



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CCA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

LUCIANA CRISTINA NOGUEIRA DE MORAES BEZERRA

PROCESSO RÁPIDO DE OBTENÇÃO DE PÃO DE FORMA COM ADIÇÃO DE
EXTRATO FLAVORIZANTE NATURAL

FORTALEZA

2021

LUCIANA CRISTINA NOGUEIRA DE MORAES BEZERRA

PROCESSO RÁPIDO DE OBTENÇÃO DE PÃO DE FORMA COM ADIÇÃO DE
EXTRATO FLAVORIZANTE NATURAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Tecnologia de Alimentos de Origem Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Claudio Ernani Mendes da Silva

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B469p Bezerra, Luciana Cristina Nogueira de Moraes.
Processo rápido de obtenção de pão de forma com adição de extrato flavorizante natural
/ Luciana Cristina Nogueira de Moraes Bezerra. – 2021.
121 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Claudio Ernani Mendes da Silva.
1. Voláteis do pão. 2. Extrato aquoso. 3. Pão. 4. Fermento químico. 5. Microextração em
fase sólida. I. Título.

CDD 664

LUCIANA CRISTINA NOGUEIRA DE MORAES BEZERRA

PROCESSO RÁPIDO DE OBTENÇÃO DE PÃO DE FORMA COM ADIÇÃO DE
EXTRATO FLAVORIZANTE NATURAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Tecnologia de Alimentos de Origem Vegetal.

Aprovado em: 10 / 06 / 2021.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Rafael Audino Zambelli
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof^a. Dr^a Patrícia Beltrão Lessa Constant.
Universidade Federal de Sergipe – UFS

Prof^a. Dr^a. Marlene Nunes Damaceno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *campus* Limoeiro do
Norte

Prof^a. Dr^a. Márcia Maria Leal de Medeiros
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *campus* Baturité

Dedico o fruto desse trabalho, Àquele que me soprou a vida e me faz seguir em frente.

Aos meus pais que não mediram esforços pela minha educação.

Ao meu marido e grande amor, Gilval e aos meus filhos, Isobel e Nícolas, por serem a força motriz da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Claudio Ernani Mendes da Silva por ter disponibilizado seu tempo me orientando e me ensinando a vencer as dificuldades que surgiram ao longo dessa caminhada.

A todos que fazem o Laboratório de Tecnologia Química (LTQ) do Departamento de Química e Meio ambiente do Instituto Federal do Ceará, por todo acolhimento recebido desde o primeiro momento. Foram muitos que de alguma forma me estenderam a mão e tornaram meu trabalho mais leve. Agradecimento especial ao professor Dr. Rinaldo dos Santos Araújo por permitir a realização de parte do meu trabalho no LTQ. Agradeço também ao Dr. Danilo Queiroz por facilitar e compartilhar o uso do reator, ao Tobias de Oliveira pela amizade e por estar sempre à disposição em solucionar os problemas técnicos que surgiram, e à Isabella Rodrigues e Monique Souza pelo carinho e apoio quando necessário.

Ao Alex França, Cleverto da Silva, Emanuela Sousa, Maísa Silva e Tobias de Oliveira, por terem assumido valorosamente a tarefa de participar do treinamento e do teste de avaliação da qualidade dos pães.

À Professora Rúbia Valério Naves de Souza por ceder o laboratório Sala-bar/cozinha do curso Tecnologia em Hotelaria do Instituto Federal do Ceará para a produção dos pães.

À EMBRAPA Frutos Tropicais pela parceria na realização das análises dos voláteis dos extratos, principalmente ao Hilton César Rodrigues Magalhães pela dedicação na condução desta etapa.

Ao professor Dr. Ronaldo Ferreira do Nascimento por me acolher no Laboratório de Análises de Traço do Departamento de Química da UFC, permitindo a realização das análises de voláteis do pão.

Ao meu amigo Hélio Oliveira do Nascimento que me ajudou nos momentos mais preocupantes desta pesquisa, me orientando e conduzindo as análises cromatográficas no Laboratório de Análises de Traço.

À minha grande amiga Lidiana Correia Lima que foi uma grande parceira nessa jornada desde o começo de tudo.

A José Edimar Lopes de Sousa Júnior pela orientação no uso correto da norma ABNT NBR 14724.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRAFICA	13
2.1	O pão e sua história	13
2.2	Processos de produção do pão	14
2.2.1	<i>Etapas da produção de pão de forma</i>	17
2.2.1.1	<i>Mistura</i>	17
2.2.1.2	<i>Divisão</i>	18
2.2.1.3	<i>Boleamento</i>	18
2.2.1.4	<i>Fermentação intermediária</i>	19
2.2.1.5	<i>Modelagem</i>	19
2.2.1.6	<i>Fermentação final</i>	20
2.2.1.7	<i>Forneamento ou assamento</i>	20
2.2.1.8	<i>Resfriamento</i>	21
2.2.1.9	<i>Embalagem</i>	21
2.3	Compostos do <i>flavour</i> do pão	22
2.3.1	<i>Papel dos ingredientes para a formulação do flavour</i>	23
2.3.2	<i>Efeito do processamento na formação do flavour</i>	25
3	CAPÍTULO II – EXPERIMENTO 1: OTIMIZAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE PRODUÇÃO DE EXTRATO FLAVORIZANTE DE PÃO DE FORMA	26
3.1	Introdução	28
3.2	Material e métodos	29
3.2.1	<i>Matérias-primas usadas na produção de massa fermentada e pão de forma</i>	29
3.2.2	<i>Metodologia</i>	29
3.2.2.1	<i>Preparo das amostras</i>	29
3.2.2.1.1	<i>Produção de massa fermentada (esponja)</i>	29
3.2.2.1.2	<i>Produção de pão de forma pelo método massa direta</i>	30
3.2.2.2	<i>Delineamento experimental aplicado</i>	31
3.2.2.3	<i>Obtenção dos extratos Massa (EM) e Pão (EP)</i>	32
3.2.2.4	<i>Identificação dos compostos do flavour dos extratos (EM) e (EP)</i>	33

3.2.2.4.1	Extração dos voláteis usando a técnica de Microextração em Fase Sólida do <i>Headspace</i> (SPME – HS).....	33
3.2.2.4.2	Condições instrumentais da separação e identificação dos compostos voláteis por CG/EM.....	34
3.2.2.5	<i>Análise estatística dos dados</i>	35
3.3	Resultados e discussão	35
3.3.1	<i>Otimização das condições de produção dos voláteis do extrato massa (EM)</i>	35
3.3.2	<i>Otimização das condições de produção dos voláteis do extrato pão (EP)</i>	37
3.3.3	<i>Compostos voláteis identificados</i>	40
3.4	Conclusão	46
4	CAPÍTULO III – EXPERIMENTO 2: PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PÃO DE FORMA OBTIDO POR PROCESSO RÁPIDO	47
4.1	Introdução	49
4.2	Material e métodos	50
4.2.1	<i>Materiais usados na formulação do pão</i>	50
4.2.2	<i>Equipamentos utilizados</i>	51
4.2.3	<i>Metodologia</i>	51
4.2.3.1	<i>Delineamento experimental</i>	51
4.2.3.2	<i>Preparo dos pães</i>	53
4.2.3.3	<i>Avaliação da qualidade tecnológica dos pães</i>	54
4.2.3.3.1	Volume específico.....	55
4.2.3.3.2	Características avaliadas.....	55
4.2.3.4	<i>Análise sensorial</i>	56
4.2.3.4.1	Teste de aceitação usando a escala de atitude.....	56
4.2.3.5	<i>Análises físico-químicas</i>	57
4.2.3.6	<i>Identificação dos voláteis presentes no pão</i>	58
4.2.3.6.1	Extração dos voláteis usando a técnica de Microextração em Fase Sólida do <i>Headspace</i> (SPME – HS)	58
4.2.3.6.2	Condições instrumentais da separação e identificação dos compostos voláteis por CG/EM.....	58

4.2.3.7	<i>Análises estatísticas</i>	59
4.3	Resultados e discussão	59
4.3.1	<i>Avaliação da qualidade tecnológica dos pães</i>	59
4.3.2	<i>Análises físico-químicas</i>	76
4.3.3	<i>Análise sensorial</i>	77
4.3.4	<i>Identificação dos voláteis</i>	81
4.4	Conclusão	84
5	CONCLUSÕES GERAIS	84
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
	REFERÊNCIAS	86
	APÊNDICE A – EQUIPAMENTO UTILIZADO NA PRODUÇÃO DOS EXTRATOS MASSA E PÃO	99
	APÊNDICE B – CROMATÓGRAFO A GÁS E ESPECTRÔMETRO DE MASSA DA EMBRAPA FRUTOS TROPICAIS (a) E DO LABORATÓRIO DE ANÁLISES TRAÇOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ(b)	100
	APÊNDICE C – CROMATOGRAMAS DOS EXTRATOS MASSA	101
	APÊNDICE D – ANOVA DO MODELO AJUSTADO DA VARIÁVEL Nº DE PICOS DO EXTRATO MASSA	103
	APÊNDICE E - CROMATOGRAMAS DOS EXTRATOS PÃO	104
	APÊNDICE F – FICHA DOS TESTES DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE TECNOLÓGICA DOS PÃES	106
	APÊNDICE G - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)	108
	APÊNDICE H – APLICAÇÃO DO TESTE SENSORIAL NO INSTITUTO FEDERAL DO CERÁ – CAMPUS FORTALEZA	111
	APÊNDICE I - FICHA DO TESTE DE ACEITAÇÃO USANDO A ESCALA DE ATITUDE (FACT)	112
	APÊNDICE J – TABELA DO EFEITO E INTERAÇÕES CALCULADAS PARA AS VARIÁVEIS SIMETRIA E QUEBRA DO PÃO	113
	APÊNDICE K - ANOVA DO MODELO AJUSTADO DA VARIÁVEL	

COR DA CROSTA.....	114
APÊNDICE L - ANOVA DO MODELO AJUSTADO DA VARIÁVEL	
COR DO MIOLO.....	115
APÊNDICE M - ANOVA DO MODELO AJUSTADO DA VARIÁVEL	
ESTRUTURA DAS CÉLULAS DO MIOLO.....	116
APÊNDICE N - ANOVA DO MODELO AJUSTADO DA VARIÁVEL	
TEXTURA DO PÃO.....	117
APÊNDICE O - ANOVA DO MODELO AJUSTADO DA VARIÁVEL	
AROMA DO PÃO.....	118
APÊNDICE P - ANOVA DO MODELO AJUSTADO DA VARIÁVEL	
SABOR DO PÃO.....	119
APÊNDICE Q - ANOVA DO MODELO AJUSTADO DA VARIÁVEL	
VOLUME ESPECÍFICO DO PÃO.....	120
APÊNDICE R - ANOVA DO MODELO AJUSTADO DA VARIÁVEL	
ESCORE TOTAL DA QUALIDADE PÃO.....	121
APÊNDICE S – IMAGEM DA ESTRUTURA DAS CÉLULAS DO	
MIOLO DO PÃO	122
APÊNDICE T – CROMATOGRAMAS DA ANÁLISE DOS VOLÁTEIS	
DO PÃO OBTIDOS POR CG/EM, EM TRIPLICATA.....	123

1 INTRODUÇÃO

Os cereais apresentam um papel muito importante na história da civilização e são a base da nutrição em grande parte do mundo. É por isso que tem sido objeto de numerosos estudos e publicações, em especial o trigo. Este cereal é uma das principais fontes de carboidratos e proteínas dos seres humanos, tornando-o um alimento de alta energia e fornecendo um quinto de calorias da alimentação (LEÓN; ROSSEL, 2007; ANTUNES, 2009).

Dos inúmeros produtos que se obtém do trigo, o pão se destaca como um dos alimentos mais consumidos pela humanidade e é considerado um dos mais antigos alimentos processados do mundo. Tradicionalmente, é produzido a partir da farinha do trigo, no entanto, outras farinhas podem ser usadas em combinação com a farinha de trigo para, juntamente com outros ingredientes, transformarem-se em uma massa úmida e elástica (CAUVAIN; YOUNG, 2009).

Pesquisadores da consultoria Kantar Worldpanel indicam que os pães industrializados têm sido consumidos cada vez mais no Brasil, com 537 mil toneladas vendidas em 2019. Isto revela um aumento de 136 mil toneladas de pães industrializados em relação ao ano anterior. A mesma pesquisa aponta que o aumento da vida útil do produto, a presença cada vez maior da mulher no mercado de trabalho, a praticidade do produto e o aumento do preço do pão francês, foram elementos motivadores que contribuíram para esse movimento (ABIMAPI, 2020).

Diferentes tipos de formulações de pães foram desenvolvidos baseados nos hábitos alimentares tradicionais da população de diferentes regiões do nosso planeta. Os principais tipos podem ser classificados em pão de forma, pão de fermentação natural, “flatbread” e “bread roll”. O primeiro é um pão tão popular em países economicamente desenvolvidos quanto nos países em desenvolvimento. São pães moldados e assados em formas retangulares e depois de desenformados, são resfriados, fatiados e embalados. O segundo tipo é feito usando a fermentação da massa com lactobacilos e leveduras de ocorrência natural. O resultado são pães de casca crocante, miolo macio e úmido com sabor forte e levemente azedo. O terceiro tipo são pães muito populares nos países da Ásia, de aspecto achatado, feito com farinha de trigo, água e sal e na maioria das vezes sem fermentação. Na última categoria incluem-se os pães pequenos, geralmente redondos ou oblongos que costumam ser servidos como acompanhamento de uma refeição ou recheados como

sandwiches. Geralmente apresentam níveis mais elevados de açúcar e gordura na formulação, portanto apresentam sabor mais adocicado e textura mais suave (KHATKAR, [200-]).

Esses diversos tipos de pães surgiram com a evolução e transformação do processo de elaboração ao longo dos anos, no que diz respeito a qualidade das matérias-primas, da tecnologia de fabricação e dos hábitos alimentares da sociedade. Embora a metodologia de fabricação de pães industrializados muito tenha evoluído, os desafios sempre perseguiram as empresas, que ao longo do tempo, enfrentam barreiras que fazem parte da dinâmica de trabalho da maioria das organizações, como etapas desnecessárias e tarefas complexas. Essas barreiras dificultam os processos, atrasam a produção, desgastam os funcionários e ainda desmotivam as equipes. Agilizar o fluxo de trabalho é essencial para um desempenho mais eficiente e para uma melhor produtividade (ZAGOZEWSKI, 2008).

Um exemplo disso é o processo de fabricação do pão de forma, que dependendo da indústria, conta com equipamentos de grande porte que torna a produção completamente automatizada. Mesmo assim, devido ao grande volume de fabricação, os pães obtidos através do processo mais utilizado, massa direta, gastam em torno de cinco horas e meia para completarem todo o ciclo de produção, desde a mistura dos ingredientes até a embalagem (KHATKAR, [200-]).

Considerando o longo tempo dos processos produtivos para a obtenção do pão de forma, procurou-se desenvolver um processo de fabricação deste produto, com redução do tempo de processamento, utilizando fermento químico e extrato aquoso contendo substâncias responsáveis pelo *flavour* do pão de forma.

2 CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Pão e sua história

Em condições tecnologicamente adequadas, o pão é o produto obtido pelo assamento de uma massa fermentada, ou não, preparada com farinha de trigo e/ou outras farinhas que contenham naturalmente proteínas formadoras de glúten ou adicionadas das mesmas e água, podendo também conter outros ingredientes. A denominação “pão de forma” é atribuída ao produto obtido pelo assamento da massa em formas específicas, apresentando miolo elástico, homogêneo, poros finos, casca fina e macia (BRASIL, 2006).

Segundo Almeida Neto (2008), os pães começaram a ser produzidos há aproximadamente seis mil anos, na região da Mesopotâmia, onde hoje está situado o Iraque, e foram difundidos por várias civilizações da Antiguidade. Esse pão original era resultado de uma mistura seca, dura e amarga feita à base de farinha de trigo. Por ser um produto extremamente necessário à alimentação, ele foi usado durante muitos séculos também como moeda. Há indícios de que os faraós o tenham utilizado como meio de pagamento aos serviços realizados. Em Roma, o pão era um dos componentes da política do *panis et circenses* (pão e circo) utilizada pelos imperadores para manter uma satisfação aparente da população, desviando a atenção das disputas de poder e das condições de vida a que o povo estava submetido, sendo o trigo distribuído em espetáculos públicos pela administração do império.

Durante a Idade Média, o pão era feito artesanalmente no ambiente doméstico pelos camponeses. A limitação agrícola e técnica que tinha essa classe social não possibilitava a produção de pães fermentados, o que resultava em um produto de menor qualidade. Situação diferente era a vivenciada pelos senhores feudais, que consumiam pães de melhor qualidade produzidos nas padarias dos castelos. Foi também neste período histórico que surgiu a figura do padeiro, que aos poucos passou a se organizar em corporações de ofícios, controlando assim o processo produtivo e desfrutando de certo prestígio nas cortes. Com a Revolução Industrial, a produção do pão ganhou um forte impulso, seja no aumento de terras destinadas ao plantio do trigo, seja no desenvolvimento de técnicas de moagem do cereal, passando dos moinhos de tração animal ou humana aos moinhos à vapor, que

começaram a surgir em 1784. A grande produção destinava-se a alimentar principalmente a classe operária que crescia nas cidades industriais, criando condições para uma produção em larga escala. O pão chegou a ser inclusive um dos motivos de eclosão da Revolução Francesa, a severa queda na produção do trigo tornou o pão caro e escasso, levando a população a se revoltar e proporcionar à queda do rei Luís XVI (ALMEIDA NETO, 2008).

Outros dados da história do pão apontam o Brasil Colônia, em essência, como uma terra sem pão e sem padarias. As mudanças efetivas ocorreriam só a partir de 1808, com a chegada da família real portuguesa fugindo de Napoleão. Com ela vieram os primeiros padeiros, integrando a comitiva de 15 mil pessoas que desembarcaram no Rio de Janeiro, bem como receitas, que só eram conhecidas na Europa. Na década de 1920, no Rio de Janeiro, os padeiros portugueses introduziram o fermento biológico industrializado e começaram a produzir o pão francês. Somente em 1953 a empresa Pullman introduziu a panificação mecanizada no país, lançando o primeiro pão de forma (XAVIER, 2016).

A panificação está entre os seis maiores segmentos da indústria brasileira, com participação de 36% na indústria de produtos alimentares e 6% na de transformação (SEBRAE, 2017). No entanto, é importante buscar novos desafios e tecnologias que permitam sua afirmação definitiva como setor de relevância no cenário econômico, pois o conhecimento não é estático e todo negócio precisa acompanhar as transformações do mercado (OLIVEIRA e ALVES, 2009; SEBRAE, 2020).

De acordo com dados da ABIMAPI (2020), os pães industrializados fabricados no Brasil tiveram um faturamento de 7,059 bilhões. Mesmo assim, com um consumo de 2,6 kg por habitantes, o setor de pães industrializados ainda tem muito espaço para crescer.

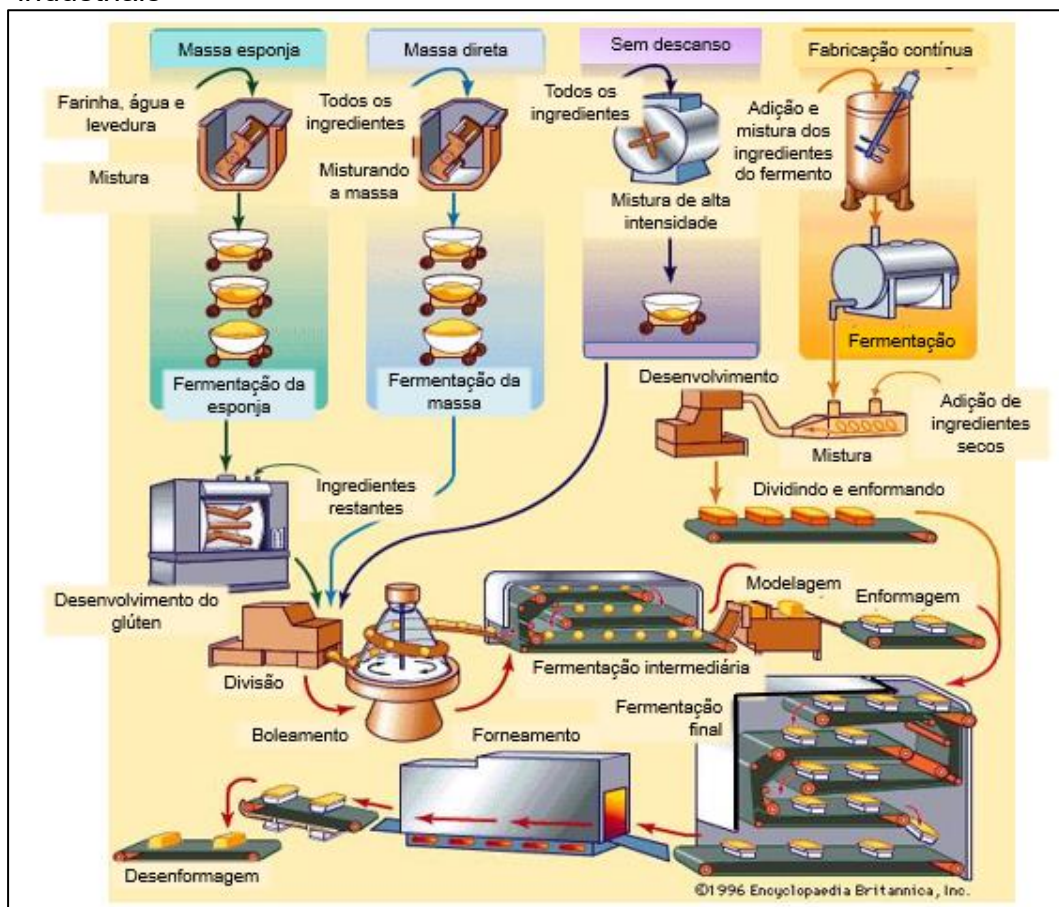
Para Mól (2017), independentemente do porte, a indústria deve investir em inovação para ter mais competitividade, reduzir custos e sair na frente da concorrência.

2.2 Processos de produção do pão

Os processos utilizados para a produção comercial de pães (FIGURA 1) diferem principalmente na obtenção do desenvolvimento da massa, onde são

classificados em duas classes ou grupos: processos contínuos (Sem descanso da massa e Fabricação contínua) e descontínuos (Massa direta e Massa esponja). Cauvain e Young (2009) citam que os métodos mais aplicados para o desenvolvimento da massa para panificação são: o processo massa esponja e o processo massa direta. Pomeranz (1998) afirma que diferentes processos de obtenção de pães industrializados levam a obtenção de produtos com diferentes tempos de fabricação.

Figura 1 - Ilustração dos diferentes métodos de produção de pães industriais



Fonte: Enciclopédia Britânica, Inc. (1996).

O processo de preparo da massa chamado massa esponja envolve dois estágios de mistura, um para o preparo da esponja e o outro para o preparo da massa. Normalmente, 50 a 70% do total da farinha da massa fermentada está sujeita a ações físicas, químicas e biológicas da levedura. Primeiramente, água, farinha de trigo e leveduras são misturados para tornar o fermento plenamente ativo (esponja). Após essa fermentação ocorrer, a esponja vai se juntar aos demais ingredientes da

formulação onde serão misturados até formação da massa que passará para as etapas de divisão, modelagem, fermentação final e forneamento (PYLER; GORTON, 2009; AQUINO, 2012).

O processo mais simples para produção de pães é o método massa direta que consiste na mistura de todos os ingredientes de uma só vez para o desenvolvimento da massa, para posteriormente seguir as etapas complementares do processo massa esponja (HOSENEY, 1994; SOUSA, 2017).

O método de massa *no time* (sem tempo de repouso da massa antes da divisão) tem o propósito de reduzir ao mínimo o tempo de fermentação. Assim, quando a massa já está desenvolvida e dividida em porções, segue diretamente para as formas onde ocorrerá a fermentação final. São empregados agentes oxidantes (ácido ascórbico), agentes redutores (L-cisteína), condicionadores (fosfato monocálcico) e enzimas proteolíticas (PYLER; GORTON, 2009). Este método mudou a produção de pão tradicional. Como variação do processo, destaca-se o desenvolvimento e comercialização do Processo de Pão Chorleywood (CBP) que caracteriza-se pela mistura e desenvolvimento da massa em uma única operação com duração entre 2 e 5 minutos para um gasto de energia fixo durante a mistura. Além disso, usa farinha de trigo com um percentual de proteínas entre 10,5 e 11%, melhoradores, gordura vegetal, água, levedura e sal, todos misturados sob intenso trabalho mecânico desenvolvido por misturadores de alta velocidade, entre 600 a 1750 rpm (CAUVAIN, 2003a).

Nos anos cinquenta, o método de mistura contínua foi desenvolvido com o propósito de tornar o processo de fabricação rápido, obter produtos uniformes e econômicos. Em uma primeira etapa, o pré-fermento líquido é adicionado juntamente com os ingredientes em um pré-mixer para formar uma massa uniforme, posteriormente seguem para a etapa de desenvolvimento da massa em uma misturadora de alta velocidade para promover o condicionamento do glúten. Quase imediatamente, a massa é extrudada, modelada e colocada em formas. As etapas que seguem se assemelham aos demais processos (PYLER; GORTON, 2009).

Pães industriais obtidos pelo processo massa esponja gastam em média 7 horas para chegarem ao estágio final da produção. A maior parte deste tempo é gasto com a fermentação, enquanto no processo massa direta gasta-se em média 5 horas para produzir um pão. Já os métodos que abreviam o tempo de fermentação conseguem uma produção bem mais rápida, em torno de 1 hora (KHATKAR, [200-]).

2.2.1 Etapas da produção de pão de forma

Os pães de forma estão entre os alimentos mais conhecidos e comercializados no mundo. Isso se deve, sobretudo, à facilidade de consumo, ótima qualidade nutricional, variedade e preços acessíveis. Tais indicativos levam os pesquisadores a escolher este produto como referência em diversos estudos experimentais (ASSIS *et al.*, 2009).

Na obtenção de qualquer pão, assim como no pão de forma, há uma sequência de etapas efetuadas para transformar a farinha em alimento digerível e aerado, assim como fornecer sensação agradável ao paladar (SANCHEZ, 2009). As etapas usadas para obtenção do pão de forma encontram-se descritas a seguir.

2.2.1.1 Mistura

Etapa importante e obrigatória, pois proporciona a dispersão uniforme dos ingredientes após a mistura inicial da farinha de trigo com a água através de um trabalho mecânico (SOUSA, 2017; VIANNA *et al.*, 2018). Este, fornece energia à massa favorecendo as interações químicas entre as proteínas formadoras do glúten que se quebram e se refazem continuamente até que a massa se torne viscoelástica, pronta para suportar a pressão exercida pelo gás produzido na fermentação. É neste ponto que a massa apresenta a capacidade para se esticar sem se romper, porém deve ser observado esse limite máximo, pois após este ponto, as ligações que mantêm a rede do glúten formada começam a se desfazer, tornando o glúten fraco e a massa mole e pegajosa (BENASSI, 1997).

Na etapa de mistura, também ocorre a dispersão de bolhas de ar na massa, proporcionando núcleos gasosos para o dióxido de carbono gerado na fermentação, condição importante para uma boa granulometria do miolo do pão e formação de uma massa apropriada para a etapa subsequente (CAUVAIN; YOUNG, 2009).

Pylar e Gorton (2009) apontam que na mistura ocorrem transformações específicas que podem ser diferenciadas em etapas nomeadas de *pickup*, *cleanup*, *peak development*, *letdown* e *breakdown*. A etapa *pickup* é o primeiro estágio da mistura onde os ingredientes secos e úmidos se unem. É quando a estrutura do glúten começa a se formar. Avançando na mistura, a massa se torna menos pegajosa, mais elástica e coesa, é onde a hidratação dos ingredientes se completa

(SWORTFIGUER,1950). Neste ponto, o processo de mistura é denominado *cleanup* e chega ao final quando a massa se solta das paredes da masseira.

A etapa *peak development* é a mais crítica e se caracteriza pelo desenvolvimento do glúten. Antes de chegar a este estágio, a massa quando submetida ao estiramento, apresenta-se com protuberâncias e rasga com facilidade, porém quando chega no desenvolvimento pleno, adquire aparência sedosa e não pegajosa, podendo ser esticada em filmes longos e lisos. No entanto, se a mistura seguir após o desenvolvimento pleno do glúten, a massa perde viscosidade e elasticidade. A aparência durante a mistura se torna úmida e filamentosa. Essa etapa chama-se *letdown*. Apenas farinhas muito fortes são capazes de passar por esta etapa sem comprometer as fases subsequentes de fabricação do pão. Levando a operação de mistura para além deste ponto (*breakdown*), o resultado é a completa desintegração da massa. Ela se torna liquefeita e sem nenhuma elasticidade, não podendo ser mais recuperada para o processo de panificação (PYLER; GORTON, 2009).

2.2.1.2 Divisão

A divisão e a pesagem da massa são etapas sucessivas ou simultâneas que seguem à mistura ou, em alguns processos, à fermentação. Esse processo tem por objetivo a obtenção de frações de massa em quantidade determinada, regulares e apropriadas aos pães que devem ser fabricados (GUARIENTI, 2004).

A massa para pão de forma é dividida geralmente em porções de 600 g para um pão de 500 g, que dependendo do tamanho da produção, poderá ser de forma manual ou usar máquinas divisoras automatizadas. O tipo de divisora deve ser escolhido de acordo com o tipo de massa que se costuma produzir, com o propósito de favorecer a precisão da divisão e causar o mínimo de danos por compressão (CAUVAIN, 2003b).

2.2.1.3 Boleamento

Pedaços de massa saem da divisora com formatos irregulares e pegajosidade na área do corte. Também apresentam diminuição da aeração devido as ações de compressão, cisalhamento e corte. Então, a etapa de arredondamento

ou boleamento tem a tarefa principal de reconstituir a porção de massa que saiu da divisora, dando-lhe uma superfície contínua, não pegajosa e com a capacidade de reter o dióxido de carbono que continuará a ser produzido pelas leveduras (EL-DASH, CAMARGO, DIAZ, 1982; PYLER; GORTON, 2009).

Outras funções são atribuídas a esta etapa, como o alinhamento das fibras do glúten, retenção de voláteis oriundos da fermentação e distribuição das células de gás que contribuem para uma simetria uniforme do pão e uma fina textura do miolo (SOUZA, 2000; PYLER; GORTON, 2009).

Existem basicamente dois tipos de boleadores, o tipo cônico e o tipo esteira ou cinta. A máquina tipo cônica tradicional consiste em uma superfície em revolução, na qual as peças de massa são contidas por uma calha. A medida que a superfície entra em revolução, carrega os pedaços de massa irregulares por uma trajetória espiral ascendente, provocando na massa um movimento rotacional. Esse movimento dá a massa um formato esférico regular. Os boleadores tipo esteira consistem em lonas largas com adequado revestimento, sob as quais são posicionadas máquinas divisoras de massa. As porções já divididas, caem na esteira por uma extremidade e são transportadas através do movimento das mesmas, proporcionando a rotação das porções de massa que chegam ao final arredondadas (PYLER; GORTON, 2009).

2.2.1.4 Fermentação intermediária

A massa boleada é mantida em repouso por alguns minutos em câmaras de fermentação intermediária, mantendo sua superfície protegida de correntes de ar para evitar o ressecamento superficial pela perda de umidade para o meio ambiente (ZANETTI et al., 2009). Durante este tempo, ocorre relaxamento da rede do glúten favorecendo a recuperação de parte de sua resistência perdida durante o amassamento (OWENS, 2001). Também é observado produção de dióxido de carbono devido a atividade do fermento, onde a intensidade depende do tempo de descanso e da temperatura da massa (CAUVAIN; YOUNG, 2009). Ainda nessa fase, a massa sofre uma série de transformações em suas propriedades físicas, facilitando as etapas de corte e modelagem (QUAGLIA, 1991; CANELLA-RAWLS, 2006).

2.2.1.5 Modelagem

A modelagem tem o objetivo de dar a forma desejada ao pão. No caso do pão de forma, a massa é colocada na modeladora para obter o modelo tradicional tipo rocambole. A dobra da massa deve ficar em contato com a superfície da forma de assamento para que o pão não assuma um formato irregular (ZANETTI et al., 2009).

2.2.1.6 Fermentação final

A fermentação da massa constitui uma etapa básica no processo de panificação, sendo responsável pela textura e aroma do pão, pela formação de alvéolos internos e pelo aumento do volume da massa (GUARIENTI, 2004). Durante esse processo, o oxigênio e nutrientes da massa são consumidos rapidamente pelas leveduras, com formação de gás carbônico e álcool (HOSENEY, 1994).

A fermentação biológica para produção de pão, pode ser dividida em duas fases: o “repouso” e o “dimensionamento”. O “repouso” é definido como o período que a fermentação primária ou intermediária ocorre entre o final do amassamento e pesagem da massa e o “dimensionamento”, fermentação secundária ou final, indica o intervalo de tempo compreendido desde que a massa é moldada até o assamento (QUAGLIA, 1991; CANELLA-RAWLS, 2006).

O tempo ótimo de fermentação da massa é determinado quando o volume desta, atinge o ponto ótimo de retenção dos gases e é influenciado por fatores como método de fabricação empregado, quantidade de leveduras, temperatura da fermentação e a qualidade da farinha e dos ingredientes (EL-DASH, CAMPOS, GERMANI, 1994, SILVA, 2017). Um curto tempo de fermentação produz pães de volume reduzido, miolo fechado, crosta grossa e com cor avermelhada. Já um tempo excedente de fermentação resulta em pães com alveolagem grosseira, textura ruim, sabor e aroma excessivamente ácidos (GUARIENTI, 2004). Em casos de temperaturas acima de 28 °C a fermentação deve ser curta, de 1 – 1,30 horas. Para tempos de fermentação entre 2 a 4 horas, a temperatura deverá ser de 25 a 27 °C e, para períodos mais longos, de 23 a 25 °C (QUAGLIA, 1991).

2.2.1.7 Forneamento ou assamento

No forno, o volume da massa aumenta (chamado salto de forno) devido à produção contínua de gás carbônico resultante do processo fermentativo até a

desnaturação enzimática e morte celular da levedura. O amido gelatiniza e o glúten sofre coagulação, retendo bolhas de gás e formando a textura do miolo (EL-DASH, CAMARGO, DIAZ, 1982). As enzimas presentes na massa são inativadas em diferentes temperaturas, sendo que a α -amilase se mantém ativa até 75 °C. A partir de 98 °C ocorre a evaporação de água e inicia-se a formação de coloração da casca devido à reação de Maillard e caramelização superficial. O álcool evapora e libera o aroma característico da cocção (BENNION, 1970; CANELLA-RAWLS, 2006). Cada produto tem especificidades em relação ao forneamento. Por isso, a temperatura precisa ser avaliada de acordo com o equipamento em questão e com relação às características do produto (ZANETTI et al., 2009). O tempo de cocção varia de acordo com o tipo e tamanho do pão. Para pães de forma, a temperatura varia de 200 °C a 220 °C e de 30 a 40 minutos (SILVA, 2016).

2.2.1.8 Resfriamento

O resfriamento do pão é uma etapa tão importante quanto as demais. O produto deve ser resfriado em ambiente limpo e livre de contaminações, principalmente por esporos de mofo (GUARIENTI, 2004). Na indústria, os pães de forma são retirados das formas para o resfriamento em esteiras e posteriormente, são fatiados e embalados (ZANETTI et al., 2009). Essas operações realizadas com o pão quente podem favorecer o desenvolvimento de fungos, do tipo *Rhizopus nigricans*, *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. e *Neurospora sitophila*. Para combater fungos e algumas bactérias na crosta dos produtos de panificação, costuma-se empregar antimofos líquidos (sorbato de potássio, ácido propiônico e ácido sórbico) que são borrifados sobre os pães após o resfriamento (CARVALHO JUNIOR, 2001).

2.2.1.9 Embalagem

As embalagens têm como função primária proteger o alimento contra agentes deteriorantes externos e possibilitar a comercialização. Devem fornecer barreira contra contaminação microbiológica, química e física e contra perda ou ganho de umidade pelo produto, além de apresentar resistência ao impacto e compressão. Pode ser manual (mais lenta) ou mecânica, através de máquinas de alta velocidade, específicas para uso em panificação (GIANNOU et al., 2003; SERVIÇO..., 2004).

Existem vários tipos de materiais que podem ser utilizados para embalar os produtos de panificação, como o celofane, celofane coberto com nitrocelulose ou cloreto de polivinilideno. Apesar desses materiais promoverem melhor visual, boa proteção à umidade, ao aroma e excelente vedação, seu custo é muito elevado. Por isso, a embalagem mais utilizada é a plástica, de polipropileno ou polietileno, obtido através da polimerização do etileno que apresenta vantagens similares às anteriores com baixo custo e grande disponibilidade no mercado (EVANGELISTA, 2003).

2.3 Compostos do *flavour* do pão

Os compostos do *flavour* presentes no pão são elementos fundamentais para a aceitação e identificação do produto pelo consumidor (MILDNER-SZKUDLARZ, 2019). Por isso, muitos estudos têm sido realizados para investigar as características do *flavour* do pão através de métodos sensoriais e instrumentais como a cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de massa e a técnica de microextração em fase sólida no *headspace* que auxiliam na quantificação e identificação dos compostos voláteis e não voláteis do pão inteiro, da casca ou só do miolo (QUÍLEZ *et al.*, 2006; XI, *et al.*, 2021). Na Figura 2 encontram-se relatados diversos compostos do aroma identificados na crosta e no miolo de pão elaborado com farinha de trigo através da técnica Análise de Diluição do Extrato do Aroma (SCHIEBERLE; GROSCH, 1987).

Figura 2 – Compostos do *flavour* captados do miolo e da crosta de um pão

Nº	MIOLO	CROSTA
1	(E)-2-Nonenal	2-acetil-1-pirrolina
2	(E,Z)-2,6-Nonadienal	(E)-2-Nonenal
3	(E,E)-2,4-Decadienal	3-Metilbutanal
4	Diacetil	2,3-Butanediona
5	Metional	Metional
6	1-octen-3-ona	(E)-2-Nonenal
7	(E,E)-2,4-Nonadienal	(Z)-4-Heptenal
8	Fenilacetaldéido	1-octen-3-ona
9	γ -Nonalactona	1-(Z)-5-Octadien-3-ona
10		(E,Z)-2,6-Nonadienal
11		Fenilacetaldéido
12		(E,E)-2,4-Decadienal
13		2,5-Dimetil-3-etilpirazina
14		2,6-Dimetil-3-etilpirazina
15		(E,E)-2,4-Decadienal

Fonte: Scieberle and Grosch (1987).

O *Flavour* dos pães se desenvolve no processo fermentativo da massa e como resultado da formação de complexas reações químicas desenvolvidas pela reação de Maillard e pela caramelização parcial dos açúcares durante o forneamento do pão (CHO; PETERSON, 2010; GANCARZ, *et al.*, 2021). Segundo estes autores, mais de 540 compostos do aroma do pão já foram identificados, porém quantitativamente, os álcoois, aldeídos, ésteres, cetonas, ácidos, pirazinas e pirrolinas são considerados os principais grupos de compostos responsáveis pelo *flavour*.

O sabor e aroma de um pão e o perfil dos seus compostos voláteis dependem dos ingredientes, do tempo de fermentação da massa, da adição de enzimas e do forneamento. O *flavour* do miolo do pão é influenciado principalmente pelas reações enzimáticas durante a fermentação da massa, enquanto o *flavour* da crosta do pão é mais influenciado pelas reações térmicas durante o processo de assamento. A modificação de algum destes fatores implicará em mudanças na qualidade do odor (HANSEN; HANSEN, 1996; PICO *et al.*, 2016; PÉTEL; ONNO; PROST, 2017).

2.3.1 Papel dos ingredientes para a formação do *flavour*

Em geral, os ingredientes utilizados na panificação, principalmente farinha de trigo, possuem características aromáticas peculiares, entretanto, precisam sofrer várias mudanças para produzirem o sabor característico do pão. Por isso, os compostos voláteis presentes na farinha são considerados de menor importância para o desenvolvimento do aroma do produto final (CHO; PETERSON, 2010).

Na panificação, a ação das enzimas pode resultar em efeitos positivos ou negativos no sabor do pão. A atividade enzimática pode ser mais intensa em uma ou outra fase da panificação, mas a atividade começa quando a farinha é hidratada durante a mistura e prossegue até a degradação da estrutura protéica durante o cozimento pelo calor (MARTÍNEZ-ANAYA, 1996; LIU *et al.*, 2017). De acordo com Martínez-Anaya (1996), os principais sistemas enzimáticos para o desenvolvimento do *flavour* na panificação são amilases, proteases e lipoxigenases, embora outras enzimas secundárias, como invertases, oxidases e lipases, possam contribuir em menor grau. As amilases produzem açúcares redutores que se tornam substratos para microbiota fermentativa, resultando em compostos aromáticos e precursores de muitos compostos, principalmente carbonilas, após a reação com aminoácidos

durante o processo de escurecimento não enzimático, catalisados por reações térmicas. As proteases produzem péptidos e aminoácidos, que, assim como os açúcares, participam de reações metabólicas e térmicas que podem ser fontes de peptídios amargos. Lipoxigenases utilizadas em alguns processos de panificação, geram produtos instáveis através da decomposição dos compostos carbonílicos, produzindo aromas indesejados no pão (*off-flavour*).

A massa do pão tem o processo fermentativo afetado pela complexa microbiota de leveduras e bactérias ácido lácticas que conferem características específicas ao *flavour*. Apesar das leveduras desempenharem o papel principal na formação dos compostos do *flavour*, as bactérias ácido-láticas também produzem componentes importantes do aroma e sabor do pão (REHMAN et al., 2006; KATSI et al., 2021).

Outros ingredientes também podem influenciar a geração de compostos voláteis dos produtos de panificação. Por exemplo, a adição de ingredientes ricos em gordura, podem contribuir para uma grande produção de compostos carbonílicos desejáveis durante o cozimento (JOHNSON; EL-DASH, 1969; PETEL; ONNO; PROST, 2017), como também podem produzir um aumento de compostos aromáticos de oxidação lipídica, como (E)-2-nonenal, (E)-2-octenal, hexanal, heptanal, octanal, nonanal, 2-heptenal, 2-octanona, entre outros, dependendo do ácido graxo iniciador da reação (GASSENMEIER; SCHIEBERLE, 1995; BIRCH et al., 2013).

Ingredientes como açúcar cristal, glicose de milho e frutose contribuem para as reações de Maillard e de seus correspondentes compostos agradáveis do aroma (KOMAITIS; AGGELOUSIS, 1993). Ingredientes que contêm gordura e açúcares aumentam acentuadamente a quantidade de 5-hidroximetil-furfural (HMF), composto de odor indesejável (NISHIBORI; KAWAKISHI, 1990).

Guy (1986) mostrou que a diminuição da quantidade de sal na massa de pão de trigo de primavera aumentou seu volume sem produzir diferenças de sabor em comparação com pães sem sal, enquanto que pães feitos com uma mistura de cloreto de sódio e cloreto de potássio (1:1) apresentaram sabor mais amargo quando comparados sensorialmente aos pães feitos com apenas cloreto de sódio.

Ovos são fontes de proteínas e aminoácidos, principalmente prolina, arginina e/ou histidina na massa. Juntamente com a frutose e outros açúcares promovem a formação de algumas piranonas de agradável aroma doce (NISHIBORI; KAWAKISHI 1990; NISHIBORI; KAWAKISHI, 1991).

2.3.2 Efeito do processamento na formação do flavour

O aroma do pão é formado a partir de diversas reações químicas que ocorrem ao longo das etapas de fabricação do produto, principalmente pela atividade fermentativa da levedura, que origina o aroma do miolo e pela reação de Maillard desenvolvida durante o forneamento, responsável pelo aroma da crosta do pão (CONDESSA, 2019).

Schieberle (1990) evidencia em seus estudos que uma das principais diferenças no processo de elaboração de produtos fermentados de panificação são as condições de fermentação. Ao analisar duas amostras de pães submetidas a diferentes tempos e temperaturas de fermentação, demonstrou que a temperatura mais baixa e o tempo de fermentação mais curto (2 horas/22 °C), aumentou a concentração de aldeídos da reação de Strecker, com formação de odor de malte, como o metilpropanal, 2-metilbutanal, 3-metilbutanal e metional, comparados com a amostra fermentada com temperaturas mais elevadas e tempo maior de fermentação (2 horas e 40 minutos/26 °C). Isso pode ser explicado devido a concentração mais elevada de aminoácidos livres agindo como precursores dos aldeídos da reação de Strecker durante o forneamento. Sugere ainda, que a temperatura mais baixa usada na fermentação pode ter atrasado a degradação oxidativa do ácido linoleico.

Na fabricação de pães pelo método de controle de crescimento da massa por refrigeração, foi observada uma velocidade de fermentação lenta, resultando em dois principais efeitos. Em primeiro lugar, produziu-se menos compostos voláteis a partir da fermentação (2-metil-1-propanol, 2-metil-1-butanol, 3-metil-1-butanol) e um aumento na produção de compostos de reações de Maillard (FEILLET, 2000; GALEY, et. al., 1994). Em segundo lugar, houve uma demora na degradação oxidativa do ácido linoleico e uma redução na formação de compostos de aroma da oxidação lipídica como o 1-octeno-3-ona, (E)-2-nonenal, pentanol, hexanal, etc. (ULLRICH; GROSCH, 1987; ZEHENTBAUER; GROSCH, 1998), pela presença de quantidades de ácido ascórbico normalmente empregadas neste método (GALEY et. al., 1994; CHO; PETERSON, 2010).

3 CAPÍTULO II – EXPERIMENTO 1: OTIMIZAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE PRODUÇÃO DE EXTRATO FLAVORIZANTE DE PÃO DE FORMA

RESUMO

Pães são produtos com larga produção de compostos aromáticos durante a fermentação biológica, influenciando seu sabor e aroma. Neste trabalho foi desenvolvido um extrato flavorizante de pão para ser usado em formulações de pães sem fermentação biológica. A otimização das condições de produção do extrato flavorizante de pão foi realizada através da metodologia de superfície de resposta usando o tempo e a temperatura de lixiviação das matrizes como variáveis preditoras e o número e a área total dos picos cromatográficos como variáveis respostas. As matrizes usadas na composição dos extratos, foram: uma massa esponja e um pão de forma. Os voláteis foram extraídos dessas matrizes usando microextração em fase sólida no *headspace* e identificados através de cromatografia gasosa e espectrometria de massa. A análise estatística dos dados para o extrato da massa esponja indicou que a temperatura influenciou de maneira significativa apenas a variável número de picos, já o tempo não apresentou influência para as variáveis respostas. Para o extrato do pão, não houve fatores significativos para as variáveis respostas estudadas. Dentre os 67 compostos voláteis identificados no extrato flavorizante de pão (junção do extrato da massa com o extrato do pão), destacaram-se o 2-fenil-etanol e o 3-metil-1-butanol. O planejamento experimental usado, não permitiu obter uma superfície de resposta para a otimização do processo de fabricação dos extratos, porém foi possível identificar voláteis de impacto no aroma final do pão.

