

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

LARA MIRANDA CALDAS

**MASSAS MADRES PRODUZIDAS COM FARINHA BRANCA E FARINHA  
INTEGRAL PARA FABRICAÇÃO DE PÃES FERMENTADOS NATURALMENTE**

**MONTES CLAROS**  
**2023**

**LARA MIRANDA CALDAS**

**MASSAS MADRES PRODUZIDAS COM FARINHA BRANCA E FARINHA INTEGRAL  
PARA FABRICAÇÃO DE PÃES FERMENTADOS NATURALMENTE**

Trabalho apresentado à banca examinadora da  
Universidade Federal de Minas Gerais como  
requisito para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Igor Viana Brandi

**MONTES CLAROS**

**2023**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Instituto de Ciências Agrárias  
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

### FOLHA DE APROVAÇÃO

## Massas Madres Produzidas Com Farinha Branca E Farinha Integral Para Fabricação De Pães Fermentados Naturalmente

### LARA MIRANDA CALDAS

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado, no dia **onze de dezembro de dois mil e vinte e três**, pela Banca Examinadora constituída por:

---

Prof. Renato Souza Cruz – Doutor – UEFS

---

Mariuze Loyanny Pereira Oliveira – Mestre – UFMG/ICA

---

Prof. Igor Viana Brandi – Orientador – UFMG/ICA

Montes Claros, 11/12/2023.

Dedico este trabalho às mulheres extraordinárias que tornaram a minha jornada acadêmica possível e que, ao longo de todos esses anos, foram fontes inesgotáveis de inspiração: minha amada mãe, Edna, e minha querida madrinha, Andréia. A elas, meu mais profundo agradecimento e eterna gratidão.

## **Agradecimentos**

Gostaria de expressar minha sincera gratidão à equipe Astral, em especial à minha gestora Rosely, pelo apoio constante e confiança no projeto. Aos amigos e colegas que compartilharam os sábados e domingos comigo no laboratório, meu muito obrigado. Agradeço também ao Hugo e ao Sandro por acompanharem de perto o processo, respondendo mensagens aos sábados à noite e oferecendo suporte valioso no laboratório. A colaboração de todos vocês foi essencial para o sucesso deste projeto. Agradeço pela dedicação e parceria ao longo desse percurso.

## Resumo

O pão desempenha um papel vital na alimentação global, sendo um alimento essencial consumido em todo o mundo. Em consonância com a crescente tendência *clean label* na indústria alimentícia, destaca-se o pão de fermentação natural, que não apenas promove a redução de aditivos, mas também proporciona benefícios significativos para a saúde dos consumidores, ao mesmo tempo que apresenta vantagens tecnológicas para o produto. O presente trabalho visa desenvolver quatro variantes de fermento natural a partir de farinha de trigo refinada e integral, em ambientes com e sem oxigênio. A pesquisa concentra-se na exploração dos benefícios da fermentação natural, com foco em aspectos tecnológicos como volume específico, *baking loss*, pH e acidez titulável, além de acompanhar a evolução do *sourdough* desde sua criação até a maturidade. Os resultados indicam que o tipo de farinha exerce maior influência na produção de ácidos do que a condição de oxigênio. Tratamentos com farinha integral demonstraram menor sensibilidade às variações de temperatura. A análise de pH, TTA e volume específico revelou que a condição com oxigênio favorece valores mais baixos de pH, maior produção de ácido e volume específico elevado. Ademais, a análise de *baking loss* destacou que a condição microaerada acentua a retenção de umidade.

Palavras chave: Levain; Sourdough; Massa madre; Pão de Fermentação natural; Clean Label.

### **Abstract**

Bread plays a vital role in global nutrition, being an essential food consumed worldwide. In line with the growing clean label trend in the food industry, natural fermentation bread stands out, not only promoting the reduction of additives but also providing significant health benefits to consumers while presenting technological advantages for the product. This study aims to develop four variants of sourdough from refined and whole wheat flour in both oxygenated and microaerated environments. The research focuses on exploring the benefits of sourdough, emphasizing technological aspects such as specific volume, baking loss, pH, and titratable acidity, while tracking the evolution of sourdough from its inception to maturity. The results indicate that the type of flour has a greater influence on acid production than the oxygen condition. Treatments with whole wheat flour showed lower sensitivity to temperature variations. pH, TTA, and specific volume analysis revealed that the oxygenated condition favors lower pH values, higher acid production, and increased specific volume. Furthermore, baking loss analysis highlighted that the micro-aerated condition accentuates moisture retention.

Palavras chave: Levain; Sourdough; Massa madre; Sourdough Bread; Clean Label.

## SUMÁRIO

1.	<a href="#">Introdução</a>	10
2.	<a href="#">Revisão Bibliográfica</a>	12
2.1.	<a href="#">O pão</a>	12
2.2.	<a href="#">Farinha de trigo</a>	13
2.3.	<a href="#">Sal</a>	13
2.4.	<a href="#">Água</a>	14
2.5.	<a href="#">A levedura</a>	14
2.6.	<a href="#">A fermentação natural</a>	15
3.	<a href="#">Material e Métodos</a>	16
3.1.	<a href="#">Obtenção Da Matéria Prima</a>	16
3.2.	<a href="#">Produção E Propagação Do Sourdough Tipo I</a>	16
3.3.	<a href="#">Preparo Do Pão De Fermentação Natural</a>	17
3.4.	<a href="#">Determinação Do Baking Loss Dos Pães</a>	19
3.5.	<a href="#">Avaliação De Acidez Total Titulável Do Sourdough E Dos Pães</a>	19
3.6.	<a href="#">Determinação Do pH Do Sourdough E Dos Pães</a>	19
3.7.	<a href="#">Determinação Do Volume Específico Dos Pães</a>	20
3.8.	<a href="#">Análise Microbiológica</a>	20
3.9.	<a href="#">Análise Estatística</a>	20
4.	<a href="#">Resultados e discussão</a>	20
4.1.	<a href="#">Acidez titulavel e pH do sourdough</a>	20
4.1.	<a href="#">Acidez titulável e pH dos pães</a>	29
4.2.	<a href="#">Volume específico</a>	30
4.3.	<a href="#">Baking loss</a>	32
4.4.	<a href="#">Contagem total de fungos nos pães</a>	33
5.	<a href="#">Conclusão</a>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

6. [Referências](#)..... **Erro! Indicador não definido.**

## Introdução

O pão desempenha um papel crucial na alimentação, como ressaltado por Özge Samanci, (2008), que destacou sua essencialidade em diversas culturas ao longo dos séculos (SAMANCI, 2008). Dentre os alimentos básicos, o pão é um dos principais, e é consumido diariamente ao redor do globo (HAGER et al., 2012). De consumo conveniente, este pode contribuir de forma expressiva na ingestão recomendada de proteínas, fibras e minerais, se apresentando como uma das melhores opções entre os alimentos básicos quando se trata do fornecimento de nutrientes (WEEGELS, 2019).

Neste contexto surge a demanda de produtos de rótulo limpo, denominados *clean label*, ocasionada pela busca de um estilo de vida mais saudável e do consumo mais consciente. O *clean label* é uma tendência que descreve o fenômeno no qual alguns métodos de produção, como a agricultura convencional, são percebidos como menos naturais, enquanto alguns componentes presentes em alimentos, como os aditivos artificiais, são vistos como não saudáveis e estranhos (ASIOLI et al., 2017). Logo, a indústria alimentícia, incluindo a de panificação, precisa se adequar a preferência dos consumidores.

Assim, os pães de fermentação natural se destacam. Estes são produzidos com um agente fermentador denominado *sourdough*, *levain* ou massa madre. O *sourdough*, por sua vez, é obtido quando farinha de um cereal é combinada com água, criando um ambiente propício para o desenvolvimento de microrganismos que fazem parte da microbiota natural da farinha e que ocorrem naturalmente no ambiente. O pão de *sourdough*, também conhecido como pão de fermentação natural, é fermentado por bactérias lácticas, conhecidas como Bactérias do Ácido Lático (BAL), principalmente cepas heterofermentativas, que produzem ácido láctico e ácido acético e geram um produto final com sabor azedo agradável. (CHAVAN; CHAVAN, 2011). Ademais, de acordo com estudos os pães de fermentação natural possuem melhores características reológicas, aspectos sensoriais únicos, como *flavor* e sabores característicos. Possuem ainda uma vida de prateleira mais longa, se comparado aos pães fermentados com leveduras comerciais (GÄNZLE; VERMEULEN; VOGEL, 2007). Logo, o uso do *levain* possibilita uma redução significativa nos níveis de aditivos químicos nos pães (AMR; ALKHAMAISEH, 2022). Não obstante, estudos exploram os benefícios do uso de *sourdough* como fermento na digestibilidade dos pães. Lappi e colaboradores (2010) observaram uma melhor digestão

de pães de *sourdough* em comparação com os pães convencionais. Estes resultados estão em congruência com os obtidos por Loponen (2018), que observaram que os pães de *sourdough* podem aprimorar a digestibilidade, uma vez que reduzem e convertem substâncias pertencentes a um grupo conhecido como FODMAPs. Essas substâncias têm baixa absorção no intestino delgado e podem fermentar no intestino grosso, o que pode resultar em sintomas gastrointestinais adversos.

Logo, o pão de fermentação natural se destaca e atrai pra si estudos e pesquisas respaldadas pelos benefícios que este tipo de fermentação oferece. Contudo, apesar dos diversos benefícios que o *sourdough* proporciona aos pães que os tem como agente fermentador e aos respectivos consumidores, há um grande obstáculo associado ao uso do mesmo: A dificuldade de se produzir em larga escala.

O *sourdough* é um fermento que exige alta manutenção. Após a sua produção, o *sourdough* tradicional precisa ser mantido através de um método denominado *backslopping*, no qual uma fração do *sourdough* previamente fermentada é usada para inocular uma nova leva de farinha e água, garantindo que os microrganismos mantenham uma alta atividade metabólica, fator que por sua vez é característico deste tipo de fermento. No *sourdough* tradicional, o *backslopping* é diário. Contudo, para a produção industrial de pães o *backslopping* deve ocorrer com menor frequência, preferencialmente semanal ou até mesmo mensalmente. (MINERVINI et al., 2010).

Ademais, outro grande empecilho para o uso do *sourdough* em escala industrial está associado a padronização dos produtos. A abundância de microrganismos viáveis na fração previamente fermentada que atuará como inóculo desempenha um papel fundamental nas características tecnológicas do produto final. A inconsistência e a capacidade de adaptação da microbiota às mudanças nas condições ambientais, como matérias-primas e temperatura, contribuem para a variabilidade dos produtos (AZCARATE-PERIL; ARNOLD; BRUNO-BÁRCENA, 2019). Em um contexto industrial, a padronização de alimentos é crucial para garantir qualidade, segurança e valor nutricional consistente dos produtos.

Uma das formas de viabilizar o uso do *sourdough* em escala industrial é o uso de culturas *starters*. Basicamente, existem três tipos de *sourdough*. Sendo que o tipo I é o *sourdough* tradicional descrito previamente e é específico de cada região, uma vez que as espécies de BAL e leveduras selvagens dependem de fatores ecológicos (PÉTEL; ONNO; PROST, 2017). Por outro lado, o *sourdough* tipo II é uma versão que usa cepas

selecionadas como iniciadoras, que por sua vez podem ser facilmente bombeadas em uma indústria. Já o tipo III é um *sourdough* cuja cultura iniciadora é seca, comumente usada na indústria de panificação, que fornece qualidade consistente e sabor autêntico ao pão (CHAVAN; CHAVAN, 2011).

O propósito deste estudo consiste em desenvolver quatro tipos de fermento naturais: um produzido a partir de farinha de trigo refinada e outro a partir de farinha de trigo integral, com duas variações ambientais distintas, uma contendo oxigênio e outra em ambiente microaerado. Este estudo visa explorar os benefícios que a fermentação natural proporciona para os pães, com ênfase em aspectos tecnológicos como volume específico, *baking loss*, pH e acidez titulável. Além disso, concentra-se no acompanhamento do comportamento do *sourdough* desde sua criação até atingir a maturidade.

### Revisão Bibliográfica

#### O pão

De acordo com Arranz-Otaegui e colaboradores (2018) o pão surgiu na Ásia, na região sudoeste, precedendo o surgimento da agricultura em pelo menos 4.000 anos. Evidências da preparação de produtos muito semelhantes ao pão, feitos com as safras fundadoras das primeiras culturas cultivadas pelas sociedades humanas são fornecidas pelo sítio de natufianos, um grupo de caçadores-coletores semissedentários do Mediterrâneo, de Shubayqa 1, no nordeste da Jordânia (HIDALGO; BRANDOLINI, 2014). A análise de restos de comida carbonizada deste local revelou o uso de trigo *einkorn* selvagem e raízes para produzir produtos semelhantes ao pão achatado. Os sumérios preparavam os primeiros pães fermentados misturando cerveja fermentada com massas de trigo. Os egípcios, por sua vez, aprimoraram o pão e o difundiram em outras culturas.

Neste contexto, a indústria da panificação evoluiu ao longo dos séculos, incorporando novos ingredientes e tecnologias, tornando os produtos de panificação mais diversificados. Nos dias atuais, o pão é um dos produtos mais importantes de origem cereal e tem sido um alimento básico de grande valor para a nutrição humana e para a economia (PAPADIMITRIOU et al., 2019).

O pão tradicional é feito com alguns ingredientes básicos: farinha, água, sal e fermento. Esses ingredientes são misturados, seguidos de fermentação e cozimento, para criar o pão (ROSELL, 2019).

---

*Um pão perfeito envolve diversas etapas de produção, o que inclui a seleção da matéria-prima, mistura adequada dos ingredientes, escolha do fermento ideal e química de fermentação do pão, tudo isso para que a etapa final, momento de assar o pão, seja um sucesso. Diante de um processo tão complexo, que envolve a utilização de uma série de ingredientes, é importante que você entenda qual a função de cada um deles no resultado final do seu pão (CATZEDDU, 2019)*

---

## Farinha de trigo

A farinha de trigo é obtida da moagem do grão de trigo *Triticum aestivum*, ou de outras espécies do gênero *Triticum* (exceto *Triticum durum*), e é responsável pela estrutura, forma e consistência da massa (OLIVEIRA; BUENO, 2020). O pão pode ser produzido com diferentes farinhas, mas a farinha de trigo é a mais utilizada. Isto se deve ao fato desta fornecer a composição química e as propriedades reológicas necessárias para a produção de um pão de qualidade. Este tipo de farinha se destaca por conter as proteínas formadoras de glúten, a glutenina e gliadina. A glutenina confere a elasticidade da massa, já a gliadina é responsável pela extensibilidade da massa (GUIMARÃES, 2023). O glúten forma uma rede tridimensional quando a farinha recebe água e é submetida a trabalho mecânico. Esta rede é elástica e resistente e possibilita que o pão se expanda. Além disso, a farinha de trigo contém amido, que é um carboidrato complexo que ajuda a absorver a água e a reter o dióxido de carbono produzido durante a fermentação, o que contribui para a textura macia e esponjosa do pão (BOITA, 2015)

## Sal

O sal é um mineral dietético composto principalmente de cloreto de sódio. Na produção de pão, o sal desempenha vários papéis importantes. Além de fortalecer a massa e contribuir para uma textura e estrutura aprimoradas do produto final, realça o sabor do pão, destacando outros sabores do sistema e intensificando a doçura, ao mesmo tempo que disfarça sabores metálicos, amargos ou estranhos (TUHUMURY, 2020). Ademais, o sal reduz a absorção de água na massa e prolonga o tempo de mistura, benefícios particularmente relevantes em processos de produção em larga escala. Não obstante, auxilia no controle da produção de gás carbônico e outros subprodutos da fermentação, especialmente em climas quentes, assegurando uma qualidade consistente (MILLER; HOSENEY, 2007). Este controle, conforme apontado por (MAN, 2006), ocorre pela ação

dos íons sódio e cloreto na membrana celular da levedura, somada ao aumento da pressão osmótica promovido pelo sal. Esse aumento inibe o crescimento e a atividade da levedura, prolongando assim o tempo de fermentação.

### Água

O teor de água na massa de pão é crucial para determinar sua qualidade, influenciando características como volume, cor da crosta, estrutura central, textura, sabor e aroma (LOVEDAY et al., 2012). Além de ser essencial para a formação de glúten, a água desempenha múltiplos papéis durante o processo de fermentação. Ela atua como solvente, facilitando a dissolução e ativação de enzimas, participa da hidrólise de carboidratos complexos, contribui para a hidratação das proteínas e suas mudanças estruturais, e é fundamental na hidratação e ativação das células de levedura para realizar reações metabólicas, como a glicólise. Além disso, a água está envolvida na hidrólise do amido em açúcares fermentáveis utilizados por leveduras e outros microrganismos durante a fermentação. Adicionalmente, a água desempenha um papel crucial no controle da resistência e temperatura da massa, contribuindo para a maturação e o sabor do produto final de pão (SCHIRALDI; FESSAS, 2012).

### A levedura

As leveduras são microrganismos eucarióticos usados há séculos em várias aplicações biotecnológicas. Na panificação, a levedura *Saccharomyces cerevisiae* assume o protagonismo no processo de fermentação.

---

*É um microrganismo anaeróbio facultativo, podendo apresentar atividade metabólica tanto em condições aeróbicas, como as que ocorrem no momento de sovatação da massa do pão, quando o objetivo é inserir oxigênio por meio da movimentação, quanto em condições anaeróbicas, durante o crescimento da massa do pão, em que a difusividade de oxigênio é mais difícil (SANTOS, 2019)*

---

Este microrganismo metaboliza os açúcares durante a fermentação, gerando dióxido de carbono e outros metabólitos que conferem aroma e sabor ao pão. O uso de fermento comercial na panificação é dominado por um pequeno número de cepas de *S. cerevisiae*. Essas cepas foram especificamente selecionadas e otimizadas por sua capacidade de utilizar eficientemente açúcares complexos como a maltose, tolerar o estresse osmótico, resistir a várias condições de processamento e produzir aromas e sabores desejáveis na massa de pão (LAHUE et al., 2020). No entanto, o fermento comercial pode substituído por

uma fermentação natural, em que ocorre a seleção natural de cepas fermentativas durante o processo.

### A fermentação natural

A fermentação natural ou espontânea na produção de pão é uma técnica tradicional que envolve um processo fermentativo promovido por microrganismos oriundos de uma massa previamente fermentada, conhecida como *sourdough*, com a microbiota que ocorre naturalmente na farinha.

O *sourdough* tem início pela mistura de farinha com água, sem a adição de uma cultura inicial ou porção de uma massa previamente fermentada. A microflora dessa massa depende da microflora dos ingredientes crus utilizados e das condições higiênicas predominantes, sendo variável em termos de tipo, origem e condições de armazenamento da farinha, bem como dos parâmetros tecnológicos do processo de fermentação aplicados (KATINA, 2005). Massas madres possuem ecossistemas biológicos altamente complexos, onde as bactérias lácticas predominam como organismos dominantes, coexistindo principalmente com as leveduras, que também se encontram em concentrações elevadas (SAKANDAR et al., 2019).

---

*A maioria dos estudos rastreou a dinâmica microbiana por dez dias, como exemplo, Ercolini et al. detectaram a alta abundância de microrganismos naturalmente herdados de cereais, como Acinetobacter, Pseudomonas, Sphingomonas e especialmente Enterobacter, durante a primeira fase, seguida pela dominação de Weissella spp. e Lb. lactis na segunda fase (do dia 2 ao dia 5), e, por fim, após o quinto dia (terceira fase), Leuconostoc spp. e Lb. sakei prevaleceram na microbiota da massa madre de trigo (LAU et al., 2021)*

---

Esse processo de fermentação é conhecido por melhorar a qualidade do pão, proporcionando benefícios nutricionais e para a saúde dos consumidores. O pão de fermentação natural oferece uma variedade de benefícios, contribuindo para uma experiência sensorial aprimorada, como o aprimoramento do aroma (GAROFALO et al., 2008; MORONI; DAL BELLO; ARENDT, 2009; PÉTEL; ONNO; PROST, 2017), da textura (CAVALLO et al., 2017; GAROFALO et al., 2008; MORONI; DAL BELLO; ARENDT, 2009) e sabor (CAVALLO et al., 2017; GAROFALO et al., 2008; GOBBETTI et al., 2014; MORONI; DAL BELLO; ARENDT, 2009).

Além dessas características, apresenta vantagens para a saúde. No âmbito gastrointestinal, auxilia na redução de oligossacarídeos não digeríveis, como os FODMAPs,

proporcionando benefícios para pacientes com distúrbios gastrointestinais, como a síndrome do intestino irritável (LAATIKAINEN et al., 2016). Ao mesmo tempo, promove a diminuição do teor de glúten (CAGNO et al., 2008), a pré-digestão do ácido fólico (LEENHARDT et al., 2005) e a presença de prebióticos e probióticos naturais (DOUGLAS; SANDERS, 2008), favorecendo uma digestão mais eficaz. Ademais, auxilia no controle do índice glicêmico (BO et al., 2017; SIEPMANN et al., 2018), contribui para melhorar o controle da glicose no sangue (BRAND-MILLER et al., 2003; SALMERÓN et al., 1997), além de aumentar a sensibilidade à insulina (BRAND-MILLER et al., 2003; FROST et al., 1998; RIZKALLA et al., 2004) e reduzir o colesterol sérico (KELLY et al., 2004). Esses benefícios estão associados à diminuição do risco de desenvolver doenças cardiovasculares (LIU et al., 2000), diabetes tipo 2 e no controle de peso, conforme descrito por Ebbeling e colaboradores (2003).

Não obstante, o pão de fermentação natural destaca-se por sua prolongada vida útil, uma vez que o *sourdough* retarda o processo de envelhecimento, além de exibir atividade anti ranço e antifúngica (GAROFALO et al., 2008; MORONI; DAL BELLO; ARENDT, 2009). A atividade antifúngica é atribuída à síntese de uma variedade de compostos, como ácidos acético, caproico, fórmico, propiônico, butírico, n-valérico, fenilático e 4-hidroxi-fenilático, além de dipeptídeos cíclicos, por microrganismos como *L. plantarum* (ARORA et al., 2021).

## Material e métodos

### 3.1 Obtenção Da Matéria Prima

Todos os materiais utilizados neste estudo foram gentilmente fornecidos pela empresa Astral Pães e Massas. As farinhas empregadas na preparação e alimentação do *sourdough* de farinha branca foram da empresa Boa Safra, enquanto a farinha integral utilizada foi da Frisia, ambas sem aditivos. Para a elaboração dos pães de fermentação natural, empregou-se a farinha de trigo branca Boa Safra com aditivos. O sal utilizado foi da marca Pluma, o açúcar da marca Nutrisúcar, o glúten da marca De Tulpen e o aditivo melhorador de farinha (Ideal Plus V) da marca Ireks.

### 3.2 PRODUÇÃO E PROPAGAÇÃO DO SOURDOUGH TIPO I

As farinhas de trigo branca (FTB) e integral (FTI) foram combinadas em uma proporção de 1:1 em peso com água destilada, originando dois *sourdough*. Esses

*sourdough* foram mantidos a  $25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$  por 24 horas, permitindo o processo de fermentação. Os tratamentos com exposição ao oxigênio ( $\text{O}_2+$ ) foram conservados em recipientes de Becker cobertos com filmes plásticos contendo pequenos orifícios, enquanto os tratamentos microareados ( $\text{O}_2-$ ) foram acondicionados em potes de conserva tampados.

O experimento foi conduzido da seguinte forma: Foram realizadas nove alimentações da farinha em estado fermentativo, um processo no qual a farinha foi submetida a um ambiente propício para o desenvolvimento de microorganismos endógenos, respeitando intervalos de 24 horas entre cada uma delas. Em cada processo de alimentação, uma porção do *sourdough* foi empregada para iniciar uma nova mistura de farinha de trigo e água destilada na proporção de *sourdough*: água destilada : FTB/FTI de 1:2:2 em peso. Após 10 dias de alimentações diárias, os *sourdoughs* foram transferidos para a geladeira, e as alimentações passaram a ser realizadas a cada 72 horas. Na semana antecessora a preparação dos pães de fermentação natural, os *sourdoughs* foram retirados da geladeira e retomou-se o processo de alimentação a cada 24 horas. Os pães foram produzidos 6 horas após a última alimentação, garantindo um estado de fermentação ideal nas massas madre.

### 3.3 Preparo Do Pão De Fermentação Natural

No processo de preparo do pão de fermentação natural, primeiramente, os ingredientes secos foram cuidadosamente homogeneizados na masseira Amassadeira Espiral 10L da marca G. Paniz, o que levou aproximadamente 1 minuto. Em seguida, o *sourdough* e a água foram adicionados, e a massa foi batida na masseira até atingir o ponto de véu, indicando o desenvolvimento adequado da rede de glúten, o que ocorreu em uma média de 15 minutos. Posteriormente, a massa foi dividida em porções de 500 gramas, que foram moldadas e boleadas manualmente. Em seguida, os pães foram posicionados em formas e em temperatura ambiente passaram pelo processo de fermentação por 5 horas. Na Figura 1 é possível observar os pães no fim da fermentação.



Figura 1 – Pães De Fermentação Natural Após 5 Horas De Fermentação

Por fim, os pães foram transferidos para o forno pré-aquecido a 180°C, onde foram assados por 30 minutos. O resfriamento dos pães ocorreu à temperatura ambiente, seguido pelo processo de envase, que foi promovido manualmente. Na Figura 2 vê-se os pães após o forneamento.



Figura 2 – Pães De Fermentação Natural Após Forneamento

Os pães foram embalados em embalagem plástica e fechados com fitilhos. A Figura 3 apresenta a formulação detalhada dos pães.

Ingredientes	Base farinha (%)	Massa (g)
Farinha de trigo	100,00	3000,00
<i>Sourdough</i>	25,00	750,00
Água	53,00	1590,00
Açúcar	6,00	180,00

Glúten	3,00	90,00
Melhorador Plus V	0,10	3,00
Sal	1,50	45,00

Figura 3 - Formulação dos pães de fermentação natural

### 3.4 Determinação do baking loss dos pães

Os pães tiveram suas massas mensuradas antes e após o forneamento e o *baking loss* foi determinado através da seguinte formula:

$$baking\ loss\ (BL) = \frac{m_{pf} - m_{af}}{m_{pf}} * 100$$

Onde  $m_{pf}$  corresponde à massa do pão pré-forneamento e  $m_{pa}$  à massa após o forneamento. O resultado é expresso em porcentagem.

### 3.5 Avaliação de acidez total titulável (TTA) do sourdough e dos pães

A determinação da acidez total titulável seguiu o procedimento recomendado pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), com adaptações. Inicialmente, 5 gramas de sourdough foram homogeneizados em 50 mL de água destilada dentro de um Erlenmeyer de 100 mL. Posteriormente foi então titulada com uma solução padronizada de NaOH  $0.1\ Mol * L^{-1}$  e indicador fenolftaleína. Os resultados foram expressos em termos do volume (mL) de NaOH consumido durante a titulação.

### 3.6 Determinação Do pH Do Sourdough E Dos Pães

A determinação do pH foi realizada de acordo com o protocolo estabelecido pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), utilizando um pHmetro modelo One Sense pH 2500 da marca Marte Científica. No caso do sourdough, 5 gramas da amostra foram solubilizados em 50 mL de água destilada, com agitação constante durante a medição do pH. Para os pães de fermentação natural, procedeu-se à trituração das amostras até obter partículas uniformes usando o processador MX-01 da marca Agratto. Em seguida, 10 gramas do pão triturado foram misturados em 100 mL de água destilada, assegurando agitação para manter as partículas em suspensão durante a medição do pH.

### 3.7 Determinação Do Volume Específico Dos Pães

O volume específico dos pães foi determinado utilizando o método de deslocamento de sementes de painço. Inicialmente, os pães foram pesados. Em seguida, um recipiente foi totalmente preenchido com sementes de painço. Uma parte das sementes foi removida, permitindo a inserção do pão no recipiente. Após essa etapa, as sementes retiradas foram reintegradas ao recipiente junto com o pão, e a quantidade restante de sementes foi medida utilizando uma proveta, representando assim o volume ocupado pelos pães.

O volume específico, expresso em  $\text{cm}^3$ , foi calculado através da seguinte expressão:

$$\text{Volume específico} \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{g}} \right) = \frac{\text{volume das sementes deslocadas}}{\text{massa do pão}}$$

### 3.8 Análise Microbiológica

A contagem de leveduras totais foi realizada nos pães com 1 e 15 dias de armazenamento. Para isto, realizou-se diluições seriadas até diluição  $10^{-7}$ , utilizando água peptonada esterilizada. Por fim, 100 $\mu\text{L}$  de cada diluição foram inoculados em placas de petri contendo o meio PDA (*Potato Dextrose Agar*) acidificado com ácido tartárico com incubação a 28°C por 72 horas.

### 3.9 Análise Estatística

As diferenças entre os resultados obtidos foram determinadas por análise de variância (ANOVA), com fatores simples ou duplos, e posterior aplicação do teste de Tukey, t ou Skott-knot, com um nível de significância de 5%. Todas as análises foram conduzidas utilizando o software R© versão 4.3.1.

## Resultados e discussão

### 4.1 Acidez titulavel e pH do sourdough

No momento da produção das massas mães, observou-se que os tratamentos elaborados com um tipo específico de farinha não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si, pelo teste Tuley ao nível de significância 5%. Entretanto, distinguiram-se dos tratamentos que utilizaram o outro tipo de farinha. Conforme apresentado na Tabela 1, o tratamento FTIO2- e o Tratamento FTIO2+ apresentaram um pH médio de 6,59, enquanto o pH do FTBO2+ foi 6,22 e o do FTBO2- 6,20.

Tabela 1 - Variação do pH no Dia de Criação de Fermentos: Uma Análise Comparativa entre Diferentes Tratamentos (FTBO2-, FTBO2+, FTIO2-, e FTIO2+) por meio de ANOVA de Dois Fatores com Teste de Tukey ( $\alpha = 5\%$ )

Tratamentos	pH	Teste Tukey
FTIO2-	6,59±0,04	a
FTIO2+	6,59±0,02	a
FTBO2+	6,22±0,03	b
FTBO2-	6,20±0,01	b

Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ , Teste de Tukey).

Os tratamentos derivados da farinha de trigo integral exibiram um pH próximo à neutralidade e essa característica pode ser atribuída às particularidades inerentes aos dois tipos de farinha, resultantes de seus processamentos e dos componentes presentes. A farinha integral, elaborada a partir do grão inteiro, o que inclui o farelo e o gérmen, contrasta com a farinha branca, que passa por um refinamento. O grão de trigo é rico em proteínas e minerais. Tais nutrientes atuam conferindo uma notável capacidade tamponante (TOMIC et al., 2023), explicando a maior alcalinidade nos tratamentos feitos a partir da farinha integral.

Além disso, ao avaliar a acidez titulável total no momento da criação dos fermentos, nota-se a ausência de diferença significativa entre os tratamentos, conforme indicado pela Tabela 2.

Tabela 2 - Variação da Acidez Total Titulável no Dia de Criação de Fermentos Naturais: Uma Análise Comparativa entre Diferentes Tratamentos (FTBO2-, FTBO2+, FTIO2-, e FTIO2+) por meio de ANOVA de Dois Fatores com Teste de Tukey ( $\alpha = 5\%$ )

Tratamentos	Acidez Titulável (mL de NaOH)	Teste Tukey
FTIO2+	1,45±0,06	a
FTIO2-	1,40±0,08	a
FTBO2-	1,23±0,05	a
FTBO2+	1,18±0,15	a

Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ , Teste de Tukey).

Essa constatação se justifica pelo fato de que o processo fermentativo ainda não havia sido iniciado. Isso implica que a produção de ácido pelas LAB não estava em curso, e, por conseguinte, não seria possível identificar variações em uma produção ácida que sequer havia se iniciado. Vale ressaltar que os valores de TTA encontrados nesse estágio são ligeiramente inferiores aos relatados por Santos (2019), os quais variaram entre 2,49 e 2,5 mL de NaOH.

Por outro lado, no décimo dia após o início da fermentação, já foi possível observar alguns aspectos que indicam o desempenho do sourdough. No contexto do pH de uma massa madre madura, é crucial reconhecer a complexidade desse sistema, cujas nuances variam de acordo com a natureza e condições do processo. Conforme apresentado na Tabela 3, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas pelo teste de Tukey no pH após 10 dias de processo fermentativo, considerando um nível de significância de 5%.

Tabela 3 - Variação do pH Após 10 Dias de Processo Fermentativo: Uma Análise Comparativa entre Diferentes Tratamentos (FTBO2-, FTBO2+, FTIO2-, e FTIO2+) por meio de ANOVA de Dois Fatores com Teste de Tukey ( $\alpha = 5\%$ )

Tratamentos	pH	Teste Tukey
FTBO2+	3,86±0,06	a
FTIO2-	3,83±0,03	a
FTIO2+	3,83±0,01	a
FTBO2-	3,70±0,07	a

Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ , Teste de Tukey).

Entretanto, no que diz respeito à acidez titulável, observou-se que os tratamentos dentro do mesmo tipo de farinha não apresentaram variações significativas entre si, mas diferiram dos tratamentos realizados com o outro tipo de farinha. Ademais, os resultados expostos na Tabela 4 convergem com o que é encontrado na literatura. No décimo dia, os valores de pH e acidez titulável foram, respectivamente, 3,70 e 7,38 para FTBO2-, 3,86 e 8,93 para FTBO2+, 3,83 e 11,30 para FTIO2- e 3,83 e 11,75 para FTIO2+. Esses resultados alinham-se com pesquisas anteriores, conforme observado por (SANTOS, 2019), cujos resultados indicam que, para massas de trigo, a faixa de pH geralmente observada situa-se entre 3,5 e 4,3. Assim como o afirmado por (ARORA et al., 2021), que indicou como o

intervalo mais comum de acidez titulável valores entre 4,0-25,0mL de NaOH 0,1M, com um valor médio de 11,0 mL.

Tabela 4 - Variação da Acidez Total Titulável Após 10 Dias de Processo Fermentativo: Uma Análise Comparativa entre Diferentes Tratamentos (FTBO2-, FTBO2+, FTIO2-, e FTIO2+) por meio de ANOVA de Dois Fatores com Teste de t ( $\alpha = 5\%$ )

Tratamentos	Acidez Titulável (mL de NaOH)	Teste t
FTIO2+	11,75±0,34	a
FTIO2-	11,30±0,57	a
FTBO2+	8,93±2,17	b
FTBO2-	7,38±0,17	b

Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ , Teste t).

De modo geral, espera-se que as massas madres elaboradas com farinha de trigo branca apresentem valores de pH mais baixos em comparação com aquelas feitas a partir de farinha de trigo integral, uma vez que esta atua como um tampão mineral durante o processo de fermentação (SANTOS et al., 2022).

Apesar disto, o tratamento FTBO2+ (farinha branca com oxigênio) apresentou o maior pH do experimento (3,86) e, simultaneamente, uma acidez titulável superior ao tratamento que exibiu o menor pH, FTBO2- (farinha branca com microaeração), indicando uma relação complexa entre essas variáveis. Essa observação levanta a possibilidade de que a condição de oxigênio tenha modulado uma microbiota capaz de produzir substâncias tamponantes. No entanto, de acordo com (TOMIC et al., 2023), a capacidade de tamponamento parece derivar mais da composição da farinha do que dos metabólitos microbianos, os quais podem ter sido influenciados pela modulação da microbiota devido às condições de oxigênio.

Por outro lado, o tratamento FTBO2-, que envolve farinha branca com microaeração, destacou-se com o menor pH e, simultaneamente, a menor acidez titulável em comparação com os demais tratamentos. Especula-se que a micro aeração tenha resultado em um sourdough com uma microbiota cuja produção de substâncias tampão seja pequena ou inexistente.

Em discrepância com o ocorrido para as farinhas brancas, os tratamentos FTIO2+ e FTIO2- (farinha integral) apresentaram resultados semelhantes, sugerindo que a condição de oxigênio pode não ter tido um impacto significativo no pH e acidez destes fermentos.

Neste contexto, observa-se que as médias de TTA para os tratamentos utilizando farinha de trigo integral foram superiores em comparação com os tratamentos que empregaram farinhas brancas e ocasionaram uma redução menos expressiva no pH. Este comportamento era esperado, uma vez que as LAB são inibidas por valores de pH mais baixos, mas simultaneamente demonstram tolerância a altas concentrações de ácidos orgânicos.

---

*As bactérias lácticas toleram concentrações de ácido acético e láctico não dissociado que excedem muito aquelas concentrações normalmente encontradas em sourdough [9-11]. O crescimento de *L. sanfranciscensis* e *L. pontis* é observado em concentrações de lactato de até 300 e 500 mmol/L, respectivamente [9, 10]; ambos os organismos também toleram altas concentrações de ácido acético. Essa alta tolerância a ácidos orgânicos contrasta com a resposta das leveduras, que são inibidas por ácidos orgânicos não dissociados, mas não pelo baixo pH. Além disso, como o pH, e não a concentração de ácido orgânico, limita o crescimento das bactérias lácticas em sourdough, a seleção de substratos de cereais com alta capacidade de tamponamento, como farinha de trigo integral ou farelo, permite a produção de sourdough ou produtos de sourdough com alta concentração de ácidos orgânicos e uma correspondente alta acidez total titulável. (GOBBETTI; GÄNZLE, 2013)*

---

Logo, substratos com elevada capacidade tamponante, como a farinha de trigo integral, permitem uma produção intensiva de ácidos, sem ocasionar uma redução expressiva do pH. Essa condição evita a inibição das LAB, potencialmente resultando em uma produção mais robusta de ácidos.

No presente estudo, objetivando avaliar o comportamento dos fermentos ao longo do processo de maturação, promoveram-se análises de pH e TTA que possibilitaram o acompanhamento da evolução da microbiota dos sourdough ao longo de 10 dias, no entanto, no segundo dia de análises ocorreu uma queda de energia que inviabilizou as análises de pH e TTA, de forma que apenas 9 dias foram analisados.

É crucial compreender que, desde a concepção do sourdough até a obtenção de um fermento completamente maduro, desenrola-se um processo dinâmico caracterizado por diversas etapas. Ao longo desse percurso, distintos microrganismos assumem a predominância, ocasionando variações significativas nos metabólitos presentes no meio. O fenômeno em questão é um processo de seleção natural, no qual as condições ambientais

e nutricionais evoluem, proporcionando vantagens seletivas a determinadas cepas microbianas em detrimento de outras. Durante as fases iniciais, a comunidade microbiana do sourdough é estabelecida, marcando o início de uma competição pela utilização de recursos disponíveis. Ao longo do tempo, as cepas mais adaptadas e eficientes na metabolização dos substratos presentes ganham prevalência, conduzindo a uma evolução dinâmica da composição microbiana e, por conseguinte, dos metabólitos gerados.

---

*Com a disponibilidade de substrato e a não predominância de espécies produtoras de ácidos nos primeiros dias de fermentação, microrganismos como Enterococcus spp. podem ser observados entre os três primeiros dias de processo de fermentação. No entanto, em torno do quinto dia de fermentação ocorre um aumento dos gêneros Lactobacillus, Weissella, Leuconostoc e Pediococcus, demonstrando que estes são os microrganismos mais adaptados a uma massa com um maior teor de acidez (COSTA, 2022)*

---

A composição da microbiota do sourdough é influenciada principalmente pelo tipo de farinha e pelas condições aplicadas durante o processo, o que impacta diretamente na mudança das características de produtos panificados produzidos com este fermento natural. Segundo (DE VUYST; VAN KERREBROECK; LEROY, 2017), geralmente em uma semana o ecossistema do sourdough atinge a estabilidade. A estabilidade é caracterizada pela predominância de cepas bem adaptadas de massa madre, pertencentes a espécies heterofermentativas obrigatórias, como *L. sanfranciscensis*, *L. fermentum*, e *L. plantarum* (MINERVINI et al., 2014).

---

*O domínio de lactobacilos heterofermentativos em sourdough pode ser explicado pela sua competitividade com outros microrganismos e sua fácil adaptação neste ambiente, uma vez que o metabolismo de carboidratos deste microrganismo é adequado às principais fontes de energia da massa como substrato: maltose e frutose. Esse gênero também possui diversas respostas ao estresse metabólico, sendo a mais comum na produção de compostos com atividade antimicrobiana (como lactato, acetato e bacteriocinas), os quais contribuem para a competitividade com os demais microrganismos do ambiente (COSTA, 2022)*

---

Na Tabela 5 é possível observar a variação de pH ao longo dos dias. No primeiro dia, provavelmente têm-se a predominância de bactérias não específicas do sourdough, como *Lactococcus* e *Enterococcus*.

Tabela 5 - Análise de Variação do pH ao Longo do Tempo em Diferentes Tratamentos: Comparação entre FTBO2-, FTBO2+, FTIO2-, e FTIO2+ usando ANOVA de Dois Fatores com Teste de Tukey ( $\alpha = 5\%$ )

FTBO2-			FTBO2+			FTIO2-			FTIO2+		
Dia	pH	Tukey									

1	6,20±0,01	a	1	6,22±0,03	a	1	6,59±0,04	a	1	6,59±0,02	a
3	4,36±0,19	b	3	4,36±0,18	b	3	4,11±0,05	b	3	4,19±0,05	b
9	3,84±0,23	c	10	3,86±0,06	c	4	3,98±0,04	bc	4	4,03±0,05	bc
8	3,82±0,24	c	6	3,86±0,03	c	9	3,94±0,03	bc	6	3,89±0,05	cd
5	3,76±0,06	c	5	3,84±0,03	c	8	3,89±0,02	bc	5	3,89±0,10	cd
10	3,70±0,07	c	8	3,79±0,07	c	5	3,87±0,03	bc	9	3,88±0,03	cd
7	3,69±0,05	c	7	3,74±0,08	c	10	3,83±0,03	c	8	3,87±0,04	cd
6	3,68±0,12	c	9	3,70±0,06	c	6	3,83±0,04	c	10	3,83±0,01	cd
4	3,67±0,32	c	4	3,68±0,28	c	7	3,80±0,02	c	7	3,73±0,05	d

Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ , Teste Tukey).

No terceiro dia, ocorre uma queda significativa no pH de todos os tratamentos, indicando a ascensão de microrganismos produtores de ácidos. Este período sugere a transição para a fase em que LABs específicas de sourdough, como *Lactobacillus*, *Pediococcus*, e *Weissella*, ganham importância. Por outro lado, é difícil estimar o início da fase de estabilidade da microbiota, mas estudos indicam que a partir do quinto dia tem-se o estabelecimento das LAB que vão dominar o ecossistema do sourdough até o final (WECKX et al., 2010)

Ademais, ao longo dos dias de observação, notou-se uma tendência geral de redução no pH em todos os tratamentos. No entanto, as taxas e padrões dessa redução variaram significativamente.

O tratamento FTBO2- no dia 1 diferiu significativamente no Teste de Tukey ( $\alpha = 5\%$ ) do dia 3 e estes diferiram dos demais dias, que não se diferiam entre si. Este mesmo comportamento ocorreu no FTBO2+, indicando que a condição distinta de oxigênio pode não ter tido tanta influência no comportamento dos fermentos ao longo do seu desenvolvimento se comparada ao tipo de farinha. A partir do terceiro dia, não houve diferença significativa nos valores de pH. Por outro lado, os tratamentos com a farinha de trigo integral apresentaram padrões distintos na redução do pH.

Ademais, é perceptível que no decorrer dos dias de análise a diminuição do pH não aconteceu de forma linear. Para todos os tratamentos houve momentos nos quais o pH aumentou ao invés de diminuir. Essa variação pode ser atribuída ao fato de que os tratamentos foram mantidos em temperatura ambiente, e devido a uma frente de calor, a variação de temperatura pode ter ocorrido de maneira mais pronunciada. Essa flutuação

térmica pode ter exposto os fermentos a temperaturas consideravelmente superiores às típicas da temperatura ambiente, promovendo um desequilíbrio na microbiota e impactando suas atividades metabólicas e, conseqüentemente, influenciando os padrões de pH observados.

*Se os fatores tecnológicos na preparação da massa madre forem alterados, como as quantidades de água e farinha adicionadas a cada alimentação, o tempo e/ou temperatura de fermentação, a temperatura de armazenamento ou o número de etapas de retroalimentação, o equilíbrio estabelecido entre as espécies de LAB (bactérias ácido lácticas) e leveduras também pode mudar; o número de células de levedura ou LAB pode até mesmo aumentar em detrimento do outro. Por exemplo, um aumento na temperatura de fermentação e uma maior quantidade de água na formulação da massa podem favorecer o crescimento de LAB em detrimento das leveduras, enquanto a oxigenação da massa madre favorece o crescimento de células de levedura em relação às LAB. (CATZEDDU, 2019)*

Por outro lado, a análise do comportamento dos sourdough em relação ao TTA revela padrões distintos nos diferentes tratamentos e dias de produção do fermento, conforme expresso na Tabela 6.

Tabela 6 - Análise de Variação da Acidez Titulável ao Longo do Tempo em Diferentes Tratamentos: Comparação entre FTBO2-, FTBO2+, FTIO2-, e FTIO2+ usando ANOVA de Dois Fatores com Scott-Knott ( $\alpha = 5\%$ )

FTBO2-			FTBO2+			FTIO2-			FTIO2+		
Dia	TTA (mL de NaOH)	Scott-Knott	Dia	TTA (mL de NaOH)	Scott-Knott	Dia	TTA (mL de NaOH)	Scott-Knott	Dia	TTA (mL de NaOH)	Scott-Knott
9	9,40±3,49	a	9	17,83±4,26	a	10	11,30±0,57	a	10	11,75±0,34	a
8	8,35±4,13	a	8	11,75±2,73	b	6	10,40±0,85	a	9	11,48±0,99	a
10	7,38±0,17	b	10	8,93±2,17	c	8	10,15±0,58	a	7	11,28±1,06	a
7	6,28±1,00	b	7	6,83±0,97	d	9	9,95±0,47	a	8	10,28±1,37	a
5	5,18±0,35	c	6	4,98±0,39	e	7	9,93±1,15	a	6	9,33±0,84	b
4	5,15±0,13	c	5	4,85±0,33	e	3	8,83±1,79	b	5	8,55±0,39	b
6	4,98±0,92	c	4	4,65±0,30	e	5	8,73±0,60	b	4	8,23±0,53	b
3	3,43±0,39	c	3	3,33±0,46	e	4	7,30±0,38	b	3	7,35±0,29	b
1	1,23±0,05	d	1	1,18±0,15	f	1	1,40±0,08	c	1	1,45±0,06	c

Tratamentos seguidos pela mesma letra apresentam similaridade entre si ( $p > 0,05$ , Teste Scott-Knott).

Para os tratamentos com farinha branca, notou-se que as médias foram consistentemente semelhantes do dia 3 ao dia 6. No entanto, para o tratamento FTBO2-, o dia 7 apresentou uma média semelhante ao dia 10, enquanto os dias 8 e 9 foram similares entre si. No tratamento FTBO2+, os dias 7, 8, 9 e 10 exibiram médias que não foram

similares entre si, indicando uma possível influência do oxigênio nos últimos dias, resultando em maior variabilidade na produção de ácidos. É importante reiterar a possibilidade de variações de temperatura ambiente terem impactado os tratamentos, causando desequilíbrios na microbiota do fermento e, conseqüentemente, afetando os resultados observados. Essas intercorrências podem ser um fator contribuinte para a heterogeneidade nos resultados.

A análise dos tratamentos feitos a partir de farinha integral revela um comportamento semelhante nas duas condições de oxigênio testadas. No caso do tratamento FTIO2-, as médias do dia 3 ao dia 5 foram similares, enquanto no FTIO2+ a similaridade na produção de ácidos persistiu do dia 3 ao dia 6. Para a condição microareada, as médias do dia 6 ao 10 foram similares, enquanto, no tratamento com oxigênio, a similaridade ocorreu do dia 7 ao dia 10.

O fato de as médias dos tratamentos integrais terem formado apenas três grupos, em comparação com os tratamentos feitos com farinha branca, que apresentaram cinco e seis grupos distintos, sugere que o tipo de farinha pode ter influenciado a sensibilidade do sistema às variações de temperatura. É possível que a dificuldade acentuada em metabolizar os componentes da farinha integral tenha atenuado os efeitos do aumento da temperatura e, conseqüentemente, do aumento no metabolismo dos microrganismos.

Por fim, ao observar os resultados da ANOVA para os tratamentos, avaliados como variáveis independentes, na Tabela 7 percebe-se que os tratamentos da mesma farinha não se diferiram entre si, mas se diferiram dos tratamentos baseados no outro tipo de farinha, tanto para pH quanto para a acidez titulável. Isto indica que o tipo de farinha tem mais influência nos parâmetros dos fermentos do que a condição do oxigênio.

Tabela 7 - Análise de Variação da Acidez Titulável e pH em Diferentes Tratamentos: Comparação entre FTBO2-, FTBO2+, FTIO2-, e FTIO2+ usando ANOVA de Dois Fatores com Tukey ( $\alpha = 5\%$ )

Tratamentos	pH	Teste Tukey	TTA (mL de NaOH)	Teste Tukey
FTIO2+	4,21±0,86	a	8,85±3,12	a
FTIO2-	4,20±0,86	a	8,66±2,93	a
FTBO2+	4,11±0,79	b	7,14±5,11	b
FTBO2-	4,08±0,80	b	5,71±2,90	b

Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ , Teste Tukey).

### Acidez titulável e pH dos pães

Na análise dos resultados não foi observada diferença significativa nos valores de pH entre os diferentes pães avaliados no Teste Tukey a um nível de 5% de significância, conforme expresso na Tabela 8. O tratamento que apresentou o menor pH foi o FTIO2+ 4.18, seguido pelo FTIO2- 4.38, FTBO2+ 4.30 e FTBO2- 4.49. Esses valores estão em proximidade com os padrões típicos de pH encontrados em pães de fermentação natural.

Tabela 8 - Análise de pH em pães de sourdough: Comparação entre FTBO2-, FTBO2+, FTIO2-, e FTIO2+ usando ANOVA com Teste Tukey ( $\alpha = 5\%$ )

Tratamentos	pH	Teste Tukey
FTBO2-	4,49	a
FTBO2+	4,30	a
FTIO2-	4,28	a
FTIO2+	4,18	a

Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ , Teste Tukey).

Em um estudo anterior realizado por (SANTOS, 2019), observou-se variação de pH entre 4.42 e 4.66 nos pães de sourdough. (APLEVICZ et al., 2014), por sua vez, obtiveram valores de pH em pães de fermentação da cana de açúcar, maçã e uva, sendo 4.04, 4.16 e 4.30, respectivamente. Esses resultados corroboram as informações de Arora et al. (2021), que destacaram que, de acordo com o tipo de farinha e protocolo utilizado, o valor médio de pH em pães é 4.1, com uma faixa comum entre 3.4 e 4.9.

Neste contexto, é importante observar que os pães com farinha integral (FTIO2+ e FTIO2-) apresentaram valores de pH mais baixos em comparação com os pães feitos com farinha branca (FTBO2+ e FTBO2-). Essa diferença pode ser atribuída ao fato de que os sourdough de farinha integral possuem naturalmente um pH mais elevado. Essa condição cria um ambiente propício para as LAB, indicando que a porção fermentada usada para inoculação da massa do pão possivelmente continha uma concentração mais elevada de bactérias. Esse cenário resulta em uma produção mais intensa de ácidos durante a fermentação da massa do pão, conseqüentemente refletida nos menores valores de pH observados nos pães com farinha integral.

Ademais, para ambas as farinhas (integral e branca), os pães desenvolvidos em condições de oxigênio (FTIO2+ e FTBO2+) tiveram valores de pH mais baixos em comparação com aqueles desenvolvidos em condições microareadas (FTIO2- e FTBO2-), indicando que a microbiota modulada pela presença de oxigênio pode ter um efeito benéfico para a diminuição do pH do produto final.

A acidez titulável segue uma tendência semelhante. Os pães desenvolvidos em condições de oxigênio (FTIO2+ e FTBO2+) e com farinha integral apresentaram valores mais elevados de acidez titulável, indicando uma maior produção de ácidos durante a fermentação. A combinação específica de farinha integral com oxigênio (FTIO2+) pode ter criado condições sinérgicas que otimizaram a atividade fermentativa, resultando nos valores mais baixos de pH e maior acidez titulável. Observe a Tabela 9

Tabela 9 - Análise de TTA em pães de sourdough: Comparação entre FTBO2-, FTBO2+, FTIO2-, e FTIO2+ usando ANOVA com Teste t ( $\alpha = 5\%$ )

Tratamentos	TTA (mL de NaOH)	Teste t
FTIO2+	4,35	a
FTIO2-	4,93	ab
FTBO2+	3,43	b
FTBO2-	3,13	b

Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ , Teste t).

A análise do aumento da acidez proporcionado pelo fermento sourdough nos pães revela um incremento na concentração de diversos ácidos orgânicos, como ácido láctico, medido pelo índice de acidez titulável, e acético, produzidos pelas Bactérias Lácticas Ácido-lácticas (BAL) presentes na cultura iniciadora adicionada ao sourdough (SANTOS, 2019).

#### Volume específico

Dentre os tratamentos, o pão do grupo FTIO2+ destacou-se com o maior volume específico, atingindo 2,79 mL/g, seguido pelo pão FTBO2+ com 2,58. Logo, percebe-se que a condição com oxigênio pode ter favorecido um crescimento mais acentuado nos pães. Os pães FTIO2- e FTBO2- apresentaram volumes específicos de 2,57 e 2,36, respectivamente. Conforme observado na Tabela 10, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 10 - Análise de Volume Específico em pães de sourdough: Comparação entre FTBO2-, FTBO2+, FTIO2-, e FTIO2+ usando ANOVA com Teste Tukey ( $\alpha = 5\%$ )

Tratamentos	Volume específico (cm <sup>3</sup> /g)	Teste Tukey
FTIO2+	2,79±0,35	a
FTBO2+	2,58±0,25	a
FTIO2-	2,57±0,35	a
FTBO2-	2,36±0,24	a

Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ , Teste Tukey).

Esses valores demonstram uma discrepância em relação aos resultados obtidos por (R., WAHIDUZZAMAN; NADIAH WAN ABDULLAH; A. YANG, 2013), que registraram um volume específico de 6,21 para um pão tradicional comercial branco. Também são inferiores aos valores encontrados por (KATINA et al., 2006) em pães fermentados com fermento comercial (5,78) e no pão fermentado através do sourdough tipo II com uma cultura starter de *Lb. plantarum* (3,65). Por outro lado, os valores se aproximaram aos encontrados por (APLEVICZ et al., 2013), que obtiveram volumes específicos entre 1,18 e 2,71. (WOLTER et al., 2014) encontraram um volume específico de 2,62 para o pão tradicional e 2,79 para o pão de sourdough, indicando um efeito positivo do sourdough no volume dos pães.

É relevante observar que o tempo de fermentação empregado no presente estudo, de 5 horas, pode ter sido insuficiente para permitir que os pães atingissem seu potencial máximo em termos de volume. A literatura destaca a significativa influência do tempo de fermentação no volume do pão, uma vez que este está associado à maior produção de gases resultante da atividade fermentativa e à capacidade da massa em retê-los (GÓMEZ et al., 2008). Estudos como os de (CHEVALLIER; ZÚÑIGA; LE-BAIL, 2012; IWASE; MIURA; KOBAYASHI, 2006) indicam que a expansão volumétrica durante a fermentação segue um modelo de Gompertz modificado, com uma fase inicial de taxa de expansão constante. Em outras palavras, quanto maior o tempo de fermentação, maior a expansão da massa e, por conseguinte, o volume final do pão. (APