineamento experimental (DCCR) com as respostas das características internas, aroma e sabor, obtidas na avaliação da qualidade tecnológica dos pães.

VARIÁVEIS INDEPENDENTES				VARIÁVEIS DEPENDENTES (Média*/desvio padrão)					
Ensaio	E (%)	F (%)	G (%)	CIC	CM	ECM	TX	AR	SB
1	2	1	3	2,43 ⁿ ± 0,51	8,36 ^e ± 1,80	4,75 ^k ± 1,36	4,07 ^j ± 0,88	7,00 ^e ± 3,10	7,00 ^{ab} ± 2,29
2	2	1	8	4,42 ^d ± 0,51	6,73 ⁱ ± 2,33	3,42 ^l ± 1,83	2,43 ^l ± 1,74	6,00 ^f ± 4,05	9,62 ^a ± 4,15
3	2	6	3	3,00 ^m ± 1,04	8,58 ^c ± 1,31	6,13 ⁱ ± 1,55	6,55 ⁱ ± 2,38	7,58 ^{cde} ± 2,91	11,46 ^a ± 3,26
4	2	6	8	4,00 ^f ± 0,76	8,89 ^a ± 1,05	7,67 ^e ± 1,00	8,92 ^a ± 0,90	8,56 ^a ± 0,53	10,31 ^a ± 2,63
5	15	1	3	1,50 ^o ± 0,53	3,00 ^l ± 0,00	0,43 ⁿ ± 0,53	1,57 ^m ± 0,53	1,50 ^h ± 1,64	1,50 ^b ± 1,64
6	15	1	8	3,33 ^l ± 1,30	5,33 ^k ± 1,32	5,44 ^j ± 1,13	2,50 ^l ± 0,55	7,22 ^{de} ± 1,39	9,50 ^a ± 0,55
7	15	6	3	3,77 ^h ± 0,83	8,89 ^a ± 1,05	6,43 ^h ± 0,53	8,29 ^{ef} ± 1,60	8,29 ^{abc} ± 1,60	10,90 ^a ± 3,14
8	15	6	8	3,50 ^k ± 0,53	6,62 ^j ± 1,19	7,38 ^f ± 0,52	7,45 ^g ± 0,52	7,08 ^{de} ± 0,79	10,50 ^a ± 2,20
9	1	3,5	5,5	3,75 ⁱ ± 0,87	8,67 ^b ± 1,00	7,00 ^g ± 0,87	7,44 ^g ± 0,53	7,63 ^{cde} ± 0,52	8,50 ^a ± 0,53
10	19,4	3,5	5,5	4,63 ^a ± 0,52	7,82 ^h ± 1,66	7,38 ^f ± 0,52	8,44 ^{de} ± 0,53	8,38 ^{ab} ± 0,52	9,30 ^a ± 1,25
11	8,5	1	5,5	3,82 ^g ± 0,87	2,57 ^m ± 0,53	2,50 ^m ± 0,55	3,69 ^k ± 2,65	5,20 ^g ± 1,23	6,67 ^{ab} ± 1,22
12	8,5	7,7	5,5	4,42 ^d ± 0,51	8,67 ^b ± 1,30	9,00 ^a ± 0,77	8,75 ^{abc} ± 1,14	8,92 ^a ± 0,90	12,00 ^a ± 2,41
13	8,5	3,5	1,3	4,30 ^e ± 0,48	8,42 ^d ± 1,24	7,08 ^g ± 0,79	8,80 ^{ab} ± 1,03	7,75 ^{bcd} ± 0,45	10,13 ^a ± 3,04
14	8,5	3,5	9,7	4,50 ^b ± 0,53	6,70 ⁱ ± 0,48	7,00 ^g ± 0,00	6,73 ^h ± 1,19	7,50 ^{de} ± 0,53	9,50 ^a ± 0,53
15	8,5	3,5	5,5	4,45 ^c ± 0,52	8,38 ^{de} ± 1,56	8,25 ^b ± 1,14	8,50 ^{cde} ± 0,52	8,75 ^a ± 0,45	11,25 ^a ± 2,49
16	8,5	3,5	5,5	4,45 ^c ± 0,52	7,92 ^g ± 0,87	7,82 ^d ± 0,87	8,08 ^f ± 0,79	8,64 ^a ± 0,84	11,25 ^a ± 2,38
17	8,5	3,5	5,5	3,64 ^j ± 0,50	8,10 ^f ± 0,74	8,13 ^c ± 1,02	8,55 ^{bcd} ± 0,93	8,60 ^a ± 0,87	12,10 ^a ± 2,13

Legenda: E – extrato flavorizante de pão; F – fermento químico; G – gordura vegetal hidrogenada; CIC – característica interna da crosta; CM – cor do miolo; ECM – estrutura das células do miolo; TX – textura; AR – aroma; SB – sabor; * Médias com letras iguais na vertical não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de Tukey. Fonte: Dados da pesquisa.

Ao analisar os resultados estatísticos da estimativa do efeito para a simetria e quebra do pão, observou-se que nenhuma das duas variáveis sofreu influência de forma significativa entre os percentuais de extrato, fermento e gordura usados na formulação dos pães. As baixas pontuações recebidas, já que a pontuação máxima é de 5 pontos, foram atribuídas a falta de força suficiente do fermento para expandir a massa no espaço da forma. Assim, houve um crescimento desigual com aspereza e pouca abertura lateral, propiciando uma quebra inadequada e uma desigualdade nas extremidades dos pães.

Autores como Lemos (2002), Tedrus, Ormenese, Speranza, Chang e Bustos (2001) e Ribeiro (2009), relataram em seus trabalhos com pães de fermentação biológica, valores de simetria de 4,0, 4,8 e 4,5, respectivamente. E para quebra 5,0, 5,0 e 4,0, respectivamente. Porém, valores mais baixos foram encontrados por Arcanjo (2005), com 3,54 e 3,71 para simetria e quebra.

Como não houve efeito significativo ($p \geq 0,05$) para simetria e quebra, nenhum modelo matemático preditivo pôde ser obtido, assim como uma superfície de resposta.

Na Tabela 5 encontra-se o cálculo do efeito e das interações entre o extrato flavorizante, fermento químico e gordura em relação a cor da crosta e característica interna da crosta.

Tabela 5 – Efeito e interações calculadas para as variáveis cor da crosta e características internas da crosta.

FATORES	Cor da crosta		Característica interna da crosta	
	Efeito estimado	Significância (p)	Efeito estimado	Significância (p)
(1) Extrato (L)	0,78049	0,081785	-0,039702	0,890842
Extrato (Q)	-1,25843	0,040724	-0,437650	0,260116
(2) Fermento (L)	2,07608	0,012895	0,526796	0,175498
Fermento (Q)	-0,61435	0,143706	-0,487201	0,225506
(3) Gordura (L)	0,22801	0,439254	0,715913	0,107368
Gordura (Q)	-0,33105	0,333765	-0,287390	0,414515
1L x 2L	1,75200	0,030103	0,570284	0,229883
1L x 3L	1,54800	0,038083	-0,355998	0,398146
2L x 3L	-0,96034	0,090839	-0,772665	0,146813

Legenda: Significância a 95% de confiança ($p < 0,05$). Fonte: Dados da pesquisa.

O corte transversal do pão e a análise da crosta mostraram que esta era um pouco quebradiça e um pouco espessa. Ainda assim, 47% dos resultados para esta variável foram com pontuações próximas ao limite máximo de 5 pontos. A estatística aplicada aos dados da variável característica interna da crosta indica que não houve influência ($p \geq 0,05$) dos fatores estudados para esta variável, assim nenhum modelo matemático preditivo pôde ser descrito.

No entanto, a análise estatística da cor da crosta evidenciou efeito significativo ($p < 0,05$) para o extrato em seu modelo quadrático, fermento no modelo linear e para os modelos de interação extrato/fermento e extrato/gordura. Os dados indicam que o extrato quadrático influencia negativamente a cor da crosta e o fermento linear influencia positivamente. Ou seja, um aumento linear do fermento químico na formulação do pão, favorece a cor da crosta. Da mesma forma, evidenciou-se um efeito sinérgico favorável entre extrato e fermento e extrato e gordura para a cor da crosta. O valor mais baixo (1,50) observado foi para a formulação que tinha níveis mais baixos de fermento (1%) e gordura (3%) e elevado de extrato (15%).

Após remover os fatores não significativos, foi realizado o cálculo da ANOVA para verificar a significância da regressão e da falta de ajuste do modelo. A análise de variância da regressão mostrou-se não significativa, pois o F calculado (1,33) foi menor que o F tabelado (3,68) e a análise de variância do resíduo mostrou uma falta de ajuste ($F_{cal.} = 42,25$; $F_{tab.} = 19,25$) do modelo aos dados experimentais. Observou-se ainda que a variação explicada foi baixa (63%), assim o modelo matemático para a variável cor da crosta não é preditivo e a superfície de resposta não pôde ser gerada.

O miolo dos pães analisados, no geral, apresentou predominância da cor branca e levemente amarelada. Tons mais escuros de amarelo e presença de porções não aeradas, como massa cozida, levaram os avaliadores a pontuarem negativamente (2,6, 3,0 e 5,3). Este resultado foi obtido nas formulações que houve adição de um baixo percentual de fermento, desta forma o volume de gás carbônico produzido durante o processo foi menor que o das formulações que usaram um maior percentual, isto justifica a baixa aeração e por consequência, a reduzida expansão da massa.

O efeito e interações calculadas para as variáveis cor do miolo e estrutura das células do miolo encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Efeito e interações calculadas para as variáveis cor do miolo e estrutura das células do miolo.

FATORES	Cor do miolo		Estrutura das células do miolo	
	Efeito estimado	Significância (p)	Efeito estimado	Significância (p)
(1) Extrato (L)	-1,48680	0,007108	-0,24179	0,183496
Extrato (Q)	0,06226	0,697473	-1,23031	0,011496
(2) Fermento (L)	2,90011	0,001883	3,58607	0,001135
Fermento (Q)	-1,79275	0,005933	-2,24677	0,003489
(3) Gordura (L)	-0,60893	0,040260	0,88314	0,018228
Gordura (Q)	-0,42147	0,093382	-1,33343	0,009812
1L x 2L	1,19741	0,018388	0,57639	0,067576
1L x 3L	0,34766	0,169144	1,43849	0,011844
2L x 3L	-0,66623	0,055997	-0,29861	0,199259

Legenda: Significância a 95% de confiança ($p < 0,05$). Fonte: Dados da pesquisa.

A análise estatística para a cor do miolo (Tabela 6) indicou que o fermento no modelo linear e a interação entre extrato e fermento influenciaram positivamente esta variável. Melhores pontuações foram alcançadas com a inclusão de percentuais acima de 1% de fermento nas formulações. A presença de fermento na formulação permite que a massa cresça durante o forneamento e assim, ao se expandir proporciona o aumento do volume do pão e diminuição da densidade do miolo. Estes fatores contribuíram para a percepção de tons mais claros no miolo, pois de acordo com Watanabe (2014) e Medeiros et al. (2018), pães com maior volume apresentam as células do miolo mais uniformes, refletindo melhor a luz e proporcionando uma maior luminosidade, o que torna o miolo mais claro.

Efeito negativo foi encontrado para os fatores extrato e gordura em seus modelos lineares, indicando que o aumento do percentual destes ingredientes na formulação, tendem a diminuir os escores por proporcionar tonalidades mais escuras ao miolo. Efeito negativo também foi observado para o fermento em seu modelo quadrático, evidenciando que em um determinado ponto da curva, o efeito favorável do fermento se inverte e passa a contribuir negativamente para as respostas da variável em estudo. Provavelmente, este fato aconteça devido ao excesso de fermento químico deixar resíduo de bicarbonato de sódio na massa que irá reagir com a gordura provocando o escurecimento do miolo (Resende, 2007; Aplevicz, Schmitz e Dias, 2014). Os demais fatores não apresentaram efeito significativo, por isso foram retirados do modelo para o cálculo da análise de variância da regressão e ajuste do modelo.

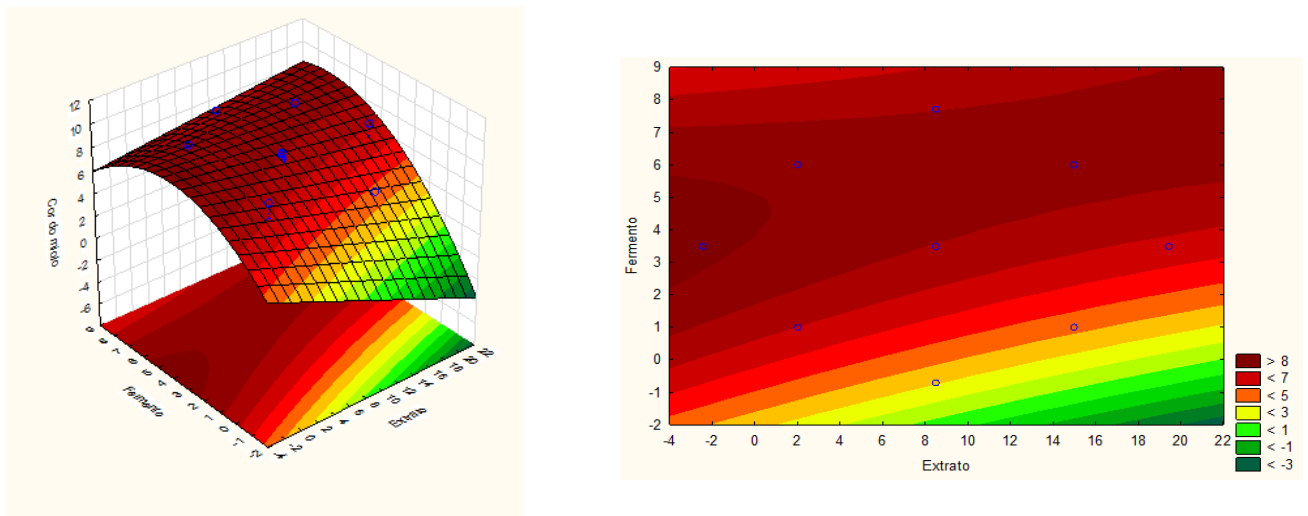
O teste F usado na análise de variância da regressão indica que o modelo matemático é preditivo, pois o F calculado (9,79) foi maior que o F tabelado (3,20) e a regressão explica 81,66% da variação dos resultados. Embora a análise de variância do resíduo tenha mostrado uma falta de ajuste ($F_{cal.} = 22,79$; $F_{tab.} = 19,38$), esta é considerada falsa por causa do baixo erro puro que gera um elevado F calculado. O modelo reduzido proposto para representar o efeito da quantidade de fermento e extrato para a cor do miolo do pão rápido, encontra-se descrita na Equação 1.

(Equação 1)

$$Y = 6,9920 - 0,2433 x_1 + 1,2249 x_2 - 0,1369 x_2^2 + 0,3684 x_1 \cdot x_2 - 0,6698$$

Onde: Y= cor do miolo, x_1 = extrato flavorizante (%) e x_2 = fermento químico (%).

Figura 2 - Superfícies de resposta (a) e curvas de contorno (b) sobre o efeito da quantidade de fermento e extrato para a cor do miolo do pão.



Fonte: Dados da pesquisa.

Nos gráficos do efeito da quantidade de fermento e extrato para a cor do miolo (Figura 2) podemos notar que os pães receberam melhores pontuações à medida que a concentração de fermento químico aumentou (regiões em vermelho), situando-se as melhores pontuações entre 2,0% e 6,0%. No entanto, percebe-se que um contínuo aumento da quantidade de fermento na formulação, provoca a diminuição das notas a partir de 7%, confirmando o efeito negativo em seu modelo quadrático, já discutido anteriormente. As superfícies de resposta e curvas de contorno mostram que o extrato flavorizante diminui as pontuações com o aumento da concentração nas formulações, possivelmente influenciado pelos constituintes dissolvidos no extrato, como carboidratos, proteínas e lipídios que participam de reações químicas durante o forneamento favorecendo o escurecimento do miolo. A reação de Maillard, embora aconteça de forma pronunciada na crosta, ocorre também no miolo, sendo influenciada por fatores como presença de açúcares redutores e proteínas, temperatura e pH. A velocidade da reação duplica a cada aumento de 10 °C a partir de 40 °C e é intensificada com o aumento da alcalinidade do meio, condição encontrada no pão em estudo (Fennema, 2010; Rodriguez et al., 2016; Francisquini et al., 2017).

Em relação a estrutura da célula do miolo, observamos pães com uma estrutura fechada e presença aleatória de buracos ao longo do miolo, indicando pontos de concentração de CO₂ na massa. Os dados presentes na Tabela 4 revelam que pontuações baixas foram dadas para esta variável quando baixas concentrações de fermento foram adicionadas ao produto e pontuações mais altas foram registradas para os pães com concentrações mais elevadas de fermento. Fato já esperado, pois o fermento químico é o fornecedor de gás carbônico responsável pela aeração da massa do pão. Maiores concentrações de CO₂ resultam em um maior número de células do miolo contribuindo para uma melhor aparência do pão.

A análise estatística do efeito estimado (Tabela 6) mostrou efeito favorável do fermento e gordura em seus modelos lineares e com o modelo de interação entre extrato e gordura para a variável estrutura da célula do miolo, já os fatores em seus modelos quadráticos apresentaram efeitos desfavoráveis para esta variável. Os demais fatores não foram significativos com 95% de confiança.

A avaliação do modelo quadrático do fermento químico em relação à estrutura das células do miolo, aponta que em uma determinada concentração, o fermento passa a comprometer o desenvolvimento da estrutura do miolo. Provavelmente, pela massa se tornar levemente alcalina devido aos constituintes do fermento químico que teria a ação de comprometer a formação de filmes finos e extensíveis pelo glúten, favoráveis a retenção de gases e expansão da massa. Sabe-se que os íons H⁺ tem a

capacidade de se dissociar no glúten tornando-o mais flexível e elástico, e assim, impedindo a ruptura da massa. Estes íons têm sua concentração aumentada pelos ácidos orgânicos produzidos durante a etapa da fermentação biológica no processo de fabricação do pão tradicional (Dubois, 1984; Machado, 1996; Escouto, 2000). É possível também que ocorra produção excessiva de gases proporcionando a desuniformidade das células do miolo e formação de bolhas maiores que coalescerão e por consequência, deixarão buracos no miolo do pão (Vilhalva et al., 2011; Ferreira, Lima, Zambelli e Afonso, 2020).

A gordura embora desempenhe benefícios importantes para a qualidade da formação das células do miolo, precisa estar na formulação em quantidades favoráveis para isto, pois em concentrações muito elevadas promovem a desestabilização da rede do glúten e influenciam diretamente na formação inadequada das células do miolo (Cauvain, 2003^a).

Os termos significativos foram submetidos ao cálculo da ANOVA para construção de um modelo preditivo para a variável estrutura da célula do miolo. Embora a variação explicada (81,99%) tenha sido razoável, a análise de variância da regressão (Fcal. = 3,54; Ftab. = 3,68) e do resíduo (Fcal. = 59,39; Ftab. = 19,30) mostraram que o modelo não se ajusta bem aos dados experimentais e por isso, não podemos construir um modelo matemático preditivo.

A Tabela 7 mostra a análise do efeito e interações dos fatores estudados para a variável textura, aroma e sabor. A análise estatística para a variável textura demonstrou que apenas o fermento no modelo linear desempenhou efeito positivo para a variável citada, indicando que concentrações mais elevadas melhoraram a textura do pão percebida entre os dedos após uma leve pressão ser exercida pelo avaliador. Pães com menos fermento apresentaram-se com miolo mais compactado e textura mais firme, fato devido ao aumento da densidade do miolo provocada pela baixa aeração (menos CO₂) e, por consequência, menor expansão da massa.

Tabela 7 – Efeito e interações calculadas para as variáveis textura, aroma e sabor.

FATORES	Textura		Aroma		Sabor	
	Efeito estimado	Significância (p)	Efeito estimado	Significância (p)	Efeito estimado	Significância (p)
(1) Extrato (L)	-0,06793	0,670924	-0,55449	0,005639	-0,67939	0,124839
Extrato (Q)	-1,20398	0,015511	-0,84288	0,002968	-2,02545	0,020201
(2) Fermento (L)	4,26770	0,001042	2,34847	0,000317	3,59137	0,005425
Fermento (Q)	-2,42253	0,003899	-1,50874	0,000929	-1,71903	0,027720
(3) Gordura (L)	-0,38887	0,106036	0,59627	0,004882	1,17310	0,047625
Gordura (Q)	-1,33183	0,012729	-1,10804	0,001721	-1,38021	0,042048
1L x 2L	0,67549	0,064307	0,87698	0,003858	1,31154	0,063418
1L x 3L	-0,15893	0,470622	1,13690	0,002301	1,53462	0,047517
2L x 3L	0,56239	0,089065	-1,23810	0,001941	-3,04231	0,012762

Legenda: Significância a 95% de confiança ($p < 0,05$). Fonte: Dados da pesquisa.

Os fatores extrato, fermento e gordura em seus modelos quadráticos apresentaram efeitos negativos e os demais não apresentaram efeitos significativos.

A análise de variância da regressão para a variável textura indicou que o modelo matemático não é preditivo, pois o F calculado (2,68) foi menor que o F tabelado (3,68), a falta de ajuste foi significativa (Fcal. = 73,49; Ftab. = 19,30) e o modelo proposto explicou apenas 77,48% dos dados observados, então, a superfície de resposta não foi gerada.

O aroma dos pães estudados, de uma maneira geral, foi bem aceito pelos avaliadores, pois estes, deram notas próximas a pontuação máxima (10). A nota mais baixa (1,5) foi dada ao pão que recebeu concentração elevada de extrato flavorizante de pão e concentrações baixas de fermento e gordura, indicando a pior correlação entre os três ingredientes. Um percentual baixo de gordura e fermento influenciou na diminuição da aeração da massa, resultando em pães mais densos. Isto pode ter deixado o extrato flavorizante mais perceptível e induzido a escores mais baixos, pois um aroma muito forte é considerado um atributo indesejável.

A análise estatística do efeito (Tabela 7) demonstrou que o fermento e a gordura em seus modelos lineares e as interações extrato/fermento e extra/gordura apresentaram efeito positivo para o aroma, enquanto extrato, fermento e gordura em seus modelos quadráticos e a interação fermento/gordura apresentaram efeito negativo. Mais uma vez a análise estatística mostra que estes ingredientes apresentam um limite de inclusão na formulação. Ingredientes em excesso descaracterizam o aroma do pão, que deve ser suave e característico para ser bem avaliado. O extrato linear não apresentou efeito significativo com 95% de confiança.

A análise de variância da regressão dos termos significativos para a variável aroma demonstrou que a variância explicada é baixa (69,43), que existe uma falta de correlação ($F_{cal.} = 1,77$; $F_{tab.} = 3,68$) entre as variáveis estudadas e uma falta de ajuste ($F_{cal.} = 534,27$; $F_{tab.} = 19,30$) ao modelo proposto. Assim, o modelo não se ajustou aos dados experimentais e não podemos gerar uma superfície de resposta.

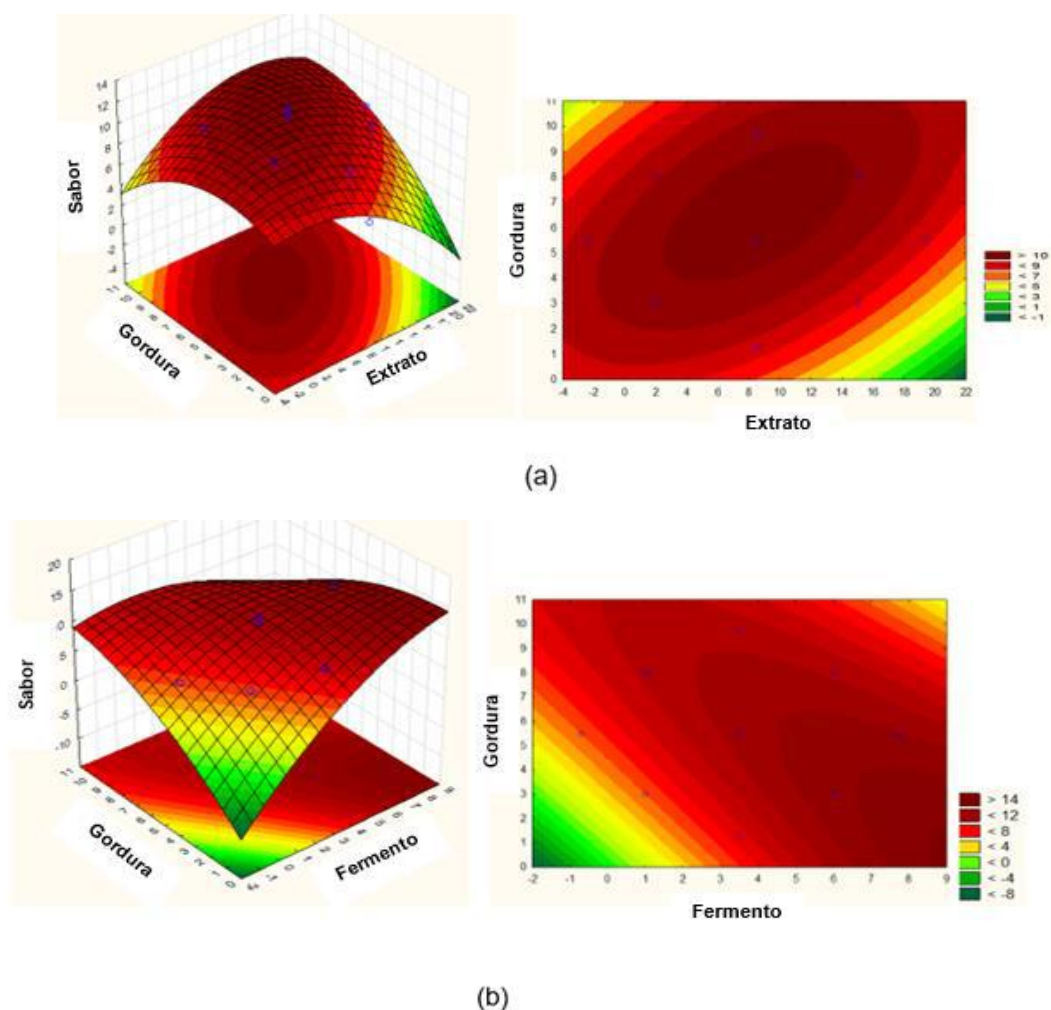
Os resultados do teste de avaliação da qualidade para o sabor demonstraram que a maioria dos pães recebeu pontuações acima da média de um total de 15 pontos, a menor pontuação (1,5) foi dada para a formulação que tinha os menores níveis de fermento e gordura e uma elevada concentração de extrato flavorizante de pão. Entretanto, a maior pontuação (12,0) recebida foi da formulação que continha o maior nível de fermento e níveis intermediários de extrato e gordura.

Ao final dos testes foi solicitado aos avaliadores suas impressões com relação aos pães avaliados e todos afirmaram que a maioria dos pães apresentou gosto característico de um pão comum. Este fato justifica que o extrato flavorizante de pão conseguiu alcançar o objetivo proposto, pois um pão sem fermentação biológica não apresenta sabor característico de pão.

A análise estatística (Tabela 7) do efeito dos fatores estudados em relação ao sabor, demonstrou que o extrato no modelo linear e o modelo de interação extrato/fermento não foram significantes ao nível estudado (5%). Efeito positivo foi encontrado para o fermento e gordura em seus modelos lineares e para o modelo de interação extrato/gordura, já os fatores quadráticos e o modelo de interação fermento/gordura apresentaram efeitos negativos para o sabor dos pães.

Os termos significativos foram usados para o cálculo da ANOVA da regressão gerando um teste de F significativo ($F_{cal.} = 6,30$; $F_{tab.} = 3,29$) com uma boa variação explicada (83,05%) e uma falta de ajuste não significativa ($F_{cal.} = 10,40$; $F_{tab.} = 19,35$). Estes fatores juntos indicam que o modelo matemático para a variável sabor é preditivo, assim foi possível gerar uma superfície de resposta e as curvas de contorno.

Figura 3 - Superfícies de resposta e curvas de contorno para a variável sabor em função da quantidade de gordura/ extrato (a) e de gordura/fermento (b).



Fonte: Dados da pesquisa.

A equação de Y em relação aos coeficientes de regressão estatisticamente significativos ($p < 0,05$), encontra-se descrita na Equação 2.

(Equação 2)

$$Y = -0,3351 - 0,0213 x_1^2 + 2,9824 x_2 - 0,1322 x_2^2 + 1,7719 x_3 - 0,1051 x_3^2 + 0,0554 x_1 x_3 - 0,2434 x_2 x_3 + 8,81886116$$

Onde: Y= sabor, x_1 = extrato flavorizante (%), x_2 = fermento químico (%) e x_3 = gordura (%).

As superfícies de resposta e as curvas de contorno da interação entre gordura e extrato (Figura 3a) demonstram que uma maior quantidade de extrato na formulação desfavorece o sabor dos pães e percentuais entre 3,0 e 8,0 de gordura proporcionam melhores respostas a um nível máximo de 10% de extrato flavorizante. Já a análise da interação entre a gordura e o fermento (Figura 3b) aponta um efeito antagônico entre os dois, pois a zona de melhores pontuações para o sabor são as de maiores percentuais em fermento e menores em gordura. Por sua vez, se usarmos quantidades menores de fermento, devemos aumentar

o percentual de gordura para que o pão seja bem avaliado em relação ao sabor. O efeito antagônico pode ser justificado pelo excesso de bicarbonato na massa oriundo de quantidades elevadas de fermento químico que ao reagir com a gordura proporcionará um sabor desagradável (Aplevicz, 2014; Nefasa, 2019).

Em relação ao volume específico, os resultados encontrados neste trabalho (Tabela 3) mostraram pães com pequeno volume, isto se refletiu nas características do miolo que se apresentou compactado e com textura mais firme, principalmente com o passar das horas após o forneamento. O resultado do volume específico pode ter influenciado também a expansão lateral dos pães (quebra) que foi muito pequena a quase nula. Estes pães apresentaram volumes que variaram de 3,56 cm³/g a 6,69 cm³/g, valores inferiores ao máximo de 20 pontos proposto por El-Dash (1978). O volume específico dos autores citados a seguir, já se encontram multiplicados por 3,33 para efeito de comparação. Autores como Velupillai, et al. (2010) que ao estudarem a otimização do preparo de pães com misturas de farinha de trigo e farinha de arroz maltada obtiveram um valor máximo de 17,68 cm³/g e Santos et al. (2018) que alcançaram um valor de 16,11 cm³/g em suas pesquisas com farinha integral enriquecida com subproduto do mamão. Porém, resultados similares aos do presente trabalho foram publicados por Clark (2016), com 6,76 cm³/g em pães elaborados com 50% de farinha de trigo, 50% de farinha de fruta pão e fermento químico na proporção de 15%. E por Aplevicz (2013) que apresentou uma variação no volume específico de 3,82 a 8,92 cm³/g ao verificar a influência do tempo de fermentação e da massa madre nas características do produto.

A Tabela 8 apresenta o resultado da análise do efeito e interações calculadas dos fatores estudados para as variáveis volume específico e escore total da qualidade. A análise estatística do efeito dos fatores estudados indica que apenas o fermento químico foi capaz de contribuir em seu modelo linear para uma ação favorável no volume específico dos pães, pois este ingrediente é responsável pela produção de CO₂ e expansão da massa.

Tabela 8 – Efeito e interações calculadas para as variáveis volume específico e escore total da qualidade do pão.

FATORES	Volume específico		Escore total da qualidade	
	Efeito estimado	Significância (p)	Efeito estimado	Significância (p)
(1) Extrato (L)	0,336424	0,084828	-1,1906	0,001628
Extrato (Q)	-0,716493	0,024938	-7,4644	0,000050
(2) Fermento (L)	1,791563	0,003402	21,5968	0,000005
Fermento (Q)	-0,857914	0,017592	-11,3853	0,000022
(3) Gordura (L)	-0,876807	0,013980	1,4211	0,001144
Gordura (Q)	-0,610427	0,033884	-7,9912	0,000044
1L x 2L	-0,270000	0,187314	6,3725	0,000097
1L x 3L	-0,710000	0,035221	5,0357	0,000156
2L x 3L	-0,240000	0,221656	-7,4775	0,000071

Legenda: Significância a 95% de confiança ($p < 0,05$). Fonte: Dados da pesquisa.

O extrato e o fermento em seus modelos quadráticos, a gordura no modelo quadrático e linear, assim como o modelo de interação entre extrato e gordura apresentaram efeito negativo. O modelo quadrático do extrato, fermento e gordura aponta que existe um percentual limite de inclusão na formulação destes ingredientes, onde acima deste limite, observa-se a diminuição do volume específico dos pães. Este evento pode ser explicado em decorrência do excesso dos ingredientes citados provocarem o enfraquecimento das características visco-elásticas do glúten devido a diluição da quantidade desta proteína na massa. Durante o forneamento haverá a elevação da pressão interna gerada pelo CO₂ e vapor de água que promoverá uma fissura na rede do

glúten, o escape dos gases e uma pequena expansão da massa, levando a produção de pães de pequeno volume (Zambelli, Mendonça, Carneiro e Rodrigues, 2017; Jaekel, Schimiele e Chang, 2021; Rosas-Sánchez, Hernández-Estrada, Suárez-Quiroz, González-Ríos e Rayas-Duarte, 2021). O extrato no modelo linear e o modelo das interações entre extrato e fermento e gordura não apresentaram efeitos significativos ($p > 0,05$).

Após remoção dos termos não significativos procedemos o cálculo da ANOVA da regressão para avaliação do modelo matemático. De acordo com a análise de variância foi possível inferir que o modelo é preditivo, pois o teste F da regressão foi significativo ($F_{cal.} = 5,58$; $F_{tab.} = 3,68$), não há falta de ajuste ao modelo proposto ($F_{cal.} = 10,39$; $F_{tab.} = 19,30$) e o coeficiente de explicação está próximo de 90%, assim foi possível gerar uma superfície de resposta e as curvas de contorno (Figura 4).

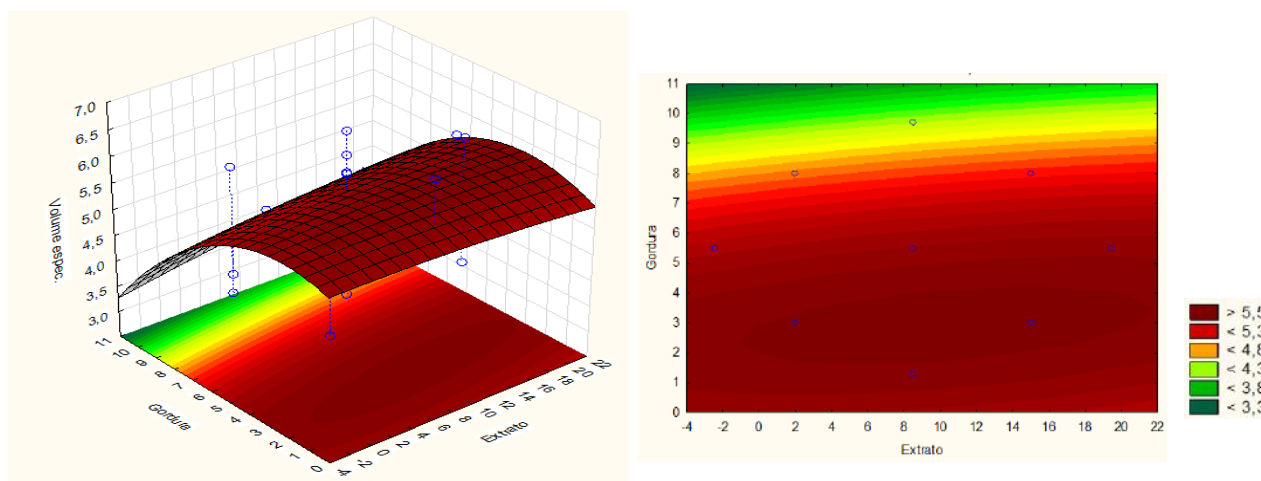
A equação de Y em relação aos coeficientes de regressão estatisticamente significativos ($p < 0,05$), encontra-se descrita na Equação 3.

(Equação 3)

$$Y = 3,7168 - 0,0004 x_1^2 + 0,7260 x_2 - 0,0525 x_2^2 + 0,1593 x_3 - 0,0327 x_3^2 + 0,0030 x_1x_3 + 1,8977$$

Onde: Y= Volume específico, x_1 = extrato flavorizante (%), x_2 = fermento químico (%) e x_3 = gordura (%).

Figura 4 - Superfícies de resposta e curvas de contorno para o volume específico em função da quantidade de gordura e extrato.



Fonte: Dados da pesquisa.

As superfícies de resposta e curvas de contorno da interação entre extrato e gordura demonstram que existe uma zona de otimização. Para obtenção das melhores respostas deve-se incluir na formulação um percentual entre 1,5 e 3,5 de gordura e entre 0,0 e 22,0 de extrato, ou seja, o volume específico é favorecido com baixos níveis de gordura em combinação com qualquer quantidade de extrato, entre os parâmetros utilizados no estudo. A gordura produz um efeito importante para o crescimento e sabor do pão, pois melhora a retenção de gases na massa por envolver as bolhas de ar durante a mistura (Cauvain, 2003b; Shahidi, 2005; Manzocco, Calligaris, Pieve, Marzona e Nicoli, 2012), também apresentam ação lubrificante favorecendo a expansão da massa durante a fermentação e forneamento, e em consequência, proporcionam o aumento do volume do pão (Pareyt, Finnie, Putseys e Delcour, 2011; Kaur, Jassal, Thnd e Aggarwal, 2012). Porém, existe um limite para a inclusão de gordura na formulação, sendo a quantidade dependente do tipo de farinha, gordura e do propósito do produto a ser fabricado. De acordo com Maragoni (2014) o volume máximo de um pão é obtido com aproximadamente 6,0% de gordura em relação a farinha, sendo aplicado no Brasil para pães de forma, um teor de gordura na faixa de 3,0 a 5,0%.

O escore total e a classificação da qualidade dos pães encontram-se na Tabela 9. Após a análise em separado de cada atributo avaliado nos testes de qualidade, observamos o desempenho dos pães através do escore total de qualidade, feito pelo somatório de todas as pontuações atribuídas em relação às características externas, internas, volume específico, aroma e sabor dos pães, sendo o valor máximo de 100 pontos.

Observamos que 52,94% das formulações testadas geraram pães com qualidade regular, 41,18% com qualidade ruim e 5,88% com qualidade muito ruim de acordo com a classificação da qualidade do pão proposto por Dutcoski (1996).

Tabela 9 – Classificação da qualidade dos pães a partir da média do escore total das características externas, internas, aroma e sabor obtidos nos testes de avaliação da qualidade tecnológica.

Ensaio	E (%)	F (%)	G (%)	Escore total	Classificação da qualidade
12	8,5	7,7	5,5	73,01 ^a ± 1,11	Regular
17	8,5	3,5	5,5	68,01 ^b ± 0,81	Regular
15	8,5	3,5	5,5	67,97 ^b ± 1,18	Regular
16	8,5	3,5	5,5	67,84 ^c ± 1,04	Regular
7	15	6	3	67,42 ^d ± 1,29	Regular
10	19,4	3,5	5,5	63,93 ^e ± 0,71	Regular
13	8,5	3,5	1,3	65,39 ^f ± 1,04	Regular
4	2	6	8	64,97 ^g ± 1,01	Regular
3	2	6	3	61,48 ^h ± 1,68	Regular
8	15	6	8	60,10 ⁱ ± 0,78	Regular
14	8,5	3,5	9,7	57,93 ^j ± 0,66	Ruim
9	1	3,5	5,5	57,88 ^k ± 0,69	Ruim
6	15	1	8	48,36 ^l ± 0,81	Ruim
1	2	1	3	47,53 ^m ± 1,27	Ruim
2	2	1	8	45,09 ⁿ ± 1,82	Ruim
11	8,5	1	5,5	40,71 ^o ± 0,99	Ruim
5	15	1	3	19,84 ^p ± 0,83	Muito ruim

Legenda: E – extrato flavorizante de pão; F – fermento químico; G – gordura vegetal hidrogenada. * Médias com letras iguais na vertical não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de Tukey. Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado menos satisfatório foi encontrado no presente trabalho na formulação 5 (19,84 pontos) e a melhor formulação foi a de número 12 com 73,01 pontos. Geralmente, os pães elaborados com farinha de trigo e leveduras apresentam escores que os classificam como de boa qualidade (entre 81 e 100 pontos).

Por exemplo, autores como Fonseca Filho, Araújo, Falciorilli, Pilla e Marques, (1997), Tedrus et al. (2001), Couto (2007) e Hartmann, Both, Gottmannshausen, Luft e Gutikosk, (2015) ao estudarem a qualidade tecnológica de pães com a inclusão de farinhas mistas obtiveram escores para os pães controle, feitos só com farinha de trigo, de 92,10; 84,7; 89,39 e 96,00, respectivamente. Por sua vez, o escore total dos pães destes autores que tiveram substituição parcial ou total da farinha de trigo por outras fontes, mesmo usando fermento biológico, indicou pães de qualidade regular a ruim.

A análise do efeito do escore total da qualidade (Tabela 8) demonstrou que o fermento químico foi o fator que mais influenciou de forma positiva o desempenho dos pães, seguido da gordura e das interações extrato/fermento e extrato/gordura, todos de forma linear. Os demais fatores analisados apresentaram efeitos negativos, mostrando que no geral, para os percentuais aplicados na formulação, estes fatores não contribuíram para um bom resultado.

Para verificar se o modelo matemático é preditivo, procedemos o cálculo da análise de variância da regressão de todos os termos significativos, porém o teste F da regressão ($F_{cal.} = 2,32$; $F_{tab.} = 3,68$) mostrou correlação não significativa e baixa explicação do modelo proposto (78,76%), demonstrando que o modelo matemático não é preditivo, assim a superfície de resposta não pode ser gerada.

O escore total da qualidade foi usado como parâmetro decisório na escolha da melhor formulação para o pão de forma (Figura 5). Assim, a formulação 12 que usou 8,5% de extrato flavorizante de pão, 7,7% de fermento químico e 5,5% de gordura vegetal hidrogenada foi a escolhida, pois obteve 73,01% de pontuação máxima de qualidade, superior as demais formulações. E foi usada para a caracterização do produto a partir das análises físico-químicas, sensoriais e de voláteis.

Figura 5 – Pães de forma desenvolvidos para a avaliação tecnológica.



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

3.2 Análises físico-químicas

Os pães caracterizados neste estudo apresentaram uma composição em carboidratos ($54,83\% \pm 0,179$), proteínas ($7,43\% \pm 0,124$) e lipídios ($3,30\% \pm 0,010$) similar aos pães convencionais comercializados por marcas consolidadas no mercado nacional. Uma pesquisa feita com 5 marcas revelou uma variação no teor de carboidratos de 46,0 a 58,0%, de proteínas 7,4 a 10,6% e de lipídios 1,8 a 4,4%.

O teor de umidade ($30,61\% \pm 0,012$) dos pães em estudo situou-se dentro dos valores reportados na literatura, 12,61 a 35,43% (Brasil, 2006; Moura, 2008; Silva, Paucar-Menacho, Vicente, Salles e Steel, 2009; Taco, 2011; Borges, Vidigal, Silva, Pirozi e Paula, 2013; Arimatéa, Pagani e Carvalho, 2016). No entanto, o teor de cinzas ($3,82\% \pm 0,009$) foi mais elevado que o encontrado por estes mesmos autores em seus estudos, com variação de 1,57 a 2,89%. Este resultado pode ser atribuído ao fermento químico adicionado na formulação, que é fonte de sais como bicarbonato de sódio (NaHCO_3), fosfato monocalcico ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) e carbonato de cálcio (CaCO_3), substâncias com poder de elevar o teor de cinzas totais do produto.

O fermento químico também proporcionou o aumento do pH da massa (7,79) tornando o pão um alimento de baixa acidez (pH acima de 4,5) e um produto de mais fácil deterioração, pois a maioria dos micro-organismos deterioradores se multiplicam em alimentos com pH próximo a neutralidade (Franco e Landgraf, 2008). Pães convencionais costumam apresentar pH na faixa de 4,7 a 5,4, devido a produção de ácidos orgânicos oriundos da fermentação biológica desenvolvida pelas leveduras *Saccharomyces cerevisiae*.

3.3 Análise sensorial

A aceitação dos pães de formulação 12 foi avaliada usando a escala de atitude desenvolvida por Shultz (1964) com base na combinação de afirmações de atitude e frequência de consumo do produto. A resposta de cada avaliador foi transformada em escores de acordo com o Quadro 2 e depois foi calculada a média de cada classificação de atitude.

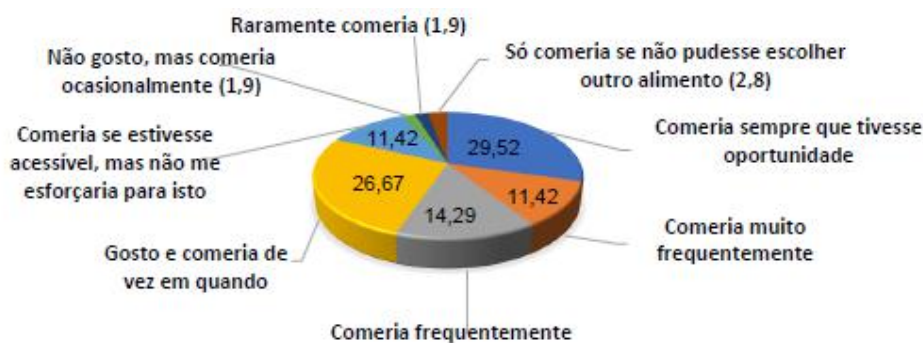
O teste sensorial aplicado demonstrou que o produto deste estudo teve uma boa aceitação, pois a média dos escores foi aproximadamente 7, indicando que os avaliadores demonstraram a atitude de consumo “comeria frequentemente”.

A atitude “comeria sempre que tivesse oportunidade” recebeu o maior número de respostas, sendo 71% dos avaliadores do sexo masculino (Figura 6).

O segundo maior percentual ficou com a atitude “gosto e comeria de vez em quando”, apresentando uma pequena diferença nas respostas em relação ao gênero dos avaliadores, sendo 57,14% para o sexo masculino e 42,86% para o sexo feminino. Porém, ao observar a média dos escores em relação ao gênero, verificou-se que houve uma semelhança na aceitação do produto, indicando que tanto homens como mulheres apresentaram atitudes de consumo entre “gosto e comeria de vez em quando” e “comeria frequentemente”.

Os pães apresentaram uma boa aceitação nas diferentes faixas etárias, variando a atitude de consumo entre “gosto e comeria de vez em quando” e “comeria muito frequentemente”. Mais da metade dos participantes (60,96%) tinha entre 20 e 40 anos e a menor parcela foi de avaliadores com idade entre 18 e 19 anos e acima de 60 anos, 4,76% e 3,8%, respectivamente. Os resultados indicaram ainda que os avaliadores acima de 60 anos mostraram uma aceitação ao produto maior que as demais faixas etárias.

Figura 6 – Número percentual de respostas por classe de atitude.



Fonte: Dados da pesquisa.

A boa aceitação dos pães avaliados refletiu nas respostas sobre a intenção de compra destes, pois a pontuação média foi 4, apontando para uma provável compra do produto se disponível no mercado.

O estudo da frequência de consumo de pães convencionais pelos avaliadores demonstrou uma elevada frequência de consumo, pois a média foi 4, indicando que comem pelo menos 4 vezes por semana. O hábito de consumo elevado de pães pode ter contribuído para respostas mais favoráveis ao produto em estudo, uma vez que eram amostras familiares aos avaliadores.

3.4 Identificação dos voláteis

A Tabela 10 apresenta a média e desvio padrão dos compostos voláteis identificados no pão produzido com a formulação número 12.

Tabela 10 – Média e desvio padrão dos compostos voláteis identificados no pão.

Pico	Compostos voláteis ^a	IKlit. ^b	IKcal. ^c	Área total dos picos (x10 ⁴) ^d	%(área) ^e
1	Etanol	459	<729	23,22±10,83	0,64±0,30
2	3-Metil-1-butanol	729	729	0,86±0,38	0,02±0,01
3	Hexanal	798	798	6,41±0,90	0,17±0,02
4	2-furilmetanol	867	867	3,87±2,12	0,10±0,05
5	1-Hexanol	880	882	2,10±0,55	0,06±0,01
6	Heptanal	912	913	1,58±0,42	0,04±0,01
7	Benzaldeído	966	966	1,84±0,76	0,05±0,02
8	1-Heptanol	978	977	5,67±3,90	0,16±0,10
9	2-Octanone	992	992	3,85±2,47	0,10±0,07
10	2-Octanol	1004	1004	3523,44±958,72	97,53±26,53
11	2-Etil-1-hexanol	1030	1030	14,17±1,01	0,39±0,02
12	2-Nonanone	1088	1088	5,28±0,91	0,14±0,02
13	Nonanal	1100	1100	16,77±4,58	0,46±0,12
14	Hidroxitolueno butilado	1534	1536	3,33±1,92	0,15±0,09

Legenda: a - Compostos identificados por espectros de massa (MS) utilizando o banco de dados NIST, comparação do índice de retenção e espectro de massa; b - Índice de Kovats obtido de bases de dados online (NIST Chemistry Webbook, SRD 69); c - Índice de Kovats calculado usando uma série de n-alcenos (C6 a C20) como referência; d - Área relativa de cada composto volátil (Counts*104); e - Média percentual da área relativa por composto identificado, calculado com base na área total dos picos do cromatograma. Fonte: Dados da pesquisa.

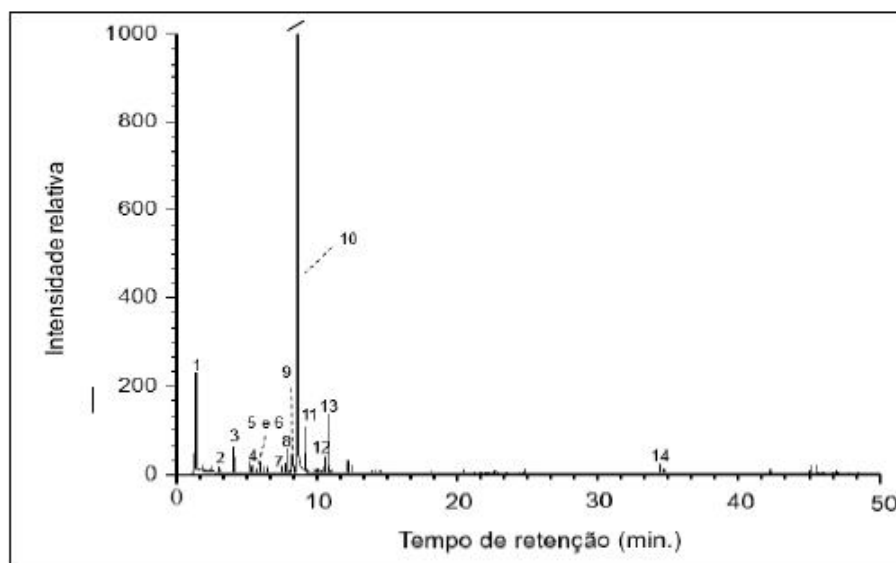
Entre os 46 compostos detectados pelo espectrômetro de massa, apenas 14 compostos puderam ser identificados. Destes 14 compostos, 2 não fazem parte do perfil aromático do pão, o 2-Octanol e o Hidroxitolueno butilado (BHT). O primeiro é o padrão interno usado na corrida cromatográfica e o segundo é um antioxidante usado em produtos industrializados ricos em gordura, como na gordura vegetal usada na fabricação dos pães desse estudo.

Uma comparação do perfil de voláteis entre diferentes pães é uma tarefa difícil, pois variam em decorrência de inúmeros fatores, desde a fabricação do pão até as condições experimentais e instrumentais da análise (Bianchi, Careri, Chiavaro, Musci e Vittadini, 2008). Porém, existem compostos voláteis que se destacam e encontram-se presentes na maioria dos pães analisados por cromatografia gasosa.

Pesquisas como as de Quílez, Ruiz e Romero (2006); Birch, Petersen, Arneborg e Hansen (2013); Dall'asta et al. (2013); Raffo, Carcea, Castagna e Magrì (2015); Giannone et al. (2018); Chai et al. (2019) e Galoburda, Straumite, Sabovics e Kruma (2020), mostram o perfil de voláteis que compõem o aroma de pães dos mais variados tipos com os mesmos compostos encontrados e identificados neste trabalho, comprovando o efeito positivo do extrato flavorizante de pão usado na formulação do pão em estudo.

A Figura 7 mostra o perfil cromatográfico dos compostos voláteis do pão, obtidos por Cromatografia gasosa e espectrometria de Massa.

Figura 7 – Cromatograma dos compostos voláteis do pão de formulação 12 obtido por CG/EM.



Fonte: Dados da pesquisa. Numeração de acordo com a Tabela 10.

A análise do perfil de voláteis do pão rápido demonstrou, em relação à classe química, que o maior percentual encontrado foi de álcoois, seguido de aldeídos, cetonas e furano. O etanol se destaca com um percentual mais elevado entre os álcoois identificados, sendo originado na fermentação alcoólica. Porém, o álcool 3-metil-butanol é reconhecidamente um composto com correlação positiva para o aroma final de pão. Este álcool é gerado a partir de fermentações secundárias conhecida como Via de *Ehrlich*, através do metabolismo dos aminoácidos. O benzaldeído é gerado a partir da degradação metabólica ou térmica da fenilalanina e o hexanal da oxidação lipídica, assim como o heptanal, nonanal e o 1-hexanol. Os demais compostos identificados são decorrentes de fermentações secundárias e processos oxidativos (Frasse, Lambert, Richard-Molard e Chiron, 1993; Grosch e Schieberle, 1997; Pozo-Bayón, Guichard e Cayot, 2006; Quílez et al., 2006; Poinot et al., 2009; Pétel, Onno e Prost, 2017; Pico, Martínez, Bernal e Gómez, 2017).

Furanos são compostos heterocíclicos formados da interação com aldeídos, cetonas, ésteres, álcoois, entre outros e estão presentes em diversos produtos alimentícios que passaram por processamento térmico (Crews e Castle, 2007; De Maria, Moreira e Trugo, 1999). De acordo com Almeida (2011) e Chai et al. (2019), 2-furilmetanol (Álcool furfurílico) pode surgir por degradação térmica encontrada em reações não enzimáticas como Maillard e caramelização, onde pode haver o incremento deste composto de acordo com o tipo de açúcar usado na formulação do produto. A presença do 2-furilmetanol no pão em estudo pode não ser somente pelas reações térmicas desenvolvidas durante o forneamento, mas também pelo uso do xarope à base de glicose e açúcar invertido usado como fonte de açúcar na formulação, pois este xarope é fonte de produtos da reação de caramelização que inclui os furanos (Pons, Garrault, Jaubert, Morel e Fenyó, 1991; Yaylayan e Kaminsky, 1998; Fadel e Farouk, 2002; Kitts, Wu, Kopec e Nagasawa, 2006; Porte, Rezende e Antunes, 2007).

4. Conclusão

Foi possível reduzir o tempo de produção do pão de forma para aproximadamente 1 hora com o uso do fermento químico, sem impactar na qualidade físico-química e sensorial do produto, pois, o mesmo, foi aceito com escore médio 7 que indica uma atitude de consumo frequente. Os atributos cor da crosta, característica interna da crosta, cor do miolo, estrutura das células do miolo, textura, aroma e sabor contribuíram para a boa resposta sensorial dos pães avaliados.

O extrato flavorizante de pão usado na formulação mostrou-se promissor como aditivo para pães ou produtos correlatos que não passam por fermentação biológica, pois foram identificados no produto, voláteis responsáveis pelo sabor e aroma de pão.

Estudos futuros são sugeridos para avaliar a estabilidade do pão e assim, verificar o tempo que este produto é capaz de permanecer em temperatura ambiente sem apresentar alterações microbiológicas e sensoriais.

Referências

- American Association of Cereal Chemists – A. A. C. C. (1995). *Approved methods of American Association of Cereal Chemists*. 9 ed., St. Paul.
- American Association of Cereal Chemists – A. A. C. C. (2000). *Approved methods of American Association of Cereal Chemists*. 10 ed., St. Paul.
- Almeida, E. B. (2015). *Efeito da sova nas características e aceitabilidade do pão de forma* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.
- Almeida, P. G. (2011). *Corante caramelo utilizado em refrigerantes: caracterização físico-química e compostos voláteis* (Dissertação de Mestrado). Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, Brasil.
- Arcanjo, S. R. S. (2005). *Efeito da adição do suco de uva (Vitis labrusca L.) var. Isabel nas características reológicas da massa e na retenção da vitamina C no pão* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.
- Arimatéia, C. C.; Pagani, A. A. C.; Carvalho, M. S. (2016). Elaboração e composição química de pão de forma enriquecido com resíduos agroindustriais de frutas. *Higiene Alimentar*, 30(260/261), 100-104.
- Aplevicz, K. S.; Oligari, P. J.; Sant'anna, E. S. (2013). Influence of fermentation time on characteristics of sourdough bread. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49(2), 233-239.
- Aplevicz, K. S.; Schmitz, F. Z.; Dias, L. F. (2014). Aplicação de agentes químicos de crescimento em bolo de chocolate. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, 12(1), 338-345.
- Bianchi, F.; Careri, M.; Chiavaro, E.; Musci, M.; Vittadini, E. (2008). Gas chromatographic–mass spectrometric characterisation of the Italian Protected Designation of Origin “Altamura” bread volatile profile. *Food Chemistry*, 110, 787–793. <http://www.elsevier.com/locate/foodchem>
- Birch, A. N.; Petersen, M. A.; Arneborg, N.; Hansen, A. S. (2013). Influence of commercial baker's yeasts on bread aroma profiles. *Food Research International*, 52, 160–166. <http://www.elsevier.com/locate/foodres>
- Borges, J. T. S.; Vidigal, J. G.; Silva, N. A. S.; Pirozi, M. R.; Paula, C. D. (2013). Caracterização físico-química e sensorial de pão de forma contendo farinha mista de trigo e quinoa. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 15(3), 305-319.
- Brasil, J. A. *Efeito da adição de inulina sobre os parâmetros nutricionais, físicos e sensoriais do pão* (2006). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.
- Brasil. *Resolução de Diretoria Colegiada ANVISA/MS nº 263, de 22 de setembro de 2005*. (2005). Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 set. 2005. Seção 1.
- Brasil. *Resolução nº 466 do Conselho Nacional de Saúde, de 12 de dezembro de 2012*. (2012). Aprova as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Diário Oficial da União. Seção 1, 59.
- Cauvain, P. (2003^a). *Bread making: Improving quality*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Cauvain, S. P. (2003^b). Methods of manufacture. In (eds B. Caballero, L. Trogo and P. M. Finglas). *Encyclopaedia of Food Science and Nutrition*. Academic Press: St. Louis, MO.
- Chai, D., Chongwei, L., Zhang, X., Jingfeng, Y., Xianbing, X., Ming. ... Liang, D. (2019). Analisis of volatile compounds from wheat flour in the heating process. *International Journal of Food Engineering*, 15(10), 13. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/336728224>
- Clark, E. (2016). *Evaluation of quality parameters in gluten-free bread formulated with breadfruit (Artocarpus altilis) flour* (Tese), Universidade Estadual do Kansas, Estados Unidos.
- Couto, E. M. (2007). *Utilização da farinha de casca de pequi (Caryocar brasiliense Camb.) na elaboração de pão de forma* (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil.
- Crews, C. & Castle, L. A. (2007). Review of occurrence, formation and analysis of furan in heat-processed foods. *Trends in Food Science & Technology*, 18, 365-372.
- Dall'asta, C., Cirlini, M., Morini, E., Rinaldi, M., Ganino, T. & Chiavaro, (2013). E. Effect of chestnut flour supplementation on physico-chemical properties and volatiles in bread making. *Food Science and Technology*, 53, 233-239.
- De Maria, C. A. B., Moreira, R. F. A. & Trugo, L. C. (1999). Componentes voláteis do café torrado. Parte I: Compostos heterocíclicos. *Química Nova*, 22(2), 209-217.

- Dubois, D. (1984). What is fermentation? It's essential to bread quality. *Baker's Dig.* 10, 11-4.
- Dutcosky, S. D. (1996). *Análise Sensorial de Alimentos*. Curitiba: Champagnat.
- El-Dash, A. A. (1978). Standardized mixing and fermentation procedure for experimental baking test. *Cereal Chemistry*, 55(4), 436-446.
- El-Dash, A. A., Camargo, C. O. & Diaz, N. M. (1982). *Fundamentos da tecnologia de panificação*. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo.
- El-Dash, A. A., Campos, J. E. & Germani, R. (1994). *Tecnologia de farinhas mistas: uso de farinha mista de trigo e sorgo na produção de pães*. Brasília: Embrapa.
- Escouto, L. F. S. (2000). *Desenvolvimento de produto panificável à base de produtos de mandioca visando os hipersensíveis ao glúten* (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, Brasil.
- Fadel, H. H. M. & Farouk, A. (2002). Caramelization of maltose solution in presence of alanine. *Amino Acids*, 22, 199 – 213.
- Faria, J. D. (2003). Influência da farinha de trigo em pães industrializados. In: Reunião da Comissão Centro-Sul Brasileira de Pesquisa de Trigo, 18., Reunião Brasileira de Pesquisa de Triticale, 9., Seminário Técnico do Trigo, 4., Guarapuava. *Palestras, resumos e atas...* Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária.
- Federation of Bakers. *History of Bread – 20th century*. <https://www.fob.uk.com/about-the-bread-industry/history-of-bread-antiquity/history-bread-20th-century/>
- Fennema, O. R., Srinivasan, D. & Kirk, L. P. (2010). *Química de Alimentos de Fennema*. Porto Alegre, RS: Artmed.
- Ferreira, C. M., Lima, S. B., Zambelli, R. A. & Afonso, M. R. A. (2020). Efeito da farinha mista de subprodutos vegetais em pães tipo forma. *Brazilian Journal of Development*, 6(2), 8710-8724.
- Fonseca Filho, A. A., Araújo, W. M. C., Falcirulli, D. M., Pilla, N. & Marques, A. O. (1997). Avaliação da qualidade tecnológica de pães enriquecidos com farelo de trigo. *Alimentos e Nutrição*, 8, 17 – 25. <http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/view/748/637>
- Franco, B. D. G. M. & Landgraf, M. (2008). *Microbiologia dos alimentos*. São Paulo, SP: Atheneu.
- Francisquini, J. A., Martins, E., Silva, P. H. F., Schuck, P., Perrone, I. T. & Carvalho, A. F. (2017). Reação de Maillard: uma revisão. *Revista Laticínios Instituto Cândido Tostes*, 72(1), 48-47.
- Frasse, P., Lambert, S., Richard-Molard, D. & Chiron, H. (1993). The influence of fermentation on volatile compounds in french bread dough. *LebensmWiss u Technol.*, 26(2), 126–32.
- Galoburda, R., Straumite, E., Sabovics, M. & Kruma, Z. (2020). Dynamics of Volatile Compounds in Triticale Bread with Sourdough: From Flour to Bread. *Foods*, 9(12), 1-17.
- Giannone, V., Giarnetti, M., Spina, A., Todaro, A., Pecorino, B., Summo ... Pasqualone, A. (2018). Physico-chemical properties and sensory profile of durum wheat Dittaino PDO (Protected Designation of Origin) bread and quality of re-milled semolina used for its production. *Food Chemistry*, 241, 242-249.
- Grosch, W. & Schieberle, P. (1997). Flavor of cereal products. A review. *Cereal Chemistry*, 74(2), 91-97.
- Hartmann, V., Both, J., Gottmannshausen, T. L., Luft, N. & Gutikosc, L. C. (2015). Características tecnológicas de pão de forma elaborado com redução de cloreto de sódio. In *Anais 5º Simpósio de Segurança Alimentar: Alimentação e Saúde*, Bento Gonçalves, RS.
- Instituto Adolfo Lutz (1985). *Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos físicos e químicos para análise de alimentos*. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz.
- Jaekel, L. Z., Schmiele, M. & Chang, Y. K. (2021). Impactos do amido resistente e da enzima transglutaminase nas características tecnológicas de espaguete. *Research, Society and Development*, 9(8), 1-28. <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/6219>
- Jensen, S., Oestdal, H., Skibsted, L. H., Larsen, E. & Thybo, A. K. (2011). Chemical changes in wheat pan bread during storage and how it affects the sensory perception of aroma, flavour, and taste. *Journal of Cereal Science*, 53, 259-268.
- Kajishima, S., Pumar, M. & Germani, R. (2003). Efeito da adição de diferentes sais de cálcio nas características da massa e na elaboração de pão francês. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, 23(2), 222-225.
- Kaur, A., Jassal, V., Thnd, S. S. & Aggarwal, P. (2012). Rice bran oil an alternative bakery shortening. *Journal Food Science and Technology*, 49(1), 110-114.
- Kitts, D. D., Wu, C. H., Kopec, A & Nagasawa, T. (2006). Chemistry and genotoxicity of caramelized sucrose. *Molecular Nutrition & Food Research*, 50, 1180 – 1190.
- Kovats, E. (1965). The retention index system. In: J.C. Giddings and R.A. Keller (Orgs) *Advances in chromatography*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Lemos, S. E. (2002). *Efeito da adição de amido de batata nas propriedades reológicas da massa de trigo e na formação de amido resistente* (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.
- Manzocco, L., Calligaris, S., Pieve, S., Marzona, S. & Nicoli, M. C. (2012). Effect of monoglyceride-oil-water gels on white bread properties. *Food Research International*, 49(2), 778-782. [http:// dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.011](http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.011)
- Maragoni, A. L. (2014). *Pão de forma "zero trans": estudo do efeito de diferentes óleos e gorduras na qualidade tecnológica dos pães* (Tese), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

- Medeiros, A. M., Galvão, T., Araújo, A. W. O., Carneiro, S. V., Zambelli, R. A. & Bastos, M. S. R. (2018). Coating development with modified starch and tomato powder for application in frozen dough. *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 194-203. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1092153/1/ART18023.pdf>
- Minim, V. P. R. (2018). *Análise sensorial: estudos com consumidores*. Viçosa, MG:UFV.
- Moura, N. C. (2008). *Características físico-químicas, nutricionais e sensoriais de pão de forma com adição de grãos de linhaça (Linum usitatissimum)*, (Dissertação de Mestrado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brasil.
- Nefasa, A. N., Christwardana, M., Hadiyanto, H., Nurwantoro, N. & Mulyani, S. (2019). Effect of baking soda addition on the characteristic of ice cream from cow's milk. *Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 20, 151-155.
- Pareyt, B., Finnie, S. M., Putseys, J. A. & Delcour, J. A. (2011). Lipids in bread making: sources, interactions and impact on bread quality. *Journal of Cereal Science*, 54(3), 266 – 279.
- Pétel, C., Onno, B. & Prost, C. (2017). Sourdough volatile compounds and their contribution to bread: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 59, 105–123.
- Pico, J., Martínez, M. M, Bernal, J. & GÓMEZ, M. (2017). Evolution of volatile compounds in gluten-free bread: From dough to crumb. *Food Chemistry*, 227, 179–186.
- Poinot, P., Arvisenet, G., GRUA-PRIOL, J., Fillonneau, C., Mezaize, S. & De Lamballerie, M. (2009). Advances in the understanding of the chemical reactions responsible for bread flavour quality. *Czech J Food Sci*, 27, 54–57.
- Pons, I., Garrault, C., Jaubert, J. N, Morel, J. & Fenyo, J. C. (1991). Analysis of aromatic caramel. *Food Chemistry*, 39, 311 – 320.
- Porte, A., Rezende, C. M. & Antunes, O. A. C. (2007). Produção de voláteis via sistema modelo de Maillard usando glucose e I-aminoácidos sob diferentes condições de pH. *Revista Universidade Rural. Série Ciências Exatas e da Terra*, 26, 12 – 32.
- Pozo-Bayón, M. A., Guichard, E. & CAYOT, N. (2006). Flavor control in baked cereal products. *Food reviews internacional*, 22(4), 335 – 379.
- Quilez, J., Ruiz, J. A. & Romero, M. P. (2006). Relationship between sensory flavour evaluation and volatile and non-volatile compounds in commercial wheat type baguette. *J. Food Sci.* 71, 423–427
- Raffo, A., Carcea, M., Castagna, C & Magri, A. (2015). Improvement of a headspace solid-phase microextraction - gas chromatography/mass spectrometry method for the analysis of wheat bread volatile compounds. *Journal of Chromatography A*, 1406, 266–278.
- Ranhotra, G. S., Gelroth, J. A. & Leinen, S. D. (2000). Utilization of calcium in breads highly fortified with calcium, as calcium carbonate or as dairy calcium. *Cer Chem.*, 77(3), 293-296.
- Resende, G. C. (2007). *Formulação e avaliação de fermentos químicos para pré-mistura de bolo* (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil.
- Ribeiro, M. N. (2009). *Influência do tempo de condicionamento do trigo na qualidade tecnológica da farinha* (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.
- Rodriguez, A., Cuffia, F., Piagentini, A. M., Lema, P., Panizzolo, L. A. & Rozycki, S. D. (2016). Study of the browning and gelation kinetics in a concentrated sheep milk and sucrose system. *International Journal of Dairy Technology*, 69, 1-7.
- Rosas-Sánchez, G. A., Hernández-Estrada, Z. J., Suárez-Quiroz, M. L., González-Ríos, O. & Rayas-Duarte, P. (2021). Coffee Cherry Pulp by-Product as a Potential Fiber Source for Bread Production: A Fundamental and Empirical Rheological Approach. *Foods*, 10, 1-12. <https://www.ncbi.nlm.nih.ez11.periodicos.capes.gov.br/pmc/articles/PMC8066052/pdf/foods-10-00742.pdf>
- Ruiz, J. A., Quilez, J., Mestres, M. & Guasch, J. (2003). Solid-phase microextraction method for headspace analysis of volatile compounds in bread crumb. *Cereal Chem.*, 80(3), 255 – 259.
- Santos, C. M., Rocha, D. A. R., Madeira, R. A. V., Queiroz, E. R., Mendonça, M. M. ... ABREU, C. M. P. (2018). Preparação, caracterização e análise sensorial de pão integral enriquecido com farinha de subprodutos do mamão. *Brazilian Journal of Food Technology*. 21,1-9.
- Schutz, H. G. (1964). A Food Action Rating Scale for Measuring Food Acceptance. In Anais Annual Meeting of The Institute of Food Technologists, Washington, D. C.
- Shahidi, F. (2005). *Bailey's industrial oil and fat products*. New Jersey: John Wiley & Sons. Recuperado de <http://www.mrw.interscience.wiley.com/biofp>
- Silva, L. H., Paucar-Menacho, L. M., Vicente, C. A., Salles, A. S. & Steel, C. J. (2009). Desenvolvimento de pão de forma com a adição de farinha de “okara”. *Braz. J. Food Technol.*, 12(4), 315-322.
- Tabela brasileira de composição de alimentos (2011). Campinas: NEPA, UNICAMP, Brasil.
- Tedrus, G. A. S., Ormenese, R. C. S. C., Speranza, S., Chang, M. Y. K. & Bustos, F. M. (2001). Estudo da adição de vital glúten à farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade de pães. *Revista Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, 21(1), 20-25.
- Tucker, G. (2019). Chorleywood Bread Process: Boon or Bane. *The World of Food Ingredients*. 58–59. Recuperado de <https://www.foodingredientsfirst.com/news/chorleywood-bread-process-boon-or-bane.html>

Veluppillai, S., Nithyanantharajah, K., Vasantharuba, S., Balakumar, S. & Arasaratnam, V. (2010). Optimization of Bread Preparation from Wheat Flour and Malted Rice Flour. *Rice Science*, 17(1), 51–59.

Vilhalva, D. A. A., Soares Junior, M.; Moura, C. M. A., Caliari, M., Souza, T. A. C. & Silva, F. A. (2011). Aproveitamento da farinha de casca de mandioca na elaboração de pão de forma. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 70(4), 514-521.

Watanabe, E. (2014). *Influência das proteínas formadoras do glúten na qualidade tecnológica da farinha de trigo para panificação* (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Brasil.

Yaylayan, V. A. & Kaminsky, E. (1998). Isolation and structural analysis of Maillard polymers: caramel and melanoidin formation in glycine/glucose model system. *Food Chemistry*, 63(1), 25 -31.

Zambelli, R. A., Mendonça, L. G., Carneiro, S. V. & Rodrigues, B. G. (2017). Effect of açai powder and chitosan incorporation on bread quality. *International Journal of Food Engineering*, 3(2).