Palavras-chaves: Extrato aquoso. Microextração em fase sólida. Voláteis do pão.

ABSTRACT

Bread is rich in volatiles compounds from biological fermentation that influence the smell and the taste of the product. The aim of this study was to develop a bread flavor extract for using in breads without biological fermentation. The optimization of the production conditions of the bread flavoring extract was conducted through the response surface methodology and used the leaching time and temperature of the matrices as predictor variables and the number and the total area of the chromatographic peaks as response variables. The matrices used for composing the extracts were fermenting dough and loaf of bread. The volatiles of the extracts were analyzed through solid-phase microextraction (SPME) method in the headspace and were identified through gas chromatograph and mass spectrometric (CG-MS). Statistical analysis of the fermented extract dough indicated that temperature significantly influenced only the response variable number of peaks. Time did not significantly influence the response variables studied. The response variable to the extract loaf bread was not significantly influenced to the predictor variables studied. Among the 67 volatile compounds identified stand out the 2-Phenylethanol and 3-Methyl-1-butanol as compound recognized for having a positive correlation with bread aroma. It was concluded that the experimental design used did not allow to obtain a response surface for the optimization of the extracts manufacturing process, however it was possible to identify in the extracts impact volatile for the final bread aroma.

Keywords: Aqueous extract. Bread volatiles. Solid-phase microextraction.

3.1 Introdução

Os compostos voláteis presentes nos alimentos são responsáveis por odores e sabores, e suas classes e concentrações ditam a percepção olfativa e gustativa desses alimentos (ZHOU, 1999).

O gosto e o aroma de um pão são importantes características que afetam a qualidade deste produto (HANSEN; SCHIEBERLE, 2005), sendo influenciados pelos ingredientes escolhidos para sua produção, pelas reações enzimáticas que ocorrem na massa durante a fermentação (leveduras e algumas bactérias ácido lácticas) e por reações térmicas que se desenvolvem durante o forneamento (KIRCHHOFF; SCHIEBERLE, 2001).

Alguns compostos voláteis como o 3,2-metil-1-butanol, 2-fenil-etanol, 3,2-metil-butanal, fenilacetaldeído, furfural, 2,3-butanediona, 3-hidroxi-butanona, acetato de hexila, ácido 3,2-metil-butanóico ou 2-acetil-1-pirrolina apresentam correlação positiva com o aroma de pão, à medida que a concentração desses compostos aumenta, ocorre em paralelo um aumento na percepção do aroma de pão. Por sua vez, o 1-octeno-3-ol, 2,4-(E,E)-decadienal, benzaldeído, hexanal, metional e ácido butírico apresentam correlação negativa com o aroma final de pão, ou seja, um aumento na concentração destes compostos indica decréscimo em sua percepção agradável (PICO et al., 2015).

As possibilidades de remover os compostos voláteis de uma matriz são variadas, no geral é necessário a transferência dos componentes de uma fase para outra e para isso acontecer, faz-se necessário empregar uma metodologia adequada de acordo com o objetivo a ser alcançado (FOUST et. al., 2012). De acordo com o mesmo autor, a eficiência da extração desses compostos dentro de um reator torna-se dependente de variáveis como a temperatura de condução do processo e do tempo que a matriz é submetida a um vórtice.

A Metodologia de Superfície de Resposta é uma técnica estatística muito útil, pois permite a geração de um modelo empírico que aproxima uma relação entre os fatores e as respostas de um processo (BARROS NETO et al., 1995). É uma ferramenta com aplicações importantes quando não se conhece a relação exata entre os fatores a serem avaliados (SARAMAGO et al., 2008).

O propósito deste trabalho foi otimizar uma metodologia de produção de um extrato aquoso contendo substâncias responsáveis pelo *flavour* de um pão de

forma a ser adicionado em formulações de pães de forma, sem fermentação biológica, com a finalidade de reduzir o tempo total do processo de fabricação.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Matérias-primas usadas na produção de massa fermentada e pão de forma

Farinha de trigo Dona Maria tipo 1, com as seguintes características reológicas determinadas através da metodologia 54-21 AACC (2000): tempo de desenvolvimento de 10,5 minutos, estabilidade em 18,4 minutos, tempo de queda de 19,8 minutos e absorção de 61,0%. Açúcar cristal (Estrela, Arês – RN), fermento biológico seco instantâneo (Fleischmann, Pederneira – SP), gordura vegetal hidrogenada (Primor, Ipojuca – PE) e sal refinado iodado (Qualitá, Areia Branca – RN).

3.2.2 Metodologia

A técnica escolhida nesse trabalho para produção do extrato aquoso contendo as substâncias responsáveis pelo *flavour* de um pão de forma foi de lixiviação das matrizes com água usando um reator encamisado. Foi usada uma massa fermentada de farinha de trigo (esponja) e um pão de forma como matrizes individuais para produção dos extratos. Os extratos obtidos foram denominados de extrato de massa (EM) e extrato de pão (EP).

3.2.2.1 Preparo das amostras

3.2.2.1.1 Produção de massa fermentada (esponja)

As amostras de massa fermentada foram preparadas no Laboratório de Tecnologia Química do Departamento de Química e Meio Ambiente do Instituto Federal do Ceará. Os ingredientes usados na produção encontram-se na Tabela 1.

Na produção da massa fermentada (esponja) os ingredientes foram misturados manualmente e fermentados em recipiente de plástico fechado com tampa por cinco horas em temperatura ambiente (27 °C a 29 °C), para posterior obtenção do extrato EM de acordo com a metodologia citada no item 3.2.2.3.

Tabela 1 - Ingredientes para produção da massa fermentada (esponja) de farinha de trigo

INGREDIENTES	QUANTIDADE (%)
Farinha de trigo*	100
Água	100
Fermento biológico seco	5
Açúcar	3

Fonte: dados da pesquisa. * A quantidade total foi usada como referência para determinar o percentual dos demais.

3.2.2.1.2 Produção de pão de forma pelo método massa direta

Os pães foram produzidos no Laboratório de Biomateriais Alimentícios do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará pelo processo massa direta de acordo com a formulação descrita na Tabela 2.

Tabela 2 - Ingredientes para produção do pão de forma por processo massa direta

INGREDIENTES	QUANTIDADE (%)
Farinha de trigo*	100
Água**	58
Gordura vegetal hidrogenada	10
Fermento biológico seco	5
Açúcar	5
Sal	2

Fonte: dados da pesquisa. * A quantidade total foi usada como referência para determinar o percentual dos demais. ** A quantidade utilizada foi de acordo com a capacidade de absorção de água da farinha.

Os ingredientes secos foram misturados por 1 minuto na velocidade 1 da batedeira (Lieme/ modelo BP_6). Posteriormente, os ingredientes úmidos foram adicionados aumentando-se gradualmente a velocidade da batedeira até a última velocidade e permanecendo nesta, até o completo desenvolvimento do glúten. A massa foi dividida em porções de 420 g, sendo modeladas, colocadas em formas retangulares (16 cm x 7 cm x 5 cm), fermentadas em temperatura ambiente e

forneadas à 160 °C por 30 min. Em seguida, os pães foram resfriados à temperatura ambiente, embalados em sacos plásticos e armazenados sob congelamento (-17 °C ± 3 °C) para a produção do extrato EP (item 3.2.2.3).

3.2.2.2 Delineamento experimental aplicado

Com o propósito de modelar os experimentos e estabelecer as condições ótimas de produção dos extratos massa e pão foi realizado um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) para duas variáveis independentes (2^2), incluindo 4 ensaios nas condições axiais e três repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios. O delineamento experimental foi gerado a partir do software Statistica versão 10 da StatSoft, Inc. Os níveis e a matriz do delineamento aplicado encontram-se nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3 - Variáveis e níveis do delineamento composto central rotacional (2^2) para a produção dos extratos de massa e pão

VARIÁVEIS					
INDEPENDENTES	NÍVEL DE VARIAÇÃO				
	- α = -1,41	- 1	0	+1	+ α = 1,41
X ₁ - Tempo (minutos)	0	5	17,5	30	35
X ₂ - Temperatura (°C)	1	5	15	25	29

Fonte: dados da pesquisa

Foi estudado o efeito combinado de duas variáveis independentes, tempo (minutos) e temperatura (°C) de lixiviação das matrizes (amostras) sobre o número e área total dos picos cromatográficos oriundos dos extratos analisados por cromatografia gasosa e espectrometria de massa.

Tabela 4 - Matriz do delineamento experimental com os valores codificados e reais

VARIÁVEIS				
Codificadas			Reais	
Tratamento	Tempo (min.)	Temperatura (°C)	Tempo (min.)	Temperatura (°C)
1	-1	-1	5	5
2	1	-1	30	5
3	-1	1	5	25
4	1	1	30	25
5	0	-1,41	17,5	1
6	0	1,41	17,5	29
7	-1,41	0	0	15
8	1,41	0	35	15
9	0	0	17,5	15
10	0	0	17,5	15
11	0	0	17,5	15

Fonte: dados da pesquisa

3.2.2.3 Obtenção dos extratos Massa (EM) e Pão (EP)

Para a produção dos extratos foi usado um reator encamisado de vidro (APÊNDICE A) com temperatura controlada através de banho contendo propilenoglicol. As amostras ficaram no reator pelo tempo e temperatura propostos pelo delineamento experimental (item 3.2.2.2). Para o extrato EM, 100 gramas de massa fermentada foram agitadas com 50 mL de água destilada. Por sua vez, o extrato EP foi produzido a partir de 100 gramas de pão de forma triturado, com casca e miolo, e agitado com 250 mL de água destilada. O maior volume de água utilizado justificou-se pela característica esponjosa do pão que absorveu intensamente os 50 mL de água, impossibilitando o processo de agitação dentro do reator. Todo o material dentro do reator foi agitado a 561 rpm usando um rotor da marca Marconi modelo MA 502/D/RA.

Após alcançar o tempo de agitação pré-determinado no delineamento experimental, o material foi submetido a uma centrifugação (centrífuga de bancada Quimis, modelo Q222T216) a 5000 rpm por 5 minutos. O sobrenadante (FIGURA 1)

foi separado do precipitado e congelado em recipientes plásticos até a realização das análises de cromatografia gasosa e espectrometria de massa.

Figura 1 – Imagem dos materiais que deram origem aos extratos massa e pão antes e depois do processo de centrifugação



Fonte: arquivo pessoal (2019).

3.2.2.4 Identificação dos compostos do flavour dos extratos EM e EP

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

A extração dos compostos voláteis das amostras (extratos EM e EP) 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 metodologia adaptada de Plessas *et al.* (2008). As amostras (5 g), em triplicata, foram colocadas em frascos especiais (vials) de 20 mL juntamente com 50 μL de padrão interno 2-octanol (40 ppm), em seguida os frascos foram hermeticamente fechados com tampas contendo septo de borracha por onde a fibra foi inserida. Os frascos fechados foram aquecidos a 60 $^{\circ}\text{C}$ e ficaram sob agitação juntamente com a fibra que ficou exposta no *headspace* por 60 minutos. Após esse tempo, a fibra foi removida do frasco e inserida na porta do injetor do cromatógrafo a gás para dessorção térmica e análise dos voláteis pelo espectrômetro de massa.

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

As análises cromatográficas foram realizadas usando um cromatógrafo a gás (Agilent Technologies, modelo 7890B) acoplado a um espectrômetro de massa da mesma marca de modelo 5977 MSD com impacto de elétrons a 70 eV e com a fonte de íons mantida a 150 °C (APÊNDICE B). A coluna cromatográfica empregada foi uma RTX-5 (30 m de comprimento x 0,25mm de diâmetro x 0,25 µm de espessura) e o gás de arraste usado na corrida foi o gás hélio com fluxo constante de 1,0 mL.min⁻¹ (8,7 psi) e velocidade linear constante de 36,7 cm.s⁻¹. A programação do forno do cromatógrafo encontra-se descrita na Tabela 5.

Tabela 5 - Programação da temperatura do forno usada em cada corrida da CG/EM

	Taxa (°C/min.)	Valor (°C)	Tempo de retenção (min.)	Tempo de corrida (min.)
Início	-	45	2	2
Rampa 1	7	100	0	9,8571
Rampa 2	1	114	7	30,857
Rampa 3	3	136	0	38,19
Rampa 4	10	245	5	54,09
Rampa 5	10	260	0	55,59

Fonte: dados da pesquisa.

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 (C9 a C30), 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 1.6) e de bases online (*Nist Chemistry Webbook*, SRD 69).

3.2.2.5 Análise estatística dos dados

Os resultados foram avaliados através da aplicação de Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) para obtenção das Curvas de Contorno e das Superfícies de Respostas para definir as faixas ótimas operacionais de cada variável. Também foi realizada a Análise de Resíduos que consiste no Teste de Significância do ajuste do modelo, baseados na Análise de Variância (ANOVA), para verificar a qualidade do ajuste (determinação do R^2) que fornece uma medida da proporção da variação (através da equação de Regressão) e no Teste F, que avalia se essa Análise de Regressão foi significativa ou não. Todas estas análises foram feitas usando o software Statistica versão 10 da StatSoft, Inc.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Otimização das condições de produção dos voláteis do extrato massa (EM)

Na Tabela 6 podem ser visualizados os resultados dos onze experimentos realizados com as combinações de tempo e temperatura de lixiviação da matriz massa fermentada. Foram ainda calculados os efeitos estimados para as variáveis respostas número de picos e média da área total dos picos (TABELA 7). Os cromatogramas podem ser visualizados no Apêndice C.

Ao analisar a estimativa do efeito das variáveis independentes (tempo e temperatura) sobre o número de picos e área total dos picos do extrato massa (EM), podemos observar que a temperatura em seus modelos linear e quadrático, assim como o modelo de interação (tempo x temperatura) influenciaram de maneira significativa ($p < 0,05$) apenas a variável número de picos. Foi também observado um efeito positivo da temperatura no modelo linear para esta variável resposta. Por sua vez, a temperatura em seu modelo quadrático apresentou efeito negativo, indicando que ao aumentar a temperatura do processo, existe um ponto crítico onde o efeito se inverte, ocorrendo uma diminuição da presença de compostos do *flavour* no extrato, possivelmente pela evaporação provocada pelo calor.

Tabela 6 - Matriz do delineamento experimental (DCCR) com os valores reais e as respostas obtidas na CG/EM para o extrato massa (EM)

VARIÁVEIS INDEPENDENTES			RESPOSTAS	
Reais			*EM	
Ensaio	Tempo (min.)	Temperatura (°C)	Número de picos	Média da área total dos picos
1	5	5	38	1267500197
2	30	5	33	1314930210
3	5	25	30	1567791915
4	30	25	38	1328467028
5	17,5	1	26	523775332
6	17,5	29	36	1080608353
7	0	15	12	342815810
8	35	15	31	1129928657
9	17,5	15	35	1316053637
10	17,5	15	36	1737647630
11	17,5	15	34	1333788510

Fonte: dados da pesquisa. *EM – extrato massa.

Tabela 7 - Efeito e interações calculadas para a variável número de picos e área total dos picos do extrato massa (EM)

FATORES	N° de picos		Área total dos picos	
	Efeito estimado	*Significância (p)	Efeito estimado	*Significância (p)
(1)Tempo (L)	2,78553	0,058812	2,753273E+08	0,244088
Tempo (Q)	0,25000	0,794443	-3,601096E+08	0,214607
(2)Temperatura (L)	7,46751	0,008848	2,303127E+08	0,305277
Temperatura (Q)	-9,25000	0,008177	-4,259292E+08	0,167826
1L x 2L	6,50000	0,022860	-1,433775E+08	0,608726

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

De acordo com os dados experimentais, o tempo (L e Q) não influenciou de maneira significativa (95% de confiança) a extração dos compostos do *flavour* da matriz para o extrato, no entanto, como o fator linear do tempo ($p=0,059$) está próximo do limite ($p<0,05$) e a interação com a temperatura foi significativa, foi mantido este

fator para a ANOVA e construção do modelo.

O modelo reduzido proposto para representar a otimização da produção do extrato massa (EM), no que diz respeito a quantidade de compostos voláteis identificados, encontra-se descrita na Equação 1.

(Equação 1)

$$N^{\circ} \text{ de picos} = 23,9031 - 0,2786*x + 1,3169*y - 0,0466*y^2 + 0,026*x*y$$

Onde: x = tempo de lixiviação (minutos) e y = temperatura de lixiviação ($^{\circ}\text{C}$).

Para que o modelo matemático seja considerado preditivo, na regressão, o F calculado deve ser maior que o F tabelado e, no resíduo (falta de ajuste), o F calculado deve ser menor que o F tabelado (GARCIA, 2013). Então, a partir da análise de variância (ANOVA) da regressão (APÊNDICE D) podemos dizer que o modelo reduzido não apresentou regressão significativa, pois o valor de F calculado (1,79) foi inferior ao valor tabelado ($F_{\text{tab.}} = 4,53$) e que existe uma falta de ajuste dos valores obtidos, pois o valor de F calculado (42,25) foi superior ao valor tabelado ($F_{\text{tab.}} = 19,25$). Além disso, o coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,54398, considerado baixo.

De acordo com Rodrigues e lemma (2014), quando a regressão não é significativa, existe falta de ajuste e o coeficiente de determinação é baixo, o modelo matemático obtido não é considerado preditivo e devido a isso, a superfície de resposta para determinar as condições otimizadas do experimento não foi gerada.

3.3.2 Otimização das condições de produção dos voláteis do extrato pão (EP)

Na Tabela 8 são mostrados os resultados dos onze experimentos realizados com as combinações de tempo e temperatura de lixiviação da matriz pão de forma. Foram ainda calculados os efeitos estimados para as variáveis respostas número de picos e média da área total dos picos (TABELA 9). Os cromatogramas podem ser visualizados no Apêndice E.

Na Tabela 9 podemos observar a análise estatística aplicada aos dados experimentais, indicando que não houve fatores significativos para as respostas número de picos e área total dos picos, pois o p -valor de todos os fatores encontraram-se acima de 0,05.

Tabela 8 - Matriz do delineamento experimental com os valores reais e as respostas obtidas na CG/EM do extrato pão (EP)

VARIÁVEIS INDEPENDENTES			RESPOSTAS	
Reais			*EP	
Ensaio	Tempo (min.)	Temperatura (°C)	Número de picos	Média da área total dos picos
1	5	5	22	732614589
2	30	5	30	578035895
3	5	25	27	664707547
4	30	25	29	579912426
5	17,5	1	37	597713573
6	17,5	29	40	651517249
7	0	15	44	541181799
8	35	15	38	449712476
9	17,5	15	40	723439951
10	17,5	15	31	441011541
11	17,5	15	38	1339629228

Fonte: dados da pesquisa. *EP – extrato pão.

Tabela 9 - Efeito e interações calculadas para a variável número de picos e média da área total dos picos do extrato pão (EP)

FATORES	N° de picos		Área total dos picos	
	Efeito estimado	*Significância (p)	Efeito estimado	*Significância (p)
(1)Tempo (L)	2,06066	0,600302	2514844	0,994527
Tempo (Q)	-4,20833	0,400939	-170684992	0,702098
(2)Temperatura (L)	0,37868	0,920126	-92182743	0,803313
Temperatura (Q)	-1,70833	0,709395	-299853266	0,519269
1L x 2L	-3,00000	0,590486	34891787	0,946386

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

Assim, não foi possível estabelecer um modelo preditivo para as variáveis estudadas e nem tampouco, avaliar o modelo pela metodologia de superfície de resposta. Embora não tenha sido possível determinar as condições otimizadas para a

produção do extrato massa (EM) e do extrato pão (EP) através da análise da superfície de resposta, um experimento (tempo/temperatura) de cada matriz foi escolhido para produzir o extrato flavorizante de pão de forma oriundo da mistura dos extratos EM e EP. Para essa escolha levamos em consideração a área total dos picos e o número de picos gerados na CG/EM.

Entre os experimentos que tiveram maiores áreas e números de picos, foram selecionadas as temperaturas mais próximas à temperatura ambiente como fator auxiliar na tomada de decisão, pois quanto mais próxima da temperatura ambiente, maior será a economia do processo produtivo do pão. Na Tabela 10 foi possível verificar que no extrato massa (EM) a maior média da área total dos picos foi no experimento que usou 25 °C por 5 minutos, porém no experimento conduzido a 25 °C durante 30 minutos, podemos perceber que usando a mesma temperatura e um tempo maior de lixiviação foi possível obter um resultado com 8 picos a mais que o experimento realizado com 5 minutos.

Tabela 10 - Média e desvio padrão da área total dos picos e o número de picos detectados em cromatografia gasosa dos extratos massa (EM) e pão (EP)

Variáveis Extrato Massa (EM)				Variáveis Extrato Pão (EP)			
Temper. / Tempo (°C/min.)	Média da AT (x10 ⁸)	Desvio padrão (x10 ⁸)	Nº picos	Temper. / Tempo (°C/min.)	Média da AT (x10 ⁸)	Desvio padrão (x10 ⁸)	Nº picos
25/5	15,67 ^a	0,477	30	15/17,5	8,35 ^a	2,070	36
15/17,5	14,62 ^a	3,260	35	5/5	7,33 ^{ab}	0,448	22
25/30	13,28 ^a	2,290	38	25/5	6,65 ^{ab}	1,070	27
5/30	13,14 ^a	1,070	33	29/17,5	6,52 ^{ab}	0,998	40
5/5	12,67 ^a	0,482	38	1/17,5	5,98 ^{ab}	0,198	37
15/35	11,29 ^{ab}	0,219	31	25/30	5,80 ^{ab}	0,553	29
29/17,5	10,80 ^{ab}	3,780	36	5/30	5,78 ^{ab}	1,260	30
1/17,5	5,24 ^{bc}	4,140	26	15/0	5,41 ^b	0,502	44
15/0	3,43 ^c	0,180	12	15/35	4,50 ^b	0,108	38

Fonte: dados da pesquisa. *Médias com letras iguais não diferem estatisticamente a 5% de significância pelo teste de Tukey; AT- área total dos picos.

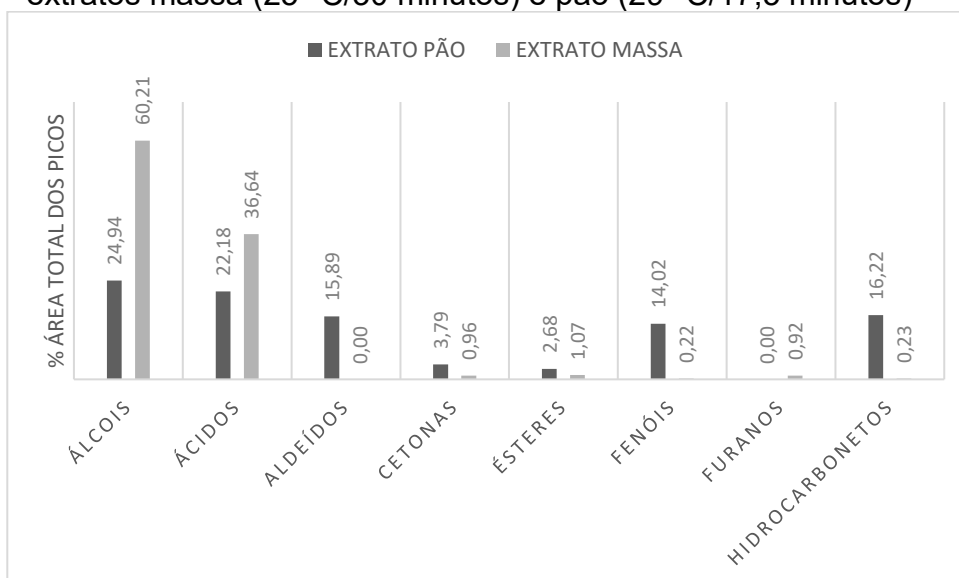
Como esses experimentos apresentaram médias estatisticamente iguais segundo o teste de Tukey, foi selecionado 25 °C por 30 minutos para produção do

extrato massa (EM) que comporá o extrato final. Já a análise do extrato pão (EP) sugere que 29 °C por 17,5 minutos é o experimento mais indicado para a extração dos voláteis por ter apresentado o maior número de picos que os experimentos (15 °C /17,5 minutos, 5 °C /5 minutos e 25 °C /5 minutos) que tiveram as maiores médias e pela média da área total dos picos ter sido estatisticamente igual aos experimentos citados. Além disso, a temperatura de produção do extrato é bem próxima à temperatura ambiente.

3.3.3 Compostos voláteis identificados

De acordo com as análises de cromatografia e espectrometria de massa as classes das substâncias químicas mais abundantes dos compostos voláteis identificados no extrato massa (25°C/30 minutos) e no extrato pão (29°C/17,5 minutos) foram álcoois e ácidos. Outras classes químicas menos abundantes, porém importantes para o sabor e aroma de pão também foram identificadas, são elas: aldeídos, cetonas, ésteres, fenóis, furanos e hidrocarbonetos. Na Figura 2 pode ser visto o percentual da área relativa por classe química calculada com base na área total dos picos dos cromatogramas por amostra.

Figura 2 - Área percentual dos voláteis por classe química nos extratos massa (25 °C/30 minutos) e pão (29 °C/17,5 minutos)



Fonte: dados da pesquisa.

O extrato EM apresentou percentuais mais elevados de álcoois e ácidos

orgânicos que o extrato EP, o que é justificado pelas reações ocorridas na massa durante a longa fermentação alcoólica. Nesta etapa, as enzimas amilolíticas presentes na farinha convertem progressivamente o amido em dextrinas e açúcares, onde a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, por ação enzimática, usa 95% dos açúcares gerando etanol e dióxido de carbono como os principais produtos dessa reação (CARBAJO, 2018), entretanto, os 5% dos açúcares restantes participam de reações secundárias gerando compostos como ácidos orgânicos, outros álcoois, cetonas, ésteres, assim como furanos, hidrocarbonetos, entre outros (BIANCHI *et al.*, 2008, CHO; PETERSON, 2010 E MARTÍNEZ-ANAYA, 1996).

Resultado semelhante foi observado no extrato EP em relação aos compostos majoritários, porém apresentou aldeídos, cetonas, ésteres, fenóis e hidrocarbonetos em maiores proporções que o extrato EM. Isto pode ser explicado pelo fato que a matriz usada para a elaboração do extrato EP foi um produto que além de passar por processos fermentativos, também passou por reações de Maillard (incluindo a degradação de Strecker), caramelização e degradação térmica de aminoácidos e açúcares durante a etapa de forneamento, produzindo inúmeros compostos voláteis (PICO *et al.*, 2015). O Hidroxitolueno butilado aparece na identificação do perfil de voláteis do extrato pão aumentando fortemente o percentual de compostos deste extrato sem ser um composto natural deste produto. Sua presença no extrato é decorrente da gordura usada na fabricação do pão que gerou o extrato EP, pois é prática comum da indústria usar o Hidroxitolueno butilado (BHT) como antioxidante de produtos com alto teor de lipídios.

Na Tabela 11 encontram-se 67 compostos voláteis identificados por cromatografia gasosa e espectrometria de massa, sendo 38 compostos do extrato massa produzido a 25 °C por 30 minutos e 40 compostos do extrato pão produzido a 29 °C por 17,5 minutos.

Belitz *et al.* afirmam (2009) que a fração volátil de pães é muito numerosa e complexa, sendo o perfil desses voláteis decorrente de fatores como os ingredientes usados na fabricação do produto, das etapas de fermentação, forneamento e da metodologia usada para captação e análise cromatográfica destes compostos. De acordo com Carbajo (2018), 3-metil-1-butanol, ácido acético, etanol, 1-hexanol, hexanal e 2-fenil-etanol são compostos frequentemente identificados em pães feitos de trigo, tendo sido também identificados nesse trabalho.

Tabela 11 - Compostos voláteis identificados no extrato massa (EM) e extrato pão (EP) produzidos a temperatura de 25 °C/30 min. e 29 °C/17,5 min., respectivamente (continua)

IK ^a	Compostos voláteis ^b	Média da área total dos picos (x10 ⁶) ^c		% (área) ^d	
		EM	EP	EM	EP
<905	Dióxido de carbono	nd	3,74±0,61	nd	0,59±0,15
<905	Etanol	118,55±45,19	33,68±7,78	8,73±2,42	5,32±1,71
<905	Ácido acético	nd	26,77±1,32	-	4,06±1,70
<905	2,3-Pentanediona	11,22±0,70	nd	0,77±0,10	-
<905	3-Metil-1-butanol	465,38±131,76	nd	34,64±4,34	-
<905	Ácido propanoico, 2-metil, etil éster	6,77±0,91	nd	0,51±0,05	-
<905	Hexanal	nd	14,07±7,13	-	2,17±1,12
<905	2,3-Butanediol	5,62±1,34	15,46±7,79	0,41±0,03	2,37±1,14
<905	Ácido butanóico, 2-metil-, etil éster	2,79±0,52	nd	0,20±0,00	-
<905	1-Hexanol	14,96±2,43	24,43±0,31	1,12±0,01	3,80±0,53
<905	3-Metil-1-butanol acetato	2,92±0,18	7,03±1,54	0,22±0,03	1,07±0,08
<905	2-Metil-1-butanol acetato	nd	10,13±1,50	-	1,60±0,47
905	Ácido pentanóico etil éster	4,04±2,26	n.d	0,33±0,24	-
906	Heptanal	nd	15,53±0,37	-	2,41±0,31
968	Benzaldeído	nd	24,42±0,90	-	3,81±0,64
977	1-Heptanol	5,15±0,36	5,54±1,49	0,40±0,09	0,94±0,34
984	1-Octeno-3-ol	3,76±0,29	4,58±4,23	0,29±0,07	0,66±0,51
990	Ácido hexanóico	8,26±1,49	nd	0,64±0,22	-
992	6-Metil-5-hepten-2-ona	nd	8,36±10,85	-	1,16±1,39
994	2-pentil-furano	12,03±0,75	nd	0,92±0,11	-

Tabela 11 - Compostos voláteis identificados no extrato massa (EM) e extrato pão (EP) produzidos a temperatura de 25 °C/30 min. e 29 °C/17,5 min., respectivamente (continuação)

IK ^a	Compostos voláteis ^b	Média da área total dos picos (x10 ⁶) ^c		% (área) ^d	
		EM	EP	EM	EP
995	2-Octanona	nd	11,28±0,99	-	1,76±0,30
1001	Ácido hexanóico, etil éster	147,33±3,60	nd	11,34±2,25	-
1016	Ácido propanoico, 2-metil-3-metibutil éster	3,07±0,28	nd	0,23±0,05	-
1018	Ácido acético hexil éster	nd	13,60±0,59	-	2,11±0,27
1019	Ácido propanoico, 2-metil-2-metibutil éster	4,14±0,39	nd	0,31±0,03	-
1030	1-metil-3-(1-metiletil)-benzeno	nd	6,51±3,00	-	0,98±0,36
1033	D-Limoneno	2,98±0,40	30,97±5,54	0,23±0,07	4,77±0,67
1060	2-Metil-decano	nd	17,84±2,32	-	2,78±0,60
1075	2,6-Dimetil-7-octen-2-ol	nd	9,07±7,85	-	1,31±0,94
1097	Ácido hexanóico, propil éster	nd	7,24±4,67	-	1,07±0,54
1099	Ácido heptanóico, etil éster	13,80±2,22	n.d	1,08±0,37	-
1105	Nonanal	nd	39,59±1,94	-	6,17±0,94
1116	2-Fenil-etanol	195,21±44,21	67,41±3,78	14,60±1,24	10,52±1,76
1150	Ácido hexanóico, 2-metilpropil éster	13,46±1,07	nd	1,02±0,11	-
1179	Ácido octanóico	11,10±1,50	nd	0,84±0,11	-
1192	Ácido hexanóico, butil éster	nd	11,23±4,62	-	1,68±0,53
1198	Ácido octanóico, etil éster	179,28±14,50	52,55±3,64	13,65±1,35	8,13±0,67
1206	Decanal	nd	8,50±0,24	-	1,32±0,16
1213	2,6-dimetil-undecano	nd	5,46±3,17	-	0,80±0,40

Tabela 11 - Compostos voláteis identificados no extrato massa (EM) e extrato pão (EP) produzidos a temperatura de 25 °C/30 min. e 29 °C/17,5 min., respectivamente (continuação)

IK ^a	Compostos voláteis ^b	Média da área total dos picos (x10 ⁶) ^c		% (área) ^d	
		EM	EP	EM	EP
1237	Ácido butanóico, 2-metil-hexil éster	nd	7,61±4,77	-	1,13±0,70
1249	Isopentil hexanoato	9,23±1,32	nd	0,70±0,04	-
1252	Ácido hexanóico, 2-metilbutil éster	6,72±0,75	nd	0,51±0,03	-
1279	2,6,11-Trimetil-dodecano	n.d	18,00±4,43	-	2,73±0,27
1297	Ácido nonanóico etil éster	5,22±0,87	n.d	0,39±0,01	-
1289	Ácido hexanóico, pentil éster	nd	14,25±5,54	-	2,13±0,60
1315	2-Metoxi-4-vinilfenol	2,03±1,11	nd	0,15±0,07	-
1319	2,3,5,8-tetrametil-decano	nd	2,08±0,88	-	0,31±0,11
1348	Ácido n-caprílico isobutil éster	4,94±0,50	nd	0,38±0,03	-
1353	5-Metil-tridecano	nd	3,45±1,00	-	0,52±0,11
1363	2-Metil-tridecano	nd	1,36±0,97	-	0,20±0,14
1363	Dihidro-5-pentil-2(3H)-furanona	2,36±0,05	nd	0,18±0,03	-
1372	Ácido propanoico, 2-metil-2-etil-3-hidroxihexil éster	2,61±0,54	4,87±1,62	0,20±0,00	0,75±0,25
1387	Ácido hexanóico, hexil éster	nd	1,75±1,05	-	0,26±0,15
1397	Ácido decanóico etil éster	38,39±6,60	2,85±1,24	2,92±0,55	0,42±0,11
1399	Tetradecano	nd	17,03±4,92	-	2,58±0,41
1446	Ácido octanóico, 3-metilbutil éster	3,41±0,17	nd	0,26±0,03	-
1449	Ácido octanóico, 2-metilbutil éster	1,49±0,11	nd	0,11±0,01	-
1462	2,6-bis(1,1-dimetiletil)-2,5-ciclohexadieno-1,4-diona	nd	5,69±0,57	-	0,88±0,05

Tabela 11 - Compostos voláteis identificados no extrato massa (EM) e extrato pão (EP) produzidos a temperatura de 25 °C/30 min. e 29 °C/17,5 min., respectivamente (conclusão)

IK ^a	Compostos voláteis ^b	Média da área total dos picos (x10 ⁶) ^c		% (área) ^d	
		EM	EP	EM	EP
1512	Hidroxitolueno butilado	nd	93,87±9,38	-	14,02±4,17
1516	2,4-bis(1,1-dimetiletil)-fenol	0,90±0,01	nd	0,07±0,01	-
1598	Ácido dodecanóico etil éster	3,53±0,70	nd	0,27±0,07	-
1600	Hexadecano	nd	3,20±0,87	-	0,51±0,20
1797	Ácido tetradecanóico etil éster	0,63±0,05	nd	0,04±0,01	-
1877	Ácido 1,2-benzenodicarboxílico, bis(2-metilpropil) éster	nd	2,30±2,60	-	0,40±0,48
1976	Etil 9-hexadecenoato	1,02±0,17	nd	0,08±0,02	-
1995	Ácido hexadecanóico etil éster	16,96±4,68	nd	1,34±0,61	-
2171	Etil oleato	0,83±0,71	nd	0,07±0,06	-

Fonte: dados da pesquisa.

a Índice de Kovats calculado usando uma série de n-alcenos (C9 a C30) como referência.

b Compostos identificados por espectros de massa (MS) utilizando o banco de dados NIST, comparação do índice de retenção e espectro de massa.

c Área relativa de cada composto volátil (Counts*10⁶).

d Média percentual da área relativa por composto identificado, calculado com base na área total dos picos do cromatograma.

nd – Não detectável, presente em quantidade abaixo do limite de detecção ou não está presente.

Os voláteis mais expressivos identificados neste estudo, tanto no extrato EM quanto no EP, são reportados na literatura como importantes compostos para o aroma de pão. São eles: o 2-fenil-etanol e 3-metil-1-butanol. Estes compostos apresentam correlação positiva com aroma de pão, ou seja, quanto mais abundantes estiverem presentes, maior será a qualidade sensorial do produto. Entretanto, alguns compostos como 1-hexanol, hexanal e 1-octeno-3-ol, também identificados e importantes para o aroma de um pão, apresentam correlação negativa, uma vez que um aumento na concentração desses compostos, promove uma diminuição da

percepção agradável do aroma (HANSEN; HANSEN, 1996, SALIM-UR-REHMAN *et al.*, 2006 E PARASKEVOPOULOU *et al.*, 2012).

3.4 Conclusão

A metodologia utilizada para a produção de um extrato aquoso contendo substâncias responsáveis pelo *flavor* de pão a partir dos parâmetros experimentais usados, gerou um modelo matemático para a produção do extrato massa (EM) que não foi preditivo e não apresentou fatores significativos para as variáveis estudadas no extrato pão (EP), logo não foi possível avaliar o experimento através da metodologia de superfície de resposta.

Os extratos EM (25°C / 30 min.) e EP (29°C / 17 min.) caracterizaram-se por serem abundantes em álcoois e em ácidos e por apresentarem voláteis de impacto para o aroma final de pão como o 2-fenil-etanol e o 3-metil-1-butanol.

Novos estudos são necessários para encontrar parâmetros que possibilitem a construção de um modelo matemático capaz de gerar uma metodologia de superfície de resposta e assim, proporcionar uma otimização da produção do extrato flavorizante de pão. Provavelmente, ao diminuir a amplitude de variação mínima e máxima dos valores de entrada do delineamento, como por exemplo, o tempo de mistura das matrizes dentro do reator entre 20 a 30 minutos e a temperatura entre 15 a 30 °C, possa favorecer o aparecimento do ponto ótimo do processo, pois valores abaixo e acima destes, promoveram respostas menos favoráveis às variáveis estudadas.

4 CAPÍTULO III – EXPERIMENTO 2: PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PÃO DE FORMA OBTIDO POR PROCESSO RÁPIDO

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 (DCCR) 2^3 com 17 ensaios foi aplicado para definir a melhor formulação para o pão proposto, obtida através da avaliação da qualidade tecnológica por uma equipe treinada. As variáveis independentes foram o extrato flavorizante de pão, fermento químico e gordura vegetal e as variáveis dependentes foram suas características externas, internas, aroma, sabor e escore total de qualidade. Os pães da melhor formulação foram submetidos a análises físico-químicas (umidade, cinzas, proteína, lipídios, carboidratos e pH), teste de aceitação (escala de atitude) 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 analisados neste experimento 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 sendo, é possível fabricar um pão de forma com redução do tempo de processamento (< 1,0 hora) e com aceitação sensorial satisfatória.

Palavras-chaves: 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 (DCCR) 2^3 with 17 tests were applied to define the best formulation, obtained through of the bread quality evaluation by a trained team. The independent variables were the flavoring extract of bread, baking powder and vegetable fat while the dependent variables were internal and external characteristics, aroma, taste and total quality score. The best bread formulation was subjected to physical-chemical analysis (moisture, ash, protein, lipids, carbohydrates and pH), acceptance test (attitude scale) 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 produced in this experiment 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.

4.1 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; 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. Conseqüentemente 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.

4.2 Materiais e métodos

4.2.1 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).

4.2.2. Equipamentos utilizados

Batedeira semi-industrial (Gastromaq, modelo BP – 06), balança digital (SF – 400) e forno elétrico turbo (Vulcan, modelo FEMD 108SP).

4.2.3 Metodologia

4.2.3.1 Delineamento experimental

Com o propósito de definir a melhor formulação para produção do pão rápido 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 *et al.* (2010) e Clark (2014). Os níveis iniciais do extrato flavorizante de pão foram baseados em 10 testes preliminares. Os níveis e a matriz do delineamento aplicado encontram-se nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Variáveis e níveis do delineamento composto central rotacional (2^3) para os testes das formulações dos pães

VARIÁVEIS	NÍVEL DE VARIAÇÃO					
	INDEPENDENTES	$-\alpha = -1,68$	- 1	0	+1	$+\alpha = 1,68$
X ₁ - Extrato (%)		0	2	8,5	15	19,4
X ₂ - Fermento (%)		0	1	3,5	6	7,7
X ₃ - Gordura (%)		1,3	3	5,5	8	9,7

Fonte: dados da pesquisa.

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.

Tabela 2 - 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, característica interna da crosta, 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.

4.2.3.2 Preparo dos pães

Os pães foram fabricados de acordo com a metodologia proposta por El-Dash (1978). Na Tabela 3 encontram-se os ingredientes usados nas formulações, com exceção do extrato, fermento químico e gordura vegetal hidrogenada que seguiram o delineamento experimental exposto na Tabela 2.

Tabela 3 - Formulação do pão de forma elaborado por método rápido

INGREDIENTES	QUANTIDADE (%)
Farinha de trigo*	100
Água**	58
Leite em pó desnatado	6
Xarope de glucose	2
Sal	1,75
Melhorador***	0,08

Fonte: dados da pesquisa. * A quantidade total foi usada como referência para determinar o percentual dos demais. ** A quantidade variou de acordo com a absorção de água da farinha. *** preparado com aditivos para produtos de panificação.

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.

4.2.3.3 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 4).

Tabela 4 - Características de avaliação da qualidade de pães e respectivas pontuações máximas, segundo metodologia desenvolvida por El-Dash (1978)

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

Fonte: El-Dash (1978).

Ao final, os pães foram classificados (TABELA 5) quanto à qualidade em função do total de pontos recebidos usando a classificação apresentada por Dutcosky (1996).

Tabela 5 - Classificação da qualidade do pão

Pontuação	Classificação
81 a 100	Pão de boa qualidade
61 a 80	Regular
31 a 60	Ruim
<30	Muito ruim – qualidade inaceitável

Fonte: Dutcosky (1996).

4.2.3.3.1 Volume específico (cm³/g)

O volume foi medido através do deslocamento de sementes de painço, de acordo com a metodologia de n° 72-10 da AACC (2000), em triplicata. O volume específico foi calculado pela divisão do volume deslocado do pão (mL) pela sua massa (g).

4.2.3.3.2 Características avaliadas

Os avaliadores usaram a descrição dos fatores desejáveis e indesejáveis citados na Figura 1 como parâmetros para pontuarem cada característica observada nos pães durante os testes. Esses descritores foram adaptados de Couto (2007) e Ribeiro (2009).

Figura 1– Quadro da descrição dos fatores desejáveis e indesejáveis de cada característica avaliada nos pães de forma

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

Fonte: elaborada pela autora.

As características externas foram analisadas com os pães inteiros e a textura

por compressão do miolo entre os dedos. A ficha usada para marcação dos escores encontra-se no Apêndice F.

4.2.3.4 Análise sensorial

A aplicação da 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 panificação e a frequência de consumo de pães convencionais.

O recrutamento dos analistas foi feito através de postagem em grupos de trabalho no WhatsApp, na qual constou o convite para a participação da pesquisa, com o objetivo, riscos e benefícios aos participantes. Participaram 105 analistas, do sexo masculino e feminino, entre servidores e terceirizados do Instituto Federal do Ceará – campus fortaleza, a partir de 18 anos. O processo contou com a assinatura do Termo de consentimento livre e esclarecido (APÊNDICE G), tendo sido vedada à participação aos portadores de intolerância à lactose e ao glúten. Devido à pandemia provocada pelo Coronavírus, o teste foi aplicado ao ar livre para minimizar o risco do contágio e a disseminação do vírus (APÊNDICE H).

Uma fatia de pão (50g) foi servida em recipiente descartável de cor branca, acompanhada com água mineral para limpeza do paladar antes da prova da amostra. Estavam disponíveis para cada analista, lápis, borracha e a ficha para avaliação do pão (APÊNDICE I).

4.2.3.4.1 Teste de aceitação usando a escala de atitude

Este teste seguiu a metodologia descrita por Schutz (1964) utilizando uma escala previamente estabelecida, chamada FACT (Food Action Rate Scale). Esta escala (FIGURA 2) baseia-se 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.

Figura 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 (FIGURA 2), 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).

4.2.3.5 Análises físico-químicas

Adotou-se para estas análises o que está descrito na American Association of Cereal Chemists (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.

4.2.3.6 Identificação dos voláteis presentes no pão

4.2.3.6.1 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 μ m de espessura, de acordo com Ruiz *et al.* (2003) e Almeida (2015). As amostras (1g), em triplicata, foram trituradas e colocadas em frascos especiais (vials) de 40 mL juntamente com 50 μ L 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.

4.2.3.6.2 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 (APÊNDICE B) com impacto de elétrons a 70 eV e com a fonte de íons e interface foram 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 μ m 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 programação do forno do cromatógrafo encontra-se descrita na Tabela 4 do item 3.2.2.4.2.

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-alcanos (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).

4.2.3.7 Análises estatísticas

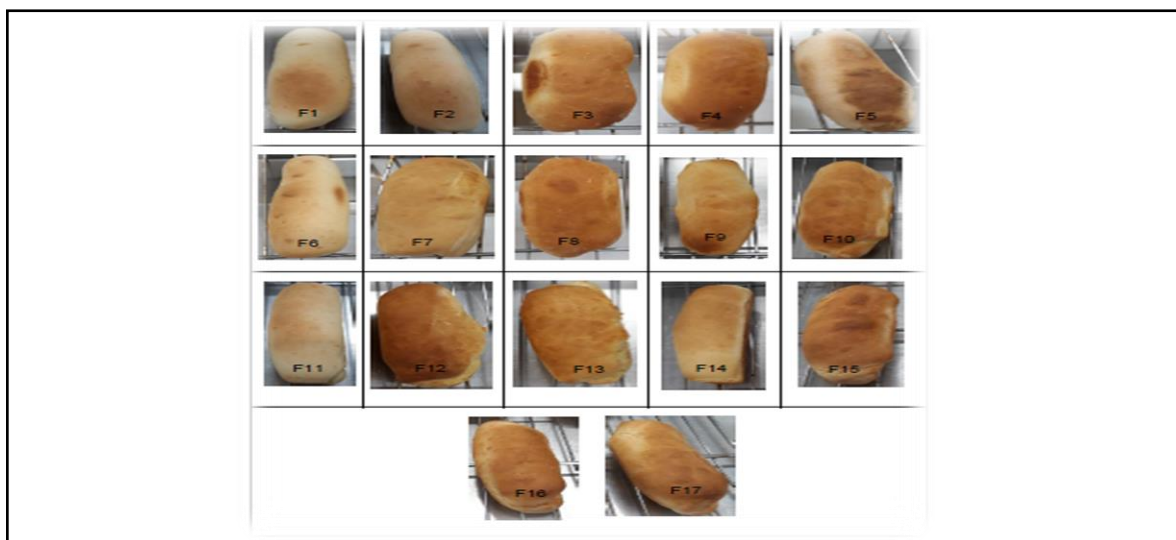
Os resultados das análises foram apresentados por meio de médias e desvios padrão, além da análise de variância (ANOVA) e comparação entre médias por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$), quando necessário. Os dados estatísticos foram obtidos utilizando-se o software Statistica versão 10 da StatSoft,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

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Avaliação da qualidade tecnológica dos pães

As imagens dos pães submetidos aos testes de qualidade encontram-se na Figura 3 e os resultados obtidos encontram-se nas Tabelas 6 e 7.

Figura 3 – Pães de forma desenvolvidos para a avaliação da qualidade tecnológica



Fonte: arquivo pessoal (2020). ***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.

A partir do delineamento aplicado para a formulação dos pães, foi possível verificar a existência ou não de influência do extrato flavorizante de pão, fermento químico e gordura para a qualidade tecnológica dos pães de forma. Quando possível, um modelo preditivo e uma superfície de resposta foi construída para as variáveis resposta estudadas.

Tabela 6 - 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 (x 3,33)	CC	QU	SI
1	2	1	3	3,79 ^{fg} ± 0,17	6,50 ⁱ ± 0,52	1,07 ^m ± 1,49	2,56 ^{gh} ± 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 ^j ± 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	2	1	3	5,91 ^{bc} ± 0,21	8,92 ^a ± 0,90	3,50 ^a ± 0,53	2,67 ^{defg} ± 0,49
11	2	1	8	3,59 ^g ± 0,07	6,73 ^h ± 1,74	2,55 ^f ± 0,52	3,40 ^b ± 0,52
12	2	6	3	6,69 ^a ± 0,11	8,90 ^a ± 0,88	2,67 ^e ± 0,58	3,00 ^c ± 1,50
13	2	6	8	6,61 ^{ab} ± 0,28	8,43 ^b ± 0,53	2,08 ⁱ ± 1,04	1,80 ^j ± 1,55
14	15	1	3	4,37 ^{ef} ± 0,09	8,00 ^d ± 1,28	1,56 ^l ± 0,53	2,08 ^{hi} ± 1,44
15	15	1	8	5,91 ^{bc} ± 0,20	8,20 ^c ± 1,55	1,86 ^j ± 1,56	2,42 ^{ghi} ± 1,83
16	15	6	3	6,23 ^{ab} ± 0,35	7,36 ^f ± 1,36	3,17 ^b ± 0,83	2,91 ^{cde} ± 0,83
17	15	6	8	5,89 ^{bc} ± 0,04	7,55 ^e ± 0,52	2,82 ^c ± 0,87	2,64 ^{defg} ± 0,50

Fonte: dados da pesquisa. 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.

Tabela 7 - Matriz do delineamento experimental (DCCR) com as respostas das características internas, aroma e sabor, obtidas na avaliação da qualidade tecnológica dos pães

VARIÁVES INDEPENDENTES				VARIÁVES 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 ^j ± 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

Fonte: dados da pesquisa. E – extrato flavorizante de pão; F – fermento químico; G – gordura vegetal hidrogenada; VE – volume específico (cm³.g⁻¹); CIC – característica interna da crosta; CM – cor do miolo; ECM – estrutura da célula 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.

Ao analisar os resultados estatísticos da estimativa do efeito (APÊNDICE J) 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 *et al.* (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 pode ser obtido, assim como uma superfície de resposta.

Na Tabela 8 encontram-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 8 - Efeito e interações calculadas para as variáveis cor da crosta e características internas da crosta do pão

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

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

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 (APÊNDICE K). 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 ($F_{\text{cal.}} = 42,25$; $F_{\text{tab.}} = 19,25$) 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 9.

Tabela 9 - Efeito e interações calculadas para as variáveis cor do miolo e estrutura das células do miolo do pão

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

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

A análise estatística para a cor do miolo (TABELA 9) 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; 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 (APÊNDICE L).

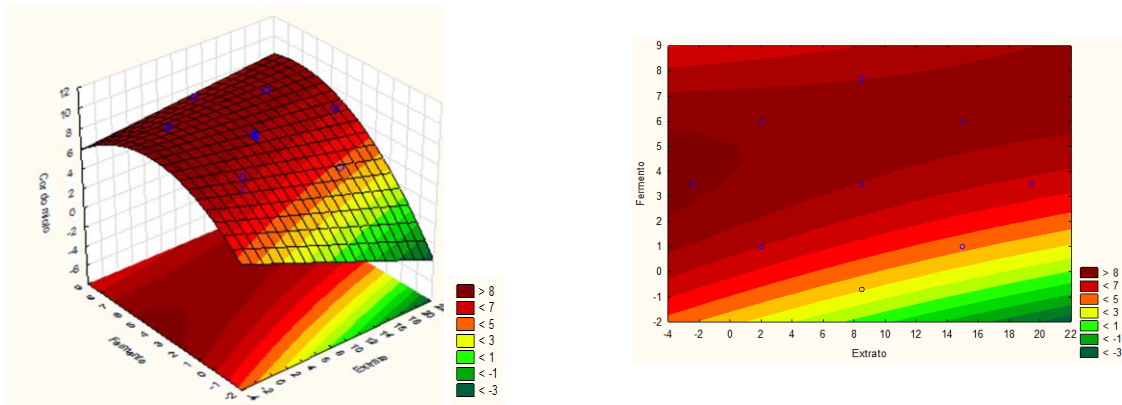
O teste F usado na análise de variância da regressão indica que o modelo matemático é preditivo, pois o F calculado (9,79) foi maior que o F tabelado (3,20) e a regressão explica 81,66% da variação dos resultados. Embora a análise de variância do resíduo tenha mostrado uma falta de ajuste ($F_{\text{cal.}} = 22,79$; $F_{\text{tab.}} = 19,38$), 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 4 - 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



(a)

(b)

Fonte: dados da pesquisa.

Nos gráficos do efeito da quantidade de fermento e extrato para a cor do miolo (FIGURA 4) 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 pH, 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 (APÊNDICE S). Os dados presentes na Tabela 7 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 9) 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 *et al.*, 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 influenciando diretamente a formação adequada das células do miolo (CAUVAIN, 2003a).

Os termos significativos foram submetidos ao cálculo da ANOVA para construção de um modelo preditivo para a variável estrutura da célula do miolo (APÊNDICE M).

Embora a variação explicada (81,99%) tenha sido razoável, a análise de variância da regressão ($F_{cal.} = 3,54$; $F_{tab.} = 3,68$) e do resíduo ($F_{cal.} = 59,39$; $F_{tab.} = 19,30$) mostraram que o modelo não se ajusta bem aos dados experimentais e por isso, não podemos construir um modelo matemático preditivo.

A Tabela 10 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 CO_2) e, por consequência, menor expansão da massa.

Tabela 10 - Efeito e interações calculadas para as variáveis textura, aroma e sabor do pão

FATORES	Textura		Aroma		Sabor	
	Efeito	*Signific. (p)	Efeito	*Signific. (p)	Efeito	*Signific. (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

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

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 (APÊNDICE N) 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 ($F_{cal.} = 73,49$; $F_{tab.} = 19,30$) 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 10) 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 (APÊNDICE O) para a variável aroma demonstrou que a variância explicada é baixa (69,43), que existe uma falta de correlação ($F_{\text{cal.}} = 1,77$; $F_{\text{tab.}} = 3,68$) entre as variáveis estudadas e uma falta de ajuste ($F_{\text{cal.}} = 534,27$; $F_{\text{tab.}} = 19,30$) ao modelo proposto. Assim, o modelo não se ajustou aos dados experimentais e não podemos gerar uma superfície de resposta.

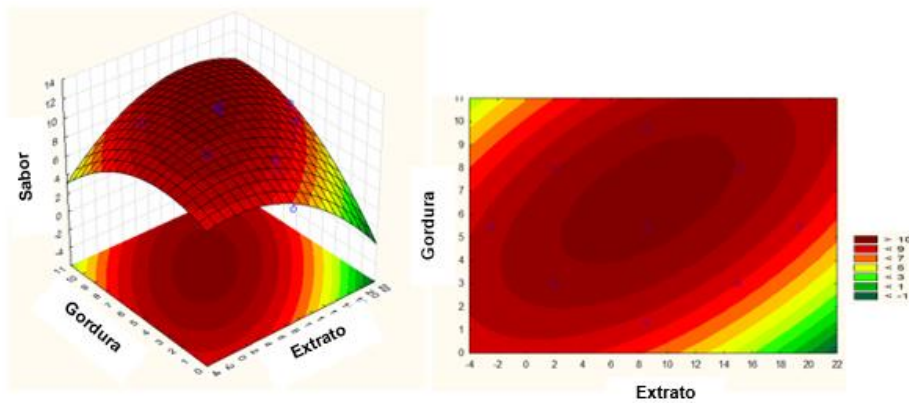
Os resultados do teste de avaliação da qualidade para o sabor demonstraram que a maioria dos pães recebeu pontuações acima da média de um total de 15 pontos, a menor pontuação (1,5) foi dada para a formulação que tinha os menores níveis de fermento e gordura e uma elevada concentração de extrato flavorizante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

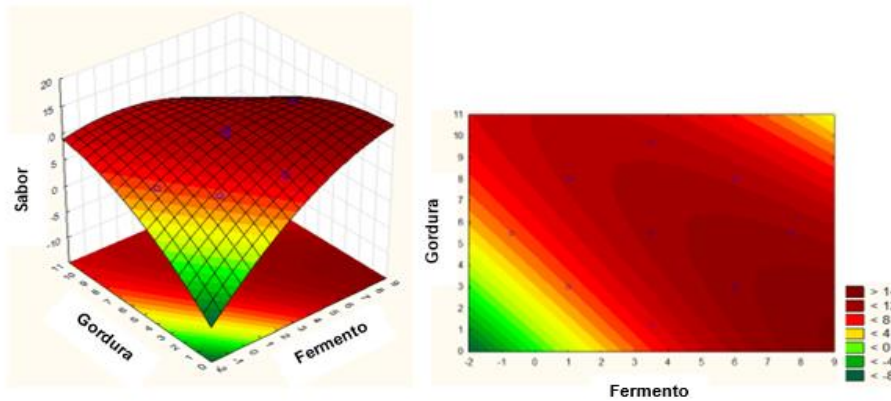
A análise estatística (TABELA 10) do efeito dos fatores estudados em relação ao sabor, demonstrou que o extrato no modelo linear e o modelo de interação extrato/fermento não foram significantes ao nível estudado (5%). Efeito positivo foi encontrado para o fermento e gordura em seus modelos lineares e 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 (APÊNDICE P) da regressão gerando um teste de F significativo ($F_{\text{cal.}} = 6,30$; $F_{\text{tab.}} = 3,29$) com uma boa variação explicada (83,05%) e uma falta de ajuste não significativa ($F_{\text{cal.}} = 10,40$; $F_{\text{tab.}} = 19,35$). 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 5 - Superfícies de resposta e curvas de contorno para a variável sabor em função da quantidade de gordura e extrato (a) e de gordura e fermento (b)



(a)



(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 5a) 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 5b) 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 6) 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 Veluppillai, *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 11 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 11 - Efeito e interações calculadas para as variáveis volume específico e escore total da qualidade do pão

FATORES	Volume específico		Escore total de 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

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

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, *et al.*, 2017; JAEKEL; SCHIMIELE; CHANG, 2020; ROSAS-SÁNCHEZ, *et al.*, 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 (APÊNDICE Q). 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 ($F_{\text{cal.}} = 10,39$; $F_{\text{tab.}} = 19,30$) e o coeficiente de explicação está próximo de 90%, assim foi possível gerar uma superfície de resposta e as curvas de contorno (FIGURA 6).

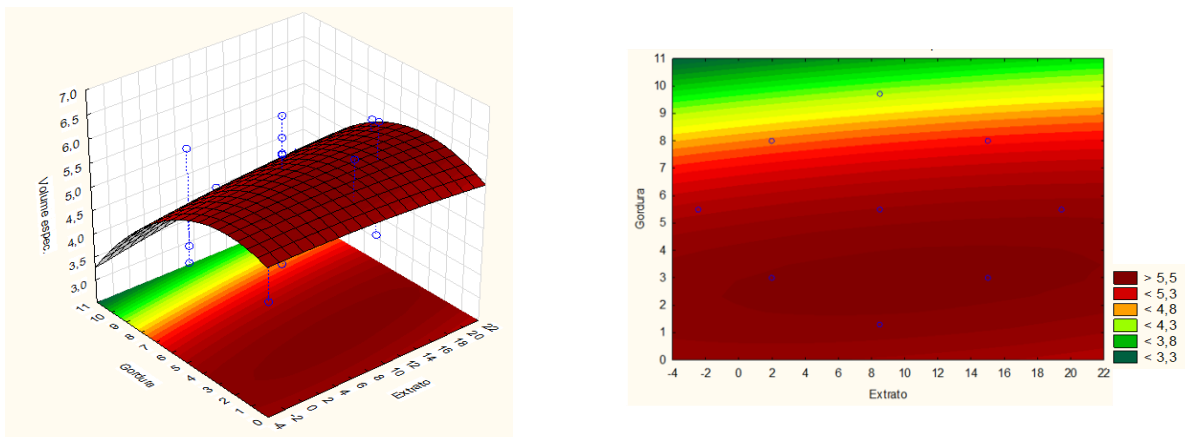
A equação de Y em relação aos coeficientes de regressão estatisticamente significativos ($p < 0,05$), encontra-se descrita na Equação 3.

(Equação 3)

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

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

Figura 6 - 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 et al., 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 et al., 2011; KAUR et al., 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 encontra-se na Tabela 12.

Tabela 12 – 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	66,93 ^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

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

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). 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 *et al.* (1997), Tedrus *et al.* (2001), Couto (2007) e Hartmann *et al.* (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 11) 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 (APÊNDICE R), 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 7). 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 7 - Pães fabricados usando a formulação de número 12



Fonte: arquivo pessoal (2020).

4.3.2 Análises físico-químicas

Na Tabela 13 encontram-se os resultados da composição centesimal e pH do pão de melhor formulação. Os pães caracterizados neste estudo apresentaram uma composição em carboidratos, proteínas e lipídios 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%.

Tabela 13 - Médias da composição centesimal e pH do pão

Análises (%)	Média	Desvio padrão
Umidade	30,61	± 0,012
Cinzas	3,82	± 0,009
Proteína (N x 5,7)	7,43	± 0,124
Lipídios	3,30	± 0,010
Carboidratos	54,83	± 0,179
pH	7,79	± 0,006

Fonte: dados da pesquisa.

O teor de umidade dos pães em estudo situou-se dentro dos valores

reportados na literatura, 12,61 a 35,43% (BRASIL, 2006; MOURA, 2008; SILVA *et al.*, 2009; TACO, 2011; BORGES *et al.*, 2013; ARIMATÉA; PAGANI; CARVALHO, 2016). No entanto, o teor de cinzas 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 monocálcico ($\text{Ca (H}_2\text{PO}_4)_2$) 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 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; 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*.

4.3.3 Análise sensorial

O resultado do teste de aceitação usando a escala de atitude encontra-se na Tabela 14.

Tabela 14 - Respostas do teste de aceitação usando a escala de atitude (FACT)

CLASSIFICAÇÃO	Escore	Nº de respostas
Comeria sempre que tivesse oportunidade	9	31
Comeria muito frequentemente	8	12
Comeria frequentemente	7	15
Gosto e comeria de vez em quando	6	28
Comeria se estivesse acessível, mas não me esforçaria para isto	5	12
Não gosto, mas comeria ocasionalmente	4	2
Raramente comeria	3	2
Só comeria se não pudesse escolher outro alimento	2	3
Só comeria se fosse forçado (a)	1	0
TOTAL		105
Média		6,93

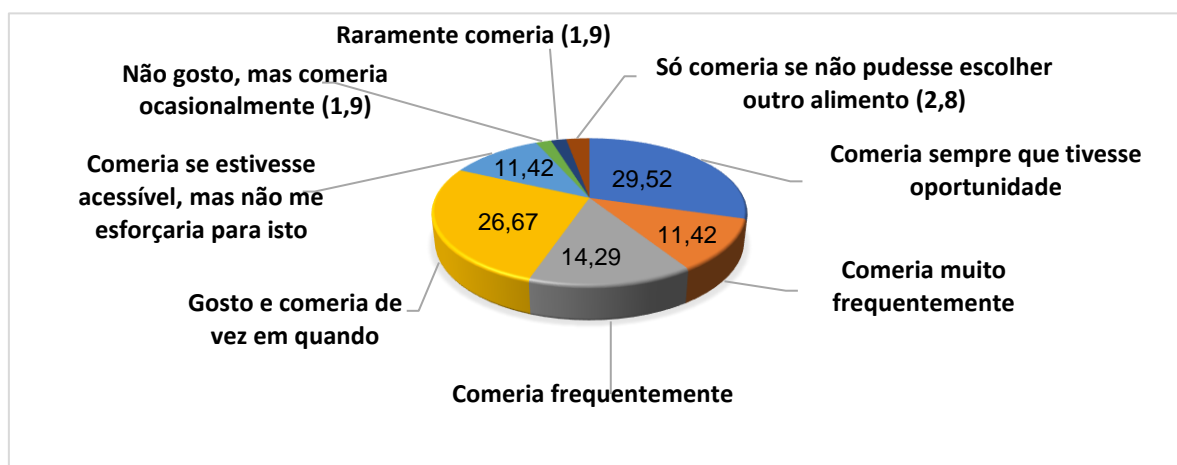
Fonte: dados da pesquisa.

A aceitação dos pães (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 a Figura 2 (item 4.2.3.4.1) 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 8).

Figura 8 - Número percentual de respostas por classe de atitude



Fonte: dados da pesquisa.

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 Tabela 15 contendo 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”.

Tabela 15 - Respostas do teste de aceitação em relação ao gênero usando a escala de atitude (FACT)

Escore	RESPOSTAS	
	Feminino	Masculino
9	9	22
8	7	5
7	8	7
6	12	16
5	7	5
4	2	0
3	2	0
2	0	3
1	0	0
Total	47	58
Média	6,68	7,13

Fonte: dados da pesquisa. *R - Respostas por gênero; E – escores.

De acordo com os resultados presentes na Tabela 16, 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 a 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.

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 (TABELA 17).

Tabela 16 - Respostas do teste de aceitação em relação a faixa etária usando a escala de atitude (FACT)

ESCORE	FAIXA ETÁRIA / RESPOSTAS					
	18 a 19	20 a 30	31 a 40	41 a 50	51 a 60	Acima de 60
9	1	8	10	6	3	3
8	1	7	3	0	1	0
7	0	8	3	2	2	0
6	3	8	7	4	5	1
5	0	2	3	4	3	0
4	0	0	2	0	0	0
3	0	1	0	0	1	0
2	0	2	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	0
TOTAL (R x E)*	35	249	200	114	97	33
Nº avaliadores	5	36	28	17	15	4
Média	7	6,9	7,1	6,7	6,4	8,2

Fonte: dados da pesquisa. *R - Respostas por gênero; E – escores.

Tabela 17 - Respostas dos avaliadores em relação à atitude de compra dos pães

CLASSIFICAÇÃO	Escore	Nº de respostas
Certamente compraria	5	49
Provavelmente compraria	4	29
Tenho dúvidas	3	17
Provavelmente não compraria	2	7
Certamente não compraria	1	3
TOTAL		105
Média		4,09

Fonte: dados da pesquisa.

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 (TABELA 18). 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.

Tabela 18 - Respostas dos avaliadores em relação a frequência de consumo de pães convencionais

CLASSIFICAÇÃO	Score	Nº de respostas
Sempre (quase todo dia)	5	52
Muito (pelo menos 4 vezes por semana)	4	19
Moderado (pelo menos 2 vezes por semana)	3	26
Pouco (1 vez por mês)	2	7
Quase nunca (menos de 1 vez por mês)	1	1
TOTAL		105
Média		4,09

Fonte: dados da pesquisa.

4.3.4 Identificação dos voláteis

A Tabela 19 apresenta a média e desvio padrão dos compostos voláteis identificados no pão produzido com a formulação número 12.

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. Os cromatogramas em triplicata e os respectivos picos expandidos encontram-se no Apêndice T.

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 *et al.*, 2008). Porém, existem compostos voláteis que se destacam e encontram-se presentes na maioria

dos pães analisados por cromatografia gasosa.

Tabela 19 - 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

Fonte: dados da pesquisa.

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.

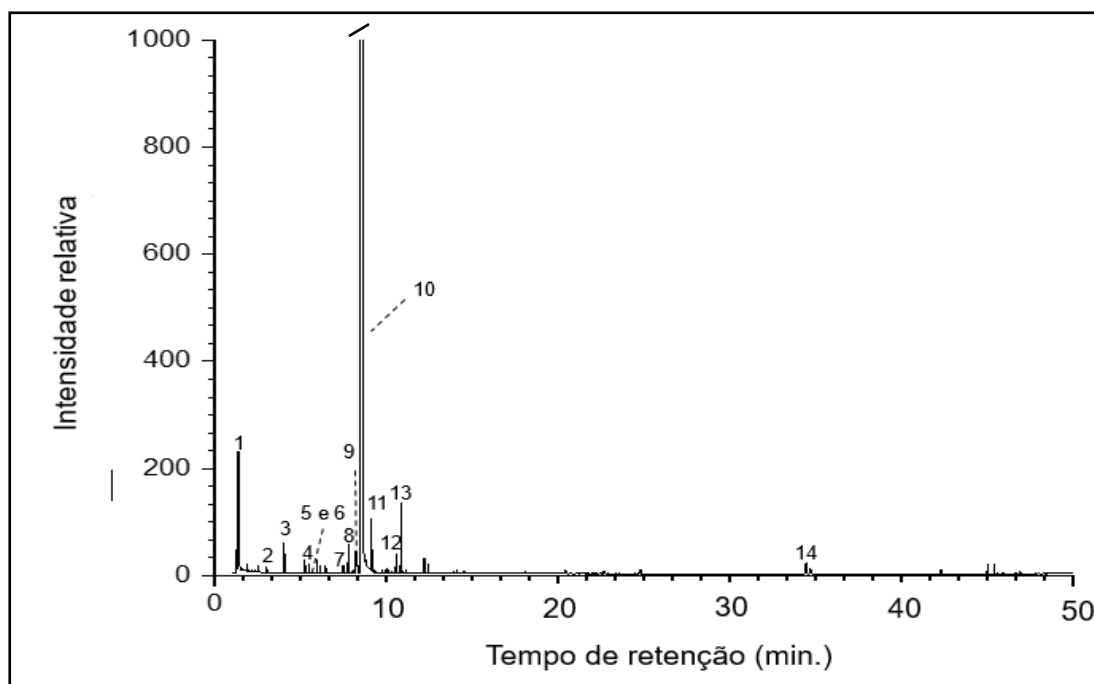
d - Área relativa de cada composto volátil (Counts*10⁴).

e - Média percentual da área relativa por composto identificado, calculado com base na área total dos picos do cromatograma.

Pesquisas como as de Quílez; Ruiz; Romero (2006); Birch *et al.* (2013); Dall'asta *et al.* (2013); Raffo *et al.* (2015); Giannone *et al.* (2018); Chai *et al.* (2019) e Galoburda *et al.* (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 9 mostra o perfil cromatográfico dos compostos voláteis do pão, obtidos por Cromatografia gasosa e espectrometria de Massa.

Figura 9 - Cromatograma dos compostos voláteis do pão obtido por CG/EM



Fonte: dados da pesquisa. Numeração de acordo com a Tabela 26.

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 *et al.*, 1992; GROSCH; SCHIEBERLE, 1997; POZO-BAYÓN *et al.*, 2006; QUÍLEZ; RUIZ; ROMERO, 2006; POINOT *et al.*, 2009; PÉTEL; ONNO; PROST, 2017; PICO *et al.*, 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; CASTLE, 2007; DE MARIA; MOREIRA; 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 *et al.*, 1991; YAYLAYAN; KAMINSKY, 1998; FADEL; FAROUK, 2002; KITTS *et al.*, 2006; PORTE; REZENDE; ANTUNES, 2007).

4.4 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.

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 final, voláteis responsáveis pelo sabor e aroma de pão.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Foi possível desenvolver um flavorizante capaz de fornecer sabor e aroma de pão com a metodologia empregada, porém a otimização da produção não foi alcançada com os valores de tempo e temperatura empregados, sendo necessário um novo delineamento tomando como base os valores que tiveram os melhores resultados no delineamento experimental adotado inicialmente. Alcançar a otimização da produção é importante para a redução de custos.

Os resultados demonstraram que o pão desenvolvido nesta pesquisa pode ser um produto viável para a indústria de panificação, pois alia praticidade e economia de tempo com características sensoriais de pão. Também pode ser a resposta para aqueles que não tem tempo para fazer um pão convencional em casa e querem

apostar em um produto rápido. Mais estudos são necessários para confirmar a viabilidade comercial e industrial deste produto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos futuros são sugeridos para avaliar a obtenção do extrato em pó obtido por meio de liofilização com o propósito de tornar mais prática uma possível comercialização, como também a inclusão do extrato em pó em pré-misturas para pão rápido destinadas à preparação caseira.

É necessário fazer um estudo de estabilidade do pão para avaliar 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. **Approved methods of American Association of Cereal Chemists**. 9 ed., St. Paul: 1995.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – A. A. C. C. **Approved methods of American Association of Cereal Chemists**. 10 ed., St. Paul: 2000.

ALMEIDA, P. G. **Corante caramelo utilizado em refrigerantes: caracterização físico-química e compostos voláteis**. 2011. 48 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Engenharia Mauá, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2011.

ALMEIDA, E. B. **Efeito da sova nas características e aceitabilidade do pão de forma**. 2015. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

ALMEIDA NETO, A. C. **A história da panificação brasileira**. 1. ed. São Paulo: Max Foods, 2008. 330 p.

ANTUNES, J. M. Trigo: alimento funcional e nutritivo. Embrapa notícias. 09 junho 2009. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18048471/trigo-alimento-funcional-e-nutritivo>. Acesso em: 22 fev. 2021.

ARCANJO, S. R. S. **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**. 2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, UFC, Fortaleza, CE, 2005.

ARIMATÉA, C. C.; PAGANI, A. A. C.; CARVALHO, M. S. Elaboração e composição química de pão de forma enriquecido com resíduos agroindustriais de frutas. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 30, n. 260/261, p. 100-104, set./out. 2016.

APLEVICZ, K. S.; OLIGARI, P. J.; SANT'ANNA, E. S. Influence of fermentation time on characteristics of sourdough bread. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, São Paulo, v. 49, n. 2, p. 233-239, apr./jun., 2013.

APLEVICZ, K. S.; SCHMITZ, F. Z.; DIAS, L. F. Aplicação de agentes químicos de crescimento em bolo de chocolate. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 12, n. 1, p. 338-345, jan./jul. 2014.

AQUINO, V. C. **Estudo da estrutura de massas de pães elaborados a partir de diferentes processos fermentativos**. 2012. 87 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas – Universidade de São Paulo, SP, 2012.

ASSIS, L. M.; RADÜNZ, A. L.; ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. Nutritional, technological and sensory properties of cookies with substitution of wheat flour for oat flour or parboiled rice flour. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.20, n.1, p. 15-24, jan./ mar.

2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE BISCOITOS, MASSAS ALIMENTÍCIAS E PÃES & BOLOS INDUSTRIALIZADOS - ABIMAP. **Anuário Abimap 2020**. p. 128. Disponível em: https://www.abimapi.com.br/anuario/anuario.html#your_book_name/10-11. Acesso em: 02 fev. 2021.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. Campinas: Editora Unicamp, 1995. 278p.

BELITZ H.D.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. **Food Chemistry**, 4 ed., Springer-Verlag, Berlin, 2009.

BENASSI, V. T.; WATANABE, E. **Fundamentos da Tecnologia de Panificação**. Rio de Janeiro. EMBRAPA – CTAA, 1997. 60 p.

BENNION, E. B. **Fabricación de Pan**. Acribia: Zaragoza, 1970.

BIANCHI, F.; CARERI, M.; CHIAVARO, E.; MUSCI, M.; VITTADINI, E. Gas chromatographic–mass spectrometric characterisation of the Italian Protected Designation of Origin “Altamura” bread volatile profile. **Food Chemistry**, n. 110, p. 787–793, 2008. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/foodchem>. Acesso em: 15 jun. 2017.

BIRCH, A. N.; PETERSEN, M. A.; ARNEBORG, N.; HANSEN, A. S. Influence of commercial baker's yeasts on bread aroma profiles. **Food Research International**. v. 52, p. 160–166, 2013. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/foodres>. Acesso em: 03 fev. 2021.

BORGES, J. T. S.; VIDIGAL, J. G.; SILVA, N. A. S.; PIROZI, M. R.; PAULA, C. D. Caracterização físico-química e sensorial de pão de forma contendo farinha mista de trigo e quinoa. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 15, n.3, p.305-319, 2013.

BRASIL, J. A. **Efeito da adição de inulina sobre os parâmetros nutricionais, físicos e sensoriais do pão**. 2006. 65 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2006.

BRASIL. Resolução RDC ANVISA/MS nº 263, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 set. 2005. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Saúde. Aprova as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos (Resolução nº 466 do Conselho Nacional de Saúde, de 12 de dezembro de 2012). **Diário Oficial da União**. Seção 1, 59, 2013.

CANELLA-RAWLS, S. **Pão: Arte e Ciência**. 2.ed. São Paulo: Senac, 2006.

CARBAJO, J. P. **Analysis of volatile compounds in breads and related products**.

Improvement of gluten-free breads aroma. 2018. 255 p. Tesis Doctoral (en Química) - Universidad de Valladolid, España, 2018.

CAUVAIN, P. **Bread making: Improving quality.** 1 ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2003. 608 p.

CAUVAIN, S. P. Methods of manufacture. In (eds B. Caballero, L. Trogo and P. M. Finglas). **Encyclopaedia of Food Science and Nutrition**, 2nd ed., Academic Press, St. Louis, MO, 2003b. p. 756-759.

CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **Tecnologia da Panificação.** 2 ed. São Paulo: Manole, 2009. 418 p.

CHAI, D.; CHONGWEI, L.; ZHANG, X.; JINGFENG, Y.; XIANBING, X.; MING, D.; YI, W.; YAN, C.; LIANG, D. Analysis of volatile compounds from wheat flour in the heating process. **International Journal of Food Engineering**, 13 p., 2019.
DOI: <https://doi-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/10.1515/ijfe-2019-0252>

CHO, I. H.; PETERSON, D. G. Chemistry of bread aroma: A review. **Food Science and Biotechnology**, v. 19, n. 3, p. 575–582, 2010.

CLARK, E. **Evaluation of quality parameters in gluten-free bread formulated with breadfruit (*Artocarpus altilis*) flour.** 2016. 131 p. Thesis (Master of Science - Food Science) - Kansas State University, 2016.

CONDESSA, B. M. B. **Potencial de leveduras *saccharomyces* e não-*saccharomyces* autóctones do cerrado como culturas iniciadoras em processos de panificação.** 2019. 62 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

COUTO, E. M. **Utilização da farinha de casca de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na elaboração de pão de forma.** 2007. 107 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais, 2007.

CREWS, C.; CASTLE, L. A. Review of occurrence, formation and analysis of furan in heat-processed foods. **Trends in food Science & Technology**, v.18, p. 365-372, 2007.

DALL’ASTA, C.; CIRLINI, M.; MORINI, E.; RINALDI, M.; GANINO, T.; CHIAVARO, E. Effect of chestnut flour supplementation on physico-chemical properties and volatiles in bread making. **Food Science and Technology**, v. 53, p. 233-239, 2013.

DE MARIA, C. A. B.; MOREIRA, R. F. A.; TRUGO, L. C. Componentes voláteis do café torrado. Parte I: Compostos heterocíclicos. **Química Nova**, v. 22, n. 2, p. 209-217, 1999.

DUBOIS, D. What is fermentation? It’s essential to bread quality. **Baker’s Dig.** v.10, p.11-4, 1984

DUTCOSKY, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**. Curitiba: Champagnat, 1996. 531 P.

EL-DASH, A. A. Standardized mixing and fermentation procedure for experimental baking test. **Cereal Chemistry**, v. 55, n. 4, p. 436-446, 1978.

EL-DASH, A. A.; CAMARGO, C. O.; DIAZ, N. M. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 1982. 349 p.

EL-DASH, A. A.; CAMPOS, J. E.; GERMANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas: uso de farinha mista de trigo e sorgo na produção de pães**. Brasília: Embrapa, v. 4, 1994.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. **Baking**. 1996. Disponível em: <https://www.britannica.com/topic/no-time-dough-process>. Acesso em: 12 fevereiro 2018.

ESCOUTO, L. F. S. **Desenvolvimento de produto panificável à base de produtos de mandioca visando os hipersensíveis ao glúten**. 2000. 145 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, SP, 2000.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2003.

FADEL, H. H. M.; FAROUK, A. Caramelization of maltose solution in presence of alanine. **Amino Acids**, v. 22, p. 199 – 213, 2002.

FARIA, J. D. 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., 2003, Guarapuava. **Palestras, resumos e atas...** Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2003, p. 22-31.

FEDERATION OF BAKERS. **History of Bread – 20th century**. Disponível em: <<https://www.fob.uk.com/about-the-bread-industry/history-of-bread-antiquity/history-bread-20th-century/>>. Acesso em: 12 fevereiro 2021.

FEILLET, P. De la farine à la pâte et de la pâte au pain. In **Le grain de blé. Composition et utilisation**. INRA Editions: Paris, p.137–173, 2000.

FENNEMA, O. R.; SRINIVASAN D.; KIRK, L. P. **Química de Alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

FERREIRA, C. M.; LIMA, S. B.; ZAMBELLI, R. A.; AFONSO, M. R. A.; Efeito da farinha mista de subprodutos vegetais em pães tipo forma. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 8710-8724, fev. 2020.

FONSECA FILHO, A. A.; ARAÚJO, W. M. C.; FALCIROLLI, D. M.; PILLA, N.; MARQUES, A. O. Avaliação da qualidade tecnológica de pães enriquecidos com farelo de trigo. **Alimentos e Nutrição (UNESP)**, São Paulo, v. 8, p. 17 – 25, 1997.

<<http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/view/748/637>>. Acesso em: 09 dez. 2020.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CURTIS W. CLUMP, LOUIS MAUS, L. BRYCE ANDERSEN. Tradução por Horácio Macedo. **Princípios das operações unitárias**. Reimpressão. Rio de Janeiro. LTC, 2012. ISBN 978 – 85 – 216 – 1038 – 0.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo, Editora Atheneu, 2008.

FRANCISQUINI, J. A.; MARTINS, E.; SILVA, P. H. F.; SCHUCK, P.; PERRONE, I. T.; CARVALHO, A. F. Reação de Maillard: uma revisão. **Revista Laticínios Instituto Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 72, n. 1, p. 48-47, jan./mar. 2017.

FRASSE, P.; LAMBERT, S.; RICHARD-MOLARD, D.; CHIRON, H. The influence of fermentation on volatile compounds in french bread dough. **LebensmWiss u Technol.**, v. 26, n. 2, p.126–32, 1993.

GALEY, C.; POTUS, J.; DRAPRON, R.; POIFFAIT, A.; BAR, C.; FISCHER, J.; GIAMPAOLI, P. La flaveur de la mie de pain: influence de la variété de blé et du mode de panification. **Sci Alim.**, v.14, n. 5, p.643–53, 1994.

GALOBURDA, R.; STRAUMITE, E.; SABOVICS, M.; KRUMA, Z. Dynamics of Volatile Compounds in Triticale Bread with Sourdough: From Flour to Bread. **Foods**, v.1837, n. 9, p. 1-17, 2020.

GANCARZ, M.; MALAGA-TOBOLA, U.; ONISZCZUK, A.; TABOR, S., ONISZCZUK, T.; GAWRYSIAK-WITULSKA, M.; RUSINEK, R. Detection and measurement of aroma compounds with the electronic nose and a novel method for MOS sensor signal analysis during the wheat bread making process. **Food and Bioproducts Processing**, v. 127, p. 90–98, 2021.

GARCIA, L. C. **Microencapsulação por spray-drying de óleo essencial de manjeriço**. 2013. 121 P. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, SP, 2013.

GASSENMEIER, K.; SCHIEBERLE, P. Potent aromatic compounds in the crumb of wheat bread (French-type)—Influence of pre-ferments and studies on the formation of key odorants during dough processing. **Z Lebensm Unters Forsch**, v. 201, p. 241-248, 1995.

GIANNONE, V.; GIARNETTI, M.; SPINA, A.; TODARO, A.; PECORINO, B.; SUMMO, C.; CAPONIO, F.; PARADISO, V. M. PASQUALONE, A. 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**, v. 241, p.242-249, 2018.

GIANNOU, V.; KESSOGLOU, V.; TZIA, C. Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. **Trends in food science and technology**. v. 14, n. 1, p. 99-108, 2003.

GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. Flavor of cereal products. A review. **Cereal Chemistry**, n. 2, v. 74, p. 91-97, 1997.

GUARIENTI, E. M. **Fazendo pães caseiros...**Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004, p. 90.

GUY, E. J. Effect of KCl levels on functional and baking properties of sponge doughs and hedonic ratings of their breads. **Cereal Food World**, v. 31, n. 6, p. 421-425, 1986.

HANSEN, A.; HANSEN, B. Flavour of sourdough wheat bread crumb. **Zeitschrift fur Lebensmittel Untersuchung und Forschung A**, n. 202, p. 244-249, 1996.

HANSEN, A.; SCHIEBERLE, P. Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: Applied and fundamental aspects. **Trends Food Sci. Tech.**, v. 16, p. 85-94, 2005.

HARTMANN, V.; BOTH, J.; GOTTMANNSHAUSEN, T. L.; LUFT, N.; GUTIKOSK, L. C. Características tecnológicas de pão de forma elaborado com redução de cloreto de sódio. *In*: 5º Simpósio de Segurança Alimentar: Alimentação e Saúde. Bento Gonçalves, RS, 2015. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/sbctars-eventos/gerenciador/painel/trabalhosversaofinal/SAL85.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2020.

HOSENEY, R. C. **Principles of Cereal Science and Technology**. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, USA, 1994, 825 p.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos físicos e químicos para análise de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, v. 1., p. 124-141, 1985.

JAEKEL, L. Z.; SCHMIELE, M.; CHANG, Y. K. Impactos do amido resistente e da enzima transglutaminase nas características tecnológicas de espaguete. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. 1-28, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/6219>. Acesso em: 07 mai. 2021.

JENSEN, S., OESTDAL, H., SKIBSTED, L. H., LARSEN, E., THYBO, A. K. Chemical changes in wheat pan bread during storage and how it affects the sensory perception of aroma, flavour, and taste. **Journal of Cereal Science**, vol. 53, p.259-268. 2011.

JOHNSON, J.A.; EL-DASH, A.A. Role of nonvolatile compounds in bread flavor. **J. Agric.Food. Chem.** v.17, p.4, 1969.

KAJISHIMA, S.; PUMAR, M.; GERMANI, R. Efeito da adição de diferentes sais de cálcio nas características da massa e na elaboração de pão francês. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 23, n. 2, p. 222-225, 2003.

KATSI, P.; KOSMA, I. S.; MICHAILEDIOU, S.; ARGIRIOU, A. BADEKA, A. V.; KONTOMINAS, M. G. Characterization of artisanal spontaneous sourdough wheat bread from central Greece: Evaluation of physico-chemical, microbiological, and

sensory properties in relation to conventional yeast leavened wheat bread. **Foods**, v. 10, p. 1-23, 2021.

KAUR, A.; JASSAL, V.; THND, S. S.; AGGARWAL, P. Rice bran oil an alternative bakery shortening. **Journal Food Science and Tecnology**, v. 49, n. 1, p. 110-114. 2012.

KHATKAR, B. S. **Bread industry and processes**. [200-]. 85 p. Post graduate (Diploma in bakery science and technology) – Directorate of Distance Education Guru Jambheshwar University, Hisar, [200-]. Disponível em: <http://www.ddegjust.ac.in/studymaterial/pgdbst/pgdbst-05.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2017.

KIRCHHOFF, E.; SCHIEBERLE, P. Determination of key aroma compounds in the crumb of a three-stage sourdough rye bread by stable isotope dilution assays and sensory studies. **J. Agr. Food Chem.**, v. 49, p. 4304-4311, 2001.

KITTS, D. D.; WU, C. H.; KOPECA, A.; NAGASAWA, T. Chemistry and genotoxicity of caramelized sucrose. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 50, p. 1180 – 1190, 2006.

KOMAITIS, M.E.; AGGELOUSIS, G. Qualitative analysis of volatile compounds from the crust and crumb of anise white bread. **Sci. Aliments**, v. 13, n. 3, p. 585–591, 1993.

KOVATS, E. The retention index system. In: J.C. Giddings and R.A. Keller (Orgs) **Advances in chromatography**. vol. I, p. 229-247, New York: Marcel Dekker, Inc., 1965.

LEMOS, S. E. **Efeito da adição de amido de batata nas propriedades reológicas da massa de trigo e na formação de amido resistente**. 2002. 74 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

LEÓN, A. E.; ROSELL, C. M. **De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica**. 1. ed. Córdoba: Hugo Báez Editor, 2007. 480 p. Disponível em: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/17118/1/libro%20panificacion-2007.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2020.

LINSTROM, P.J.; MALLARD, W.G. Eds. **NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database Number 69**, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD, 20899. Disponível em: <https://doi.org/10.18434/T4D303>.

LIU, W.; BRENNAN, M.; SERVENTI, L.; BRENNAN, C. Effect of cellulase, xylanase and α - amylase combinations on the rheological properties of Chinese steamed bread dough enriched in wheat bran. **Food Chemistry**, v. 234, p. 93–102, 2017.

MACHADO, L.M.P. **Pão sem glúten: otimização de algumas variáveis de processamento**. 1996. 186 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, SP, 1996.

MANZOCCO, L.; CALLIGARIS, S.; PIEVE, S.; MARZONA, S.; NICOLI, M. C. Effect of monoglyceride-oil-water gels on white bread properties. 2012. **Food Research International**, v. 49, n.2, p. 778-782. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.011>. Acesso em: 27 dez 2020.

MARTÍNEZ-ANAYA, M. A. Enzymes and Bread Flavor. **American Chemical Society**, v. 44, n. 9, p. 2469–2479, 1996.

MARAGONI, A. L. **Pão de forma "zero trans"**: estudo do efeito de diferentes óleos e gorduras na qualidade tecnológica dos pães. 2014. 116 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, SP, 2014.

MEDEIROS, A. M.; GALVÃO, T.; ARAÚJO, A. W. O.; CARNEIRO, S. V.; ZAMBELLI, R. A.; BASTOS, M. S. R. Coating development with modified starch and tomato powder for application in frozen dough. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, p. 194-203, 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1092153/1/ART18023.pdf>. Acesso em: 04 maio 2021.

MILDNER-SZKUDLARZ, S; RÓŻAŃSKA, M.; PIECHOWSKA, P.; WAŚKIEWICZ, A.; ZAWIRSKA-WOJTASIAK, R. Effects of polyphenols on volatile profile and acrylamide formation in a model wheat bread system. **Food Chemistry**, v. 297, 2019.

MINIM, V. P. R. **Análise sensorial: estudos com consumidores**. 4^a ed. rev. e ampl., Viçosa, MG: Ed. UFV, 2018. 362 p.

MÓL, P. Entrevista à Divisão de Relações Internacionais do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT). Disponível em: <http://cint.ibict.br/?p=1168>. Acesso em: 28 maio 2017.

MOURA, N. C. **Características físico-químicas, nutricionais e sensoriais de pão de forma com adição de grãos de linhaça (*Linum usitatissimum*)**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP, 2008.

NEFASA, A. N.; CHRISTWARDANA, M.; HADIYANTO, H. NURWANTORO, N.; MULYANI, S. Effect of baking soda addition on the characteristic of ice cream from cow's milk. **Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry**, v. 20, p. 151-155, 2019.

NISHIBORI, S.; KAWAKISHI, S. Effects of dough materials on flavor formation in baked cookies. **J. Food Sci.**, v. 55, p. 409–412, 1990.

NISHIBORI, S.; KAWAKISHI, S. Formation of 2,3-Dihydro-3,4-dihydroxy-5-

acetylfuran in the Reaction between D-Fructose and b-Alanine. **Agric. Biol. Chem.**, v. 55 n. 4, p.1159–1160,1991.

OLIVEIRA, J. M.; ALVES, R. **Estudo de tendências: perspectivas para a panificação e confeitaria**. <http://www.bibliotecas.sebrae.com.br>. 2009. Convênio SEBRAE / ABIP.

OWENS, W. G. **Cereal processings technology**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001, 256 p.

PARASKEVOPOULOU, A; CHRYSANTHOU, A.; KOUTIDOU, M. Characterisation of volatile compounds of lupin protein isolate-enriched wheat flour bread, **Food Res. Int.** n. 48, p. 568–57, 2012.

PAREYT, B.; FINNIE, S. M.; PUTSEYS, J. A.; DELCOUR, J. A. Lipids in bread making: sources, interactions and impact on bread quality. **Journal of Cereal Science**, v. 54, n. 3, p. 266 – 279, 2011.

PÉTEL, C.; ONNO, B.; Prost, C. Sourdough volatile compounds and their contribution to bread: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v.59, p. 105–123, 2017.

PICO, J.; BERNAL, J.; GÓMEZ, M. Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: A review. **Food Research International**, v. 75, p. 200–215, 2015.

PICO, J.; GÓMEZ, M.; BERNAL, J., BERNAL, J. L. Analytical methods for volatile compounds in wheat bread. **Journal of Chromatography A**, v.1428, p.55–71, 2016.

PICO, J.; MARTÍNEZ, M. M.; BERNAL, J.; GÓMEZ, M. Evolution of volatile compounds in gluten-free bread: From dough to crumb. **Food Chemistry**, v. 227, p. 179–186, 2017.

POINOT, P.; ARVISENET, G.; GRUA-PRIOL, J.; FILLONNEAU, C.; MEZAIZE, S.; DE LAMBALLERIE, M. Advances in the understanding of the chemical reactions responsible for bread flavour quality. **Czech J Food Sci**, v. 27, p. 54–57, 2009.

POMERANZ, Y. Advances in cereal science and technology. **American Association of Cereal Chemists**, v. 8, 1998.

PONS, I.; GARRAULT, C.; JAUBERT, J. N; MOREL, J.; FENYO, J. C. Analysis of aromatic caramel. **Food Chemistry**, v. 39, p. 311 – 320, 1991.

PORTE, A.; REZENDE, C. M.; ANTUNES, O. A. C. Produção de voláteis via sistema modelo de Maillard usando glucose e l-aminoácidos sob diferentes condições de pH. **Revista Universidade Rural. Série Ciências Exatas e da Terra**, v. 26, p. 12 – 32, 2007.

POZO-BAYÓN, M. A.; GUICHARD, E.; CAYOT, N. Flavor control in baked cereal products. **Food reviews international**, v. 22, n. 4, p. 335 – 379, 2006.

PLESSAS, S.; FISHER, A.; KOURETA, K.; PSARIANOS, C.; NIGAM, P.; KOUTINAS,

A. A.; Application of *Kluyveromyces marxianus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* and *L. helveticus* for sourdough bread making, **Food Chem.**, v.106, p. 985–990, 2008.

PYLER, E. J.; GORTON, L. A. **Baking Science & Technology**: formulation & production. 4. ed. Kansas City: Sosland Publishing Co., 2009. 709 p.

QUAGLIA, G. **Ciência y tecnología de la panificación**. Zaragoza: Acribia, 1991.

QUILEZ J.; RUIZ, J. A.; ROMERO, M. P. Relationship between sensory flavour evaluation and volatile and non-volatile compounds in commercial wheat type baguette. **J. Food Sci.** v. 71, p. 423–427, 2006. doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00053. x.

RAFFO, A.; CARCEA, M.; CASTAGNA, C; MAGRÌ, A. Improvement of a headspace solid-phase microextraction - gas chromatography/mass spectrometry method for the analysis of wheat bread volatile compounds. **Journal of Chromatography A**, v.1406, p.266–278, 2015.

RANHOTRA, G. S.; GELROTH, J. A.; LEINEN, S. D. Utilization of calcium in breads highly fortified with calcium, as calcium carbonate or as dairy calcium. **Cer Chem.**, v. 77, n. 3, p. 293-296, 2000.

REHMAN, S. U.; PATERSON, A.; PIGGOTT, J. R. Flavour in sourdough breads: A review. **Trends in Food Science and Technology**, 17, p. 557–566, 2006.

RESENDE, G. C. **Formulação e avaliação de fermentos químicos para pré-mistura de bolo**. 2007. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais, 2007.

RIBEIRO, M. N. **Influência do tempo de condicionamento do trigo na qualidade tecnológica da farinha**. 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 3. ed. Campinas: Casa do Pão Editora, 2014. 326 p.

RODRIGUEZ, A. CUFFIA, F.; PIAGENTINI, A. M.; LEMA, P.; PANIZZOLO, L. A.; ROZYCKI, S. D. Study of the browning and gelation kinetics in a concentrated sheep milk and sucrose system. **International Journal of Dairy Technology**, v. 69, p. 1-7, 2016.

ROSAS-SÁNCHEZ, G. A.; HERNÁNDEZ-ESTRADA, Z. J.; SUÁREZ-QUIROZ, M. L.; GONZÁLEZ-RÍOS, O.; RAYAS-DUARTE, P. Coffee Cherry Pulp by-Product as a Potential Fiber Source for Bread Production: A Fundamental and Empirical Rheological Approach. **Foods**, v. 10, p. 1-12, 2021. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.ez11.periodicos.capes.gov.br/pmc/articles/PMC8066052/pdf/foods-10-00742.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2021.

RUIZ, J. A.; QUILEZ, J.; MESTRES, M.; GUASCH, J. Solid-phase microextraction method for headspace analysis of volatile compounds in bread crumb. **Cereal**

Chem., v. 80, n. 3, p. 255 – 259, 2003.

SALIM-UR-REHMAN, A. P.; PIGGOTT, J. R. Flavour in sourdough breads: a review. **Trends in Food Science & Technology**. v. 17, 557- 566, 2006.

SANCHEZ, D. B. O. **Desempenho reológico e entálpico da massa de pão com amido resistente de milho e transglutaminase**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-11082009-163741/pt-br.php>. Acesso em: 18 março 2018.

SANTOS, C. M.; ROCHA, D. A. R.; MADEIRA, R. A. V.; QUEIROZ, E. R.; MENDONÇA, M. M.; PEREIRA, J.; ABREU, C. M. P. Preparação, caracterização e análise sensorial de pão integral enriquecido com farinha de subprodutos do mamão. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 21, 2018.

SARAMAGO, S. P.; STEFFEN JÚNIOR, V.; SILVA, J. D.; SARAMAGO, S. F. P. Planejamento de experimentos e otimização de sistemas mistos. **FAMAT em Revista**, n.11, 2008.

SCHIEBERLE, P.; GROSCH, W. Evaluation of the flavour of wheat and rye bread crusts by aroma extract dilution analysis. **Zeitschrift fur Lebensmittel Untersuchung und Forschung A**, v.185, p. 111–113, 1987.

SCHIEBERLE, P. The role of the odorants 2-acetyl-1-pyrroline and 2-acethyltetrahydropyridine in wheat crust. **Z. Lebensm. Unters. For.** v.191, p. 206-209, 1990.

SCHUTZ, H. G. **A Food Action Rating Scale for Measuring Food Acceptance**. In: ANNUAL MEETING OF THE INSTITUTE OF FOOD TECHNOLOGISTS, 1964, Washington, D. C.

SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS BAHIA (SEBRAE). **Estudo de mercado. Indústria: Panificação**. 2017. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/BA/Anexos/Ind%C3%BAstria%20da%20panifica%C3%A7%C3%A3o.pdf>.

SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Como o ramo de panificação pode melhorar o desempenho na crise?** 2020. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/como-o-ramo-de-panificacao-pode-melhorar-o-desempenho-na-crise,d164d29365ac1710VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acesso em: 07 maio 2020.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Panificação: tecnologia e prática de fabricação**. Piracicaba, 2004, 72p.

SHAHIDI, F. *Bailey's industrial oil and fat products*. 6. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. Disponível em: < <http://www.mrw.interscience.wiley.com/biofp>>.
SILVA, L. H.; PAUCAR-MENACHO, L. M.; VICENTE, C. A.; SALLES, A. S. STEEL,

C. J. Desenvolvimento de pão de forma com a adição de farinha de “okara”. **Braz. J. Food Technol.**, v. 12, n. 4, p. 315-322, out./dez. 2009.

SILVA, P. M. L. **Produção de pães de forma com enzimas amilolíticas: α -amilase fúngica e α -amilase maltogênica**. 2016. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SILVA, M. C. F. P. **Influência do ácido ascórbico encapsulado e não encapsulado nas propriedades reológicas da farinha de trigo e no volume do pão francês**. 2017. 108 p. Teses (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

STATSOFT, INC. STATISTICA. (Data analysis software system), version 10. Disponível em: www.statsoft.com. 2011.

SOUSA, F. G. **Efeito da adição de fermento natural na qualidade de pães**. 2017. 58 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Gastronomia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

SOUZA, A.; VILLAR, S. **Manual para o setor de panificação**. Rio de Janeiro, SEBRAE-RJ, 2000. (Série uso eficiente de energia.)

SWORTFIGUER, M. J. White bread sponge and dough development. *Proc. Am. Soc. Bakery Engrs.*, v. 26, n. 94, 1950.

TABELA brasileira de composição de alimentos / NEPA – UNICAMP - 4. ed. rev. e ampl.- Campinas: NEPA - UNICAMP, 2011. 161 p.

TEDRUS, G. A. S.; ORMENESE, R. C. S. C.; SPERANZA, S.; CHANG, M. Y. K.; BUSTOS, F. M. 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**, v. 21, n. 1, p. 20-25, 2001.

TUCKER, G. Chorleywood Bread Process: Boon or Bane. **The World of Food Ingredients**. Arnhem, p.58 – 59, set. 2019. Disponível em: <https://www.foodingredientsfirst.com/news/chorleywood-bread-process-boon-or-bane.html>. Acesso em: 15 abr. 2020.

ULLRICH, F.; GROSCH, W. Identification of the most intense volatile flavour compounds formed during autoxidation of linoleic acid. **Z. Lebensm. Unters. Forsch**, v.184, p. 277–282, 1987.

VELUPPILLAI, S.; NITHYANANTHARAJAH, K.; VASANTHARUBA, S.; BALAKUMAR, S.; ARASARATNAM, V. Optimization of Bread Preparation from Wheat Flour and Malted Rice Flour. **Rice Science**, v. 17, n. 1, p. 51–59, 2010.

VIANNA, F. S. V. **Manual prático de panificação SENAC**. São Paulo: SENAC, 2018. 354 p.

VILHALVA, D. A. A.; SOARES JUNIOR, M.; MOURA, C. M. A.; CALIARI, M.; SOUZA, T. A. C.; SILVA, F. A. Aproveitamento da farinha de casca de mandioca na elaboração de pão de forma. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 4, p. 514-521, 2011.

WATANABE, E. **Influência das proteínas formadoras do glúten na qualidade tecnológica da farinha de trigo para panificação**. 2014. 79 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

XAVIER, B. **Do grão ao pão: farinha de trigo: história da moagem no Brasil**. São Paulo: Editora Origem, 2016.

XI, J; ZHAO, Q.; XU, D.; JIN, Y.; WU, F.; JIN, Z.; XU, X. Volatile compounds in Chinese steamed bread influenced by fermentation time, yeast level and steaming time. **Food Chemistry**, v. 141, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643821000141>. Acesso em: 07 maio 2021.

YAYLAYAN, V. A.; KAMINSKY, E. Isolation and structural analysis of Maillard polymers: caramel and melanoidin formation in glycine/glucose model system. **Food Chemistry**, v. 63, n. 1, p. 25 -31, 1998.

ZAGOZEWSKI, T. **(Re) making bread: industrial Technologies and the skills of food industry workers**. 2008. Thesis (Master of Arts). Department of Sociology University of Saskatchewan, 141 p., 2008.

ZAMBELLI, R. A.; MENDONÇA, L. G.; CARNEIRO, S. V.; RODRIGUES, B. G. Effect of açaí powder and chitosan incorporation on bread quality. **International Journal of Food Engineering**, v. 3, n. 2, December 2017.

ZANETTI, B.; SCHMITZ, F.; APLEVICZ, K.; SCHEUER, P. M. **Apostila de Panificação I**. Ministério da Educação – Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Campus Florianópolis – Continente SC, 2009.

ZEHENTBAUER, G.; GROSCHE, W. Crust aroma of baguettes I. Key odorants of baguettes prepared in two different ways. **J. Cereal Sci.**, v. 28, p. 81–92, 1998.

ZHOU, M.; ROBARDS, K.; GLENNIE-HOLMES, M.; HELLIWELL, S. Analysis of volatile compounds and their contribution to flavor in cereals. **J. Agric. Food Chem.**, n. 47, p. 3941-3953, 1999.

APÊNDICE A – EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA PRODUÇÃO DOS EXTRATOS MASSA E PÃO



Fonte: arquivo pessoal (2019).

APÊNDICE B – CROMATÓGRAFO A GÁS E ESPECTRÔMETRO DE MASSA DA EMBRAPA FRUTOS TROPICAIS (a) E DO LABORATÓRIO DE ANÁLISES TRAÇOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (b).

(a)

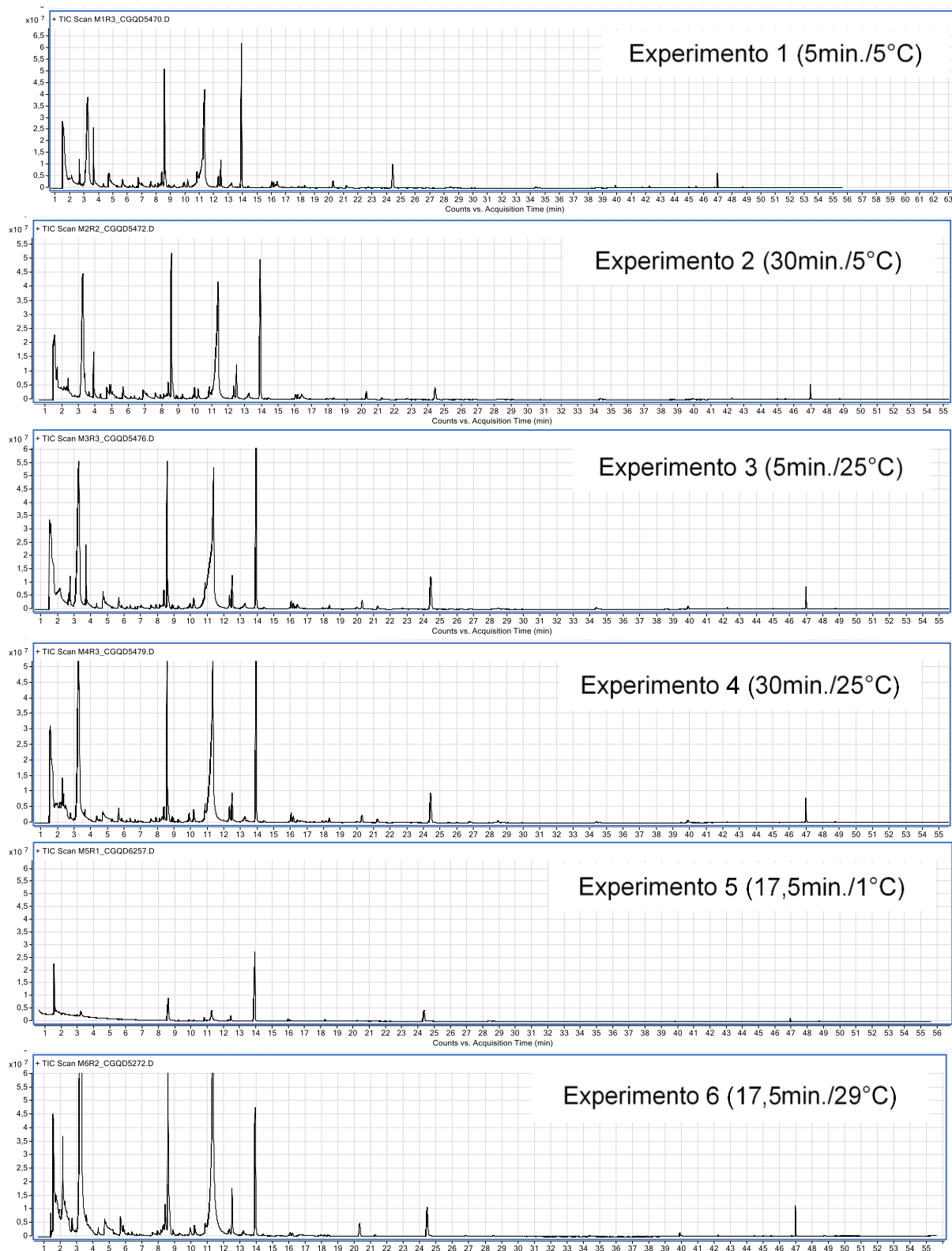


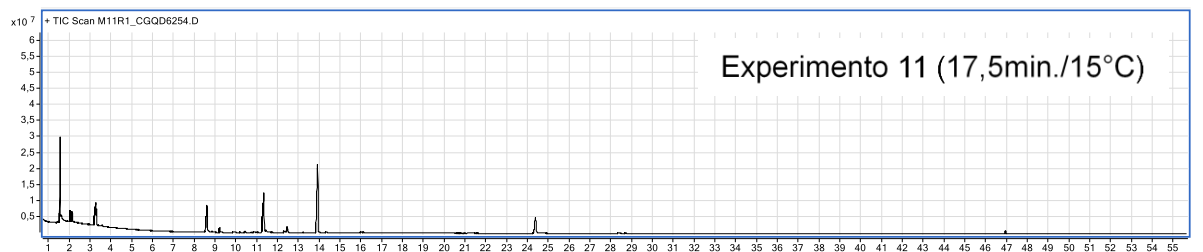
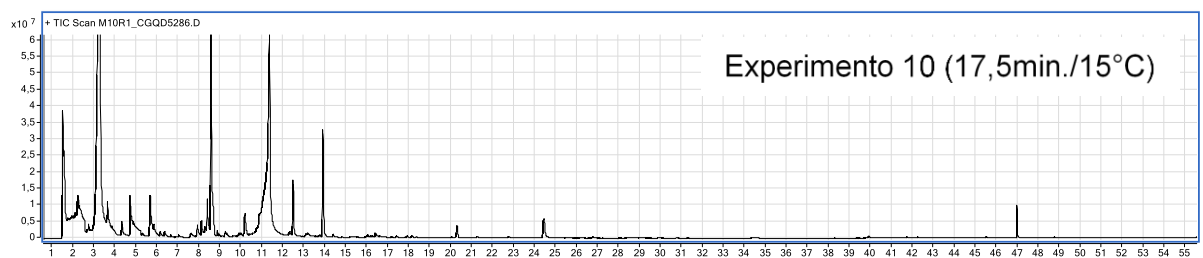
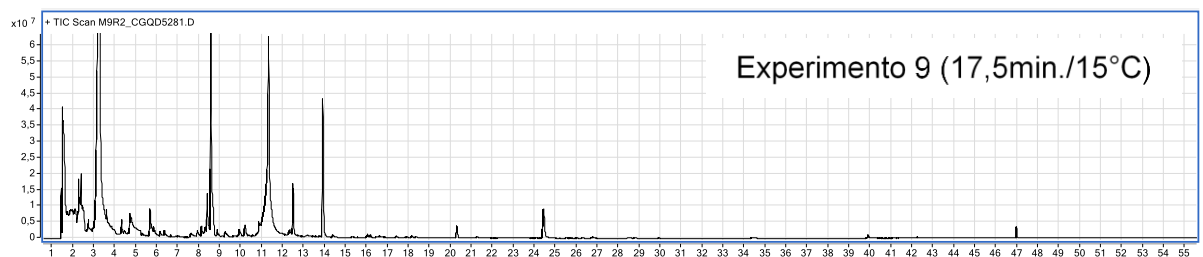
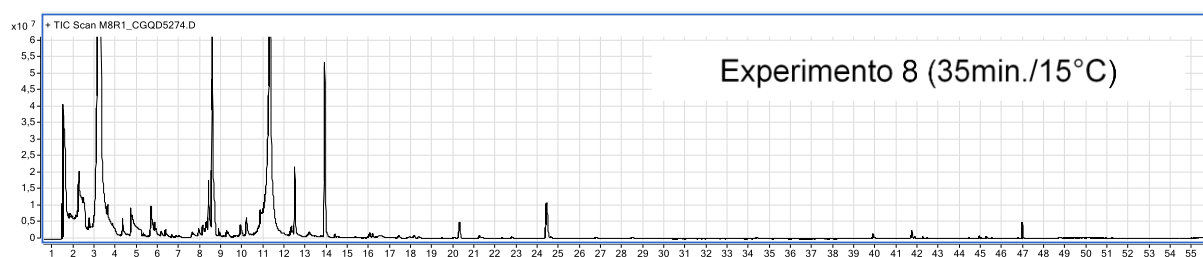
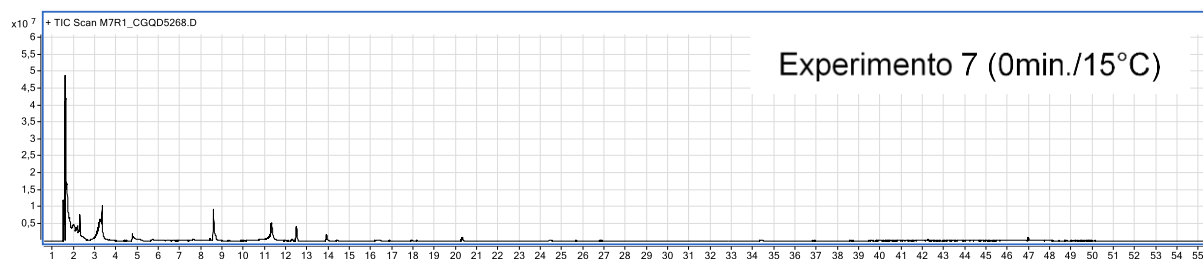
Fonte: arquivo pessoal (2019).

(b)



Fonte: arquivo pessoal (2020).

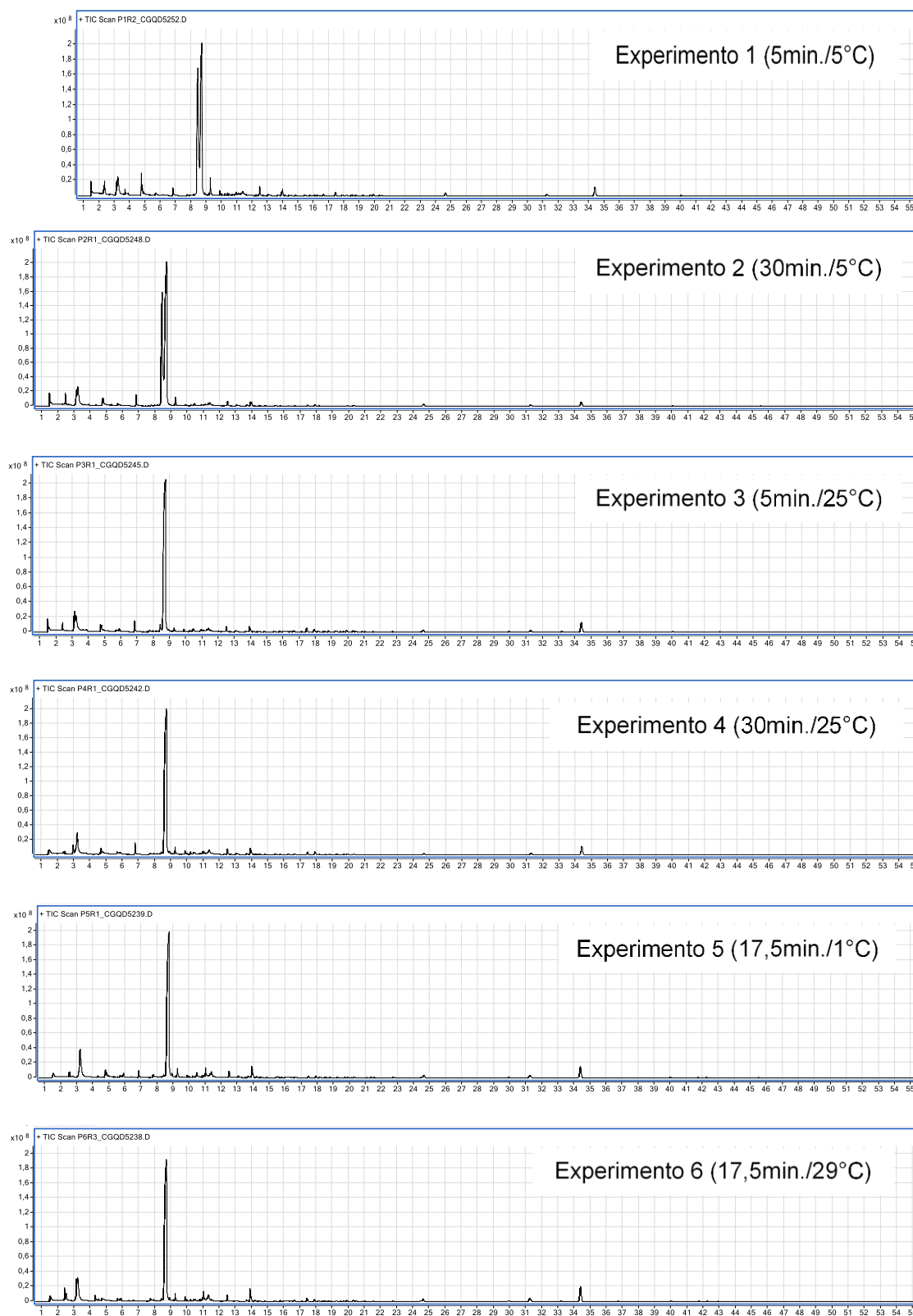
APÊNDICE C – CROMATOGRAMAS DOS EXTRATOS MASSA (Continua)

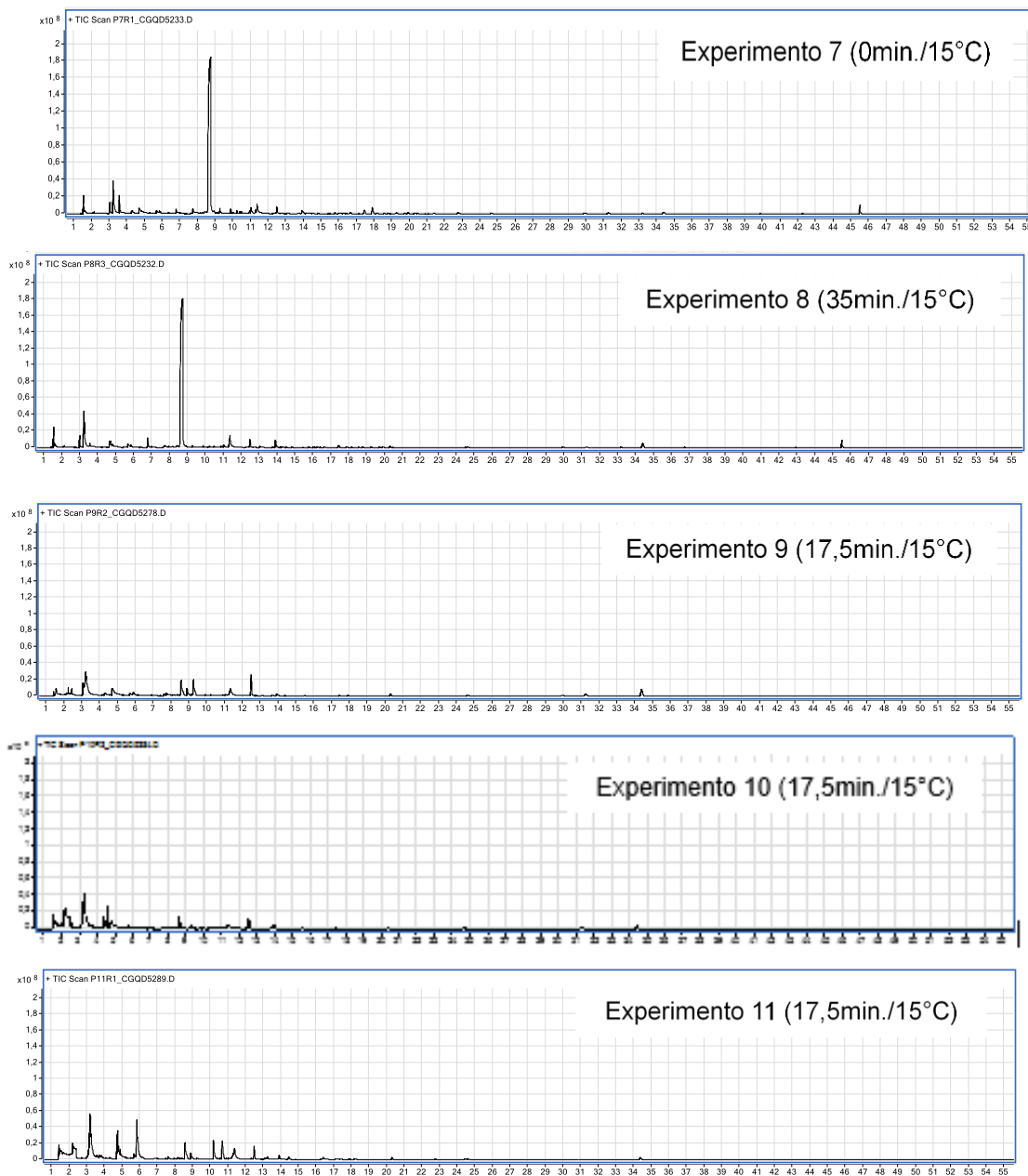
APÊNDICE C – CROMATOGRAMAS DOS EXTRATOS MASSA (Conclusão)

**APÊNDICE D – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MODELO AJUSTADO DA
VARIÁVEL NÚMERO DE PICOS DO EXTRATO MASSA (EM)**

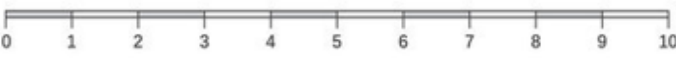



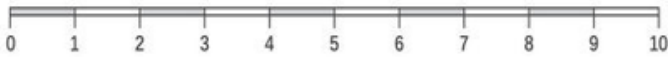
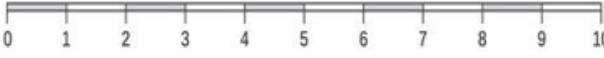

Fator	GL	SQ	QM	Fc	Ft	R ² (%)
Regressão	4	303,6395	75,9099	1,79	4,53	54,40
Resíduos:	6	254,5423	42,4237			
Falta de ajuste	4	252,5423	42,2500	42,25	19,25	
Erro puro	2	2,0000	1,0000			
Total	10	558,1818				

Fonte: dados da pesquisa. Significância a 95% de confiança ($p < 0,05$). SQ = soma quadrática; GL = Graus de Liberdade; QM = Média Quadrática; R²= variação explicada.

APÊNDICE E – CROMATOGRAMAS DOS EXTRATOS PÃO (Continua)

APÊNDICE E – CROMATOGRAMAS DOS EXTRATOS PÃO (Conclusão)

APÊNDICE F – FICHA DOS TESTES DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE TECNOLÓGICA DOS PÃES (Continua)

FICHA DO TESTE DE PANIFICAÇÃO DO PÃO RÁPIDO	
Nome: _____	Data: _____
Amostra: _____	
1. Avalie as características EXTERNAS do pão de acordo com os fatores desejáveis e indesejáveis para cada parâmetro descrito, através das escalas abaixo:	
• COR DA CROSTA	
Fatores desejáveis: cor dourada intensa na parte superior e mais pálida nas laterais. Fatores indesejáveis: cor não uniforme, muito clara ou muito escura.	
• QUEBRA	
Fatores desejáveis: extensa e uniforme. Fatores indesejáveis: muito pequena, desigual e presença de rasgos.	
• SIMETRIA	
Fatores desejáveis: aspecto simétrico Fatores indesejáveis: desigualdade nas laterais, pontas e superfícies.	
2. Avalie as características INTERNAS do pão de acordo com os fatores desejáveis e indesejáveis para cada parâmetro descrito, através das escalas abaixo:	
• CARACTERÍSTICA DA CROSTA	
Fatores desejáveis: aderente, fina, maleável. Fatores indesejáveis: muito grossa, muito fina, quebradiça, dura.	
• COR DO MIOLO	
Fatores desejáveis: cor clara e uniforme. Fatores indesejáveis: cinza, escura, opaca, desigual.	
• ESTRUTURA DAS CÉLULAS DO MIOLO	
Fatores desejáveis: células uniformes e alongadas. Fatores indesejáveis: células muito fechadas ou muito abertas, falta de uniformidade.	
• TEXTURA DO MIOLO	
Fatores desejáveis: elasticidade e suavidade. Fatores indesejáveis: aspereza, compacidade, seca.	

APÊNDICE F – FICHA DOS TESTES DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE TECNOLÓGICA DOS PÃES (Conclusão)

3. Avalie o AROMA e SABOR do pão de acordo com os fatores desejáveis, através das escalas abaixo:

- AROMA



Fatores desejáveis: aroma suave e característico.

Fatores indesejáveis: ausência, desagradável, estranho, muito forte.

- SABOR



Fatores desejáveis: característico de pão.

Fatores indesejáveis: estranho, sabor salino, ácido, de goma, de massa.

**APÊNDICE G – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
(TCLE)**

(Continua)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

(Resolução CNS 466/2012)

Eu, _____, CPF: _____, estou sendo convidado a participar de um estudo denominado "Desenvolvimento de um processo rápido de obtenção de pão de forma".

A minha participação no referido estudo será de comparecer ao Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFC para avaliar as amostras de pães de forma durante a sessão de degustação previamente agendada. Fui informado que durante a análise de aceitação receberei uma fatia de pão (50g) servida em recipiente descartável de cor branca e acompanhada com água mineral para limpeza do paladar. Soube que a limpeza do paladar deverá ocorrer antes de provar a amostra e quando achar conveniente. Fui orientado que não deverei passar mais que 2 minutos para responder cada pergunta presente na ficha resposta. E que constará também, em cima da mesa de cada analista, lápis, borracha e uma ficha de resposta por teste sensorial onde constarão todas as informações que me orientarão nas respostas.

Fui alertado que esse projeto não trará nenhum benefício de imediato para mim, entretanto estarei contribuindo para o desenvolvimento de uma nova metodologia de fabricação de pães de forma que resultará em redução de tempo e custos para as indústrias de panificação.

Recebi esclarecimentos que a ingestão desse produto pode promover reações indesejáveis à minha saúde caso eu apresente restrições ao glúten, tenha intolerância à lactose, seja diabético ou tenha qualquer alergia às proteínas do trigo e leite. Poderei, a qualquer momento, entrar em contato com o pesquisador responsável e/ou Comitê de Ética, caso haja algum efeito inesperado que possa prejudicar meu estado de saúde física e/ou mental. E caso venha a desenvolver

APÊNDICE G – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

(Continuação)

qualquer desconforto, o pesquisador responsável, irá me conduzir a um hospital ou posto mais próximo e irá me acompanhar até que tudo esteja bem.

Estou ciente de que minha privacidade será respeitada, ou seja, meu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de qualquer forma, me identificar, será mantido em sigilo. Também fui informado que pode haver recusa à participação no estudo, bem como pode ser retirado o consentimento a qualquer momento, sem justificativa. E que é garantido o livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências.

Enfim, tendo sido orientado quanto ao teor de todo o aqui mencionado e compreendido a natureza e o objetivo do já referido estudo, manifesto meu livre consentimento em participar, estando totalmente ciente de que não há nenhum valor econômico, a receber ou a pagar, por minha participação.

Endereço d(os, as) responsável(is) pela pesquisa:

Pesquisadora Responsável: Luciana Cristina Nogueira de Moraes Bezerra

Telefone: (85) 98505-7843 / **E-mail:** lcnmbezerra@gmail.com

UFC – Departamento de Engenharia de Alimentos

ATENÇÃO: Se você tiver alguma consideração ou dúvida, sobre a sua participação na pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFC/PROPESQ – Rua Coronel Nunes de Melo, 1000 - Rodolfo Teófilo, fone: 3366-8346/44. (Horário: 08:00-12:00 horas de segunda a sexta-feira).

O CEP/UFC/PROPESQ é a instância da Universidade Federal do Ceará responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos.

O abaixo assinado _____,
_____ anos, RG: _____, declara que é de livre e espontânea vontade que está como participante de uma pesquisa. Eu declaro que não fui submetido (a) a qualquer tipo de pressão ou coação e que li cuidadosamente este Termo de

**APÊNDICE G – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
(TCLE)**

(Conclusão)

Consentimento Livre e Esclarecido e que, após sua leitura, tive a oportunidade de fazer perguntas sobre o seu conteúdo, como também sobre a pesquisa, e recebi explicações que responderam por completo minhas dúvidas. E declaro, ainda, estar recebendo uma via assinada deste termo.

Fortaleza, ____ / ____ / ____

Nome do participante da pesquisa	Data
Assinatura	

Luciana C. Nogueira de Moraes Bezerra

Nome do pesquisador principal	Data
Assinatura	

Nome do Responsável legal/testemunha	Data
Assinatura (se aplicável)	

Nome do profissional	Data
Assinatura que aplicou o TCLE	

**APÊNDICE H – APLICAÇÃO DO TESTE SENSORIAL NO INSTITUTO
FEDERAL DO CEARÁ – *CAMPUS FORTALEZA***



Fonte: arquivo pessoal (2020).

APÊNDICE I – FICHA DO TESTE DE ACEITAÇÃO USANDO A ESCALA DE ATITUDE (FACT)

SEXO: () Feminino () Masculino	Data: ____/____/____
FAIXA ETÁRIA: () 18 a 19 anos () 20 a 30 anos () 31 a 40 anos () 41 a 50 anos () 51 a 60 anos () acima de 60 anos.	
A- Por favor, prove a amostra servida e marque a resposta que melhor corresponde ao seu julgamento.	
<input type="checkbox"/> Comer sempre que tivesse oportunidade <input type="checkbox"/> Comer muito frequentemente <input type="checkbox"/> Comer frequentemente <input type="checkbox"/> Gosto e comeria de vez em quando <input type="checkbox"/> Comer se estivesse acessível, mas não me esforçaria para isto	<input type="checkbox"/> Não gosto, mas comeria ocasionalmente <input type="checkbox"/> Raramente comeria <input type="checkbox"/> Só comeria se não pudesse escolher outro alimento <input type="checkbox"/> Só comeria se fosse forçado(a)
B- Indique sua atitude de compra em relação a amostra avaliada anteriormente, a partir da escala abaixo: <input type="checkbox"/> - Certamente compraria <input type="checkbox"/> - Provavelmente compraria <input type="checkbox"/> - Tenho dúvidas <input type="checkbox"/> - Provavelmente não compraria <input type="checkbox"/> - Certamente não compraria	C- Em relação à frequência de consumo, marque a opção que indica seu consumo médio de pão: <input type="checkbox"/> - Sempre (quase todo dia) <input type="checkbox"/> - Muito (pelo menos 4 vezes por semana) <input type="checkbox"/> - Moderado (pelo menos 2 vezes por semana) <input type="checkbox"/> - Pouco (1 vez por mês) <input type="checkbox"/> - Quase nunca (menos de uma vez por mês)
Assinatura: _____	

Fonte: autora.

APÊNDICE J – TABELA DO EFEITO E INTERAÇÕES CALCULADAS PARA AS VARIÁVEIS SIMETRIA E QUEBRA DO PÃO

FATORES	Simetria		Quebra	
	Efeito estimado	Significância (p)	Efeito estimado	Significância (p)
(1) Extrato (L)	0,025876	0,864202	0,738406	0,181916
Extrato (Q)	0,140512	0,439869	0,047460	0,917216
(2) Fermento (L)	0,206464	0,262042	0,302587	0,496395
Fermento (Q)	0,481373	0,081898	-0,217499	0,644220
(3) Gordura (L)	-0,057786	0,707339	-0,241446	0,578255
Gordura(Q)	-0,410669	0,107734	-0,775987	0,194721
1L x 2L	0,429365	0,132922	-0,745130	0,260469
1L x 3L	-0,34921	0,310375	0,489177	0,415019
2L x 3L	-0,601587	0,074768	-0,219156	0,692520

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

**APÊNDICE K – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O MODELO AJUSTADO
DA VARIÁVEL COR DA CROSTA DO PÃO**

Fator	GL	SQ	QM	Fc	Ft	R ² (%)
Regressão	9	34,42409	3,824898	1,33	3,68	63,17
Resíduos:	7	20,06719	2,86674			
Falta de ajuste	5	19,68019				
Erro puro	2	0,38700				
Total	16	54,49128				

Fonte: dados da pesquisa. *Significância a 95% de confiança ($p < 0,05$). SQ = soma quadrática; GL = Graus de Liberdade; QM = Média Quadrática; R²= variação explicada.

**APÊNDICE L – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O MODELO AJUSTADO
DA VARIÁVEL COR DO MIOLO DO PÃO**

Fator	GL	SQ	QM	Fc	Ft	R ² (%)
Regressão	5	49,93029	9,986058	9,79	3,20	81,66
Resíduos:	11	11,2146	1,019509091			
Falta de ajuste	9	11,10616				
Erro puro	2	0,10844				
Total	16	61,14489				

Fonte: dados da pesquisa. *Significância a 95% de confiança ($p < 0,05$). SQ = soma quadrática; GL = Graus de Liberdade; QM = Média Quadrática; R²= variação explicada.

**APÊNDICE M – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O MODELO AJUSTADO
DA VARIÁVEL ESTRUTURA DAS CÉLULAS DO MIOLO DO PÃO**

Fator	GL	SQ	QM	Fc	Ft	R ² (%)
Regressão	9	67,92001	7,5467	3,54	3,68	81,99
Resíduos:	7	14,91979	2,1313			
Falta de ajuste	5	14,81999				
Erro puro	2	0,09980				
Total	16	82,8398				

Fonte: dados da pesquisa. *Significância a 95% de confiança ($p < 0,05$). SQ = soma quadrática; GL = Graus de Liberdade; QM = Média Quadrática; R²= variação explicada.

**APÊNDICE N – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O MODELO AJUSTADO DA
VARIÁVEL TEXTURA DO PÃO**

Fator	GL	SQ	QM	Fc	Ft	R ² (%)
Regressão	9	82,4182	9,1576	2,68	3,68	77,48
Resíduos:	7	23,9596	3,4228			
Falta de ajuste	5	23,8299				
Erro puro	2	0,1297				
Total	16	106,3778				

Fonte: dados da pesquisa. *Significância a 95% de confiança ($p < 0,05$). SQ = soma quadrática; GL = Graus de Liberdade; QM = Média Quadrática; R²= variação explicada.

**APÊNDICE O – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O MODELO AJUSTADO
DA VARIÁVEL AROMA DO PÃO**

Fator	GL	SQ	QM	Fc	Ft	R ² (%)
Regressão	9	36,2505	4,027	1,77	3,68	69,43
Resíduos:	7	15,95983	2,28			
Falta de ajuste	5	15,94789				
Erro puro	2	0,01194				
Total	16	52,21035				

Fonte: dados da pesquisa. *Significância a 95% de confiança ($p < 0,05$). SQ = soma quadrática; GL = Graus de Liberdade; QM = Média Quadrática; R²= variação explicada.

**APÊNDICE P – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O MODELO AJUSTADO DA
VARIÁVEL SABOR DO PÃO**

Fator	GL	SQ	QM	Fc	Ft	R ² (%)
Regressão	7	88,2987	12,6141	6,30	3,29	83,05
Resíduos:	9	18,018	2,002			
Falta de ajuste	7	17,5363				
Erro puro	2	0,4817				
Total	16	106,3167				

Fonte: dados da pesquisa. *Significância a 95% de confiança ($p < 0,05$). SQ = soma quadrática; GL = Graus de Liberdade; QM = Média Quadrática; R²= variação explicada.

**APÊNDICE Q – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O MODELO AJUSTADO
DA VARIÁVEL VOLUME ESPECÍFICO DO PÃO**

Fator	GL	SQ	QM	Fc	Ft	R ² (%)
Regressão	9	93,3149	10,3683	5,58	3,68	87,77
Resíduos:	7	13,0018	1,8574			
Falta de ajuste	5	12,5201				
Erro puro	2	0,4817				
Total	16	106,3167				

Fonte: dados da pesquisa. *Significância a 95% de confiança ($p < 0,05$). SQ = soma quadrática; GL = Graus de Liberdade; QM = Média Quadrática; R²= variação explicada.

**APÊNDICE R – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O MODELO AJUSTADO DA
VARIÁVEL ESCORE TOTAL DA QUALIDADE DO PÃO**

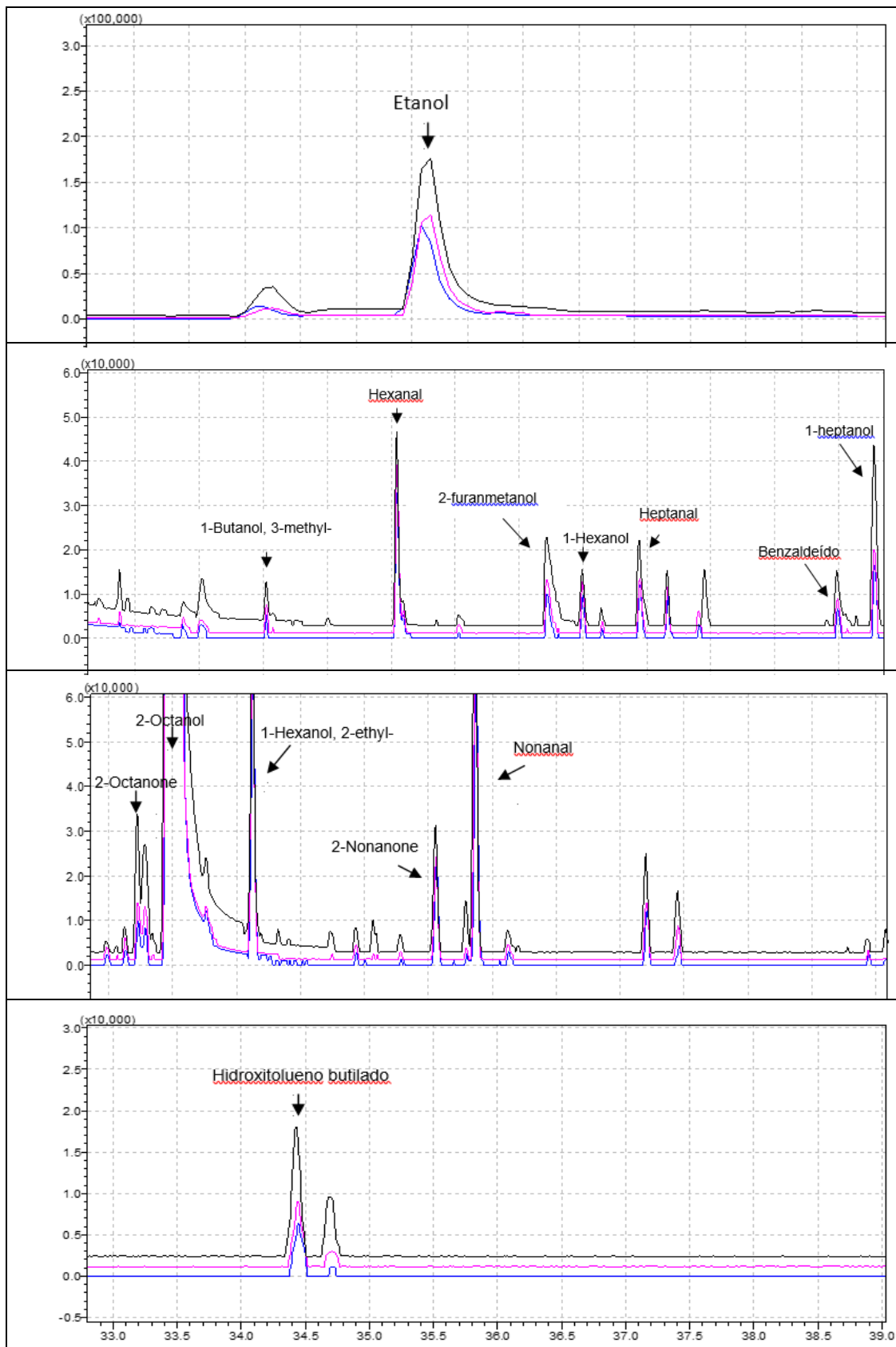
Fator	GL	SQ	QM	Fc	Ft	R ² (%)
Regressão	9	2197,858	244,206	2,32	3,68	78,76
Resíduos:	7	734,626	104,947			
Falta de ajuste	5	111,826				
Erro puro	2	622,800				
Total	16	2932,484				

Fonte: dados da pesquisa. *Significância a 95% de confiança ($p < 0,05$). SQ = soma quadrática; GL = Graus de Liberdade; QM = Média Quadrática; R²= variação explicada.

APÊNDICE S – IMAGEM DA ESTRUTURA DAS CÉLULAS DO MIOLO

Fonte: arquivo pessoal (2020).

APÊNDICE T – CROMATOGRAMAS DA ANÁLISE DOS VOLÁTEIS DO PÃO OBTIDOS POR CG/EM, EM TRIPLICATA



Fonte: dados da pesquisa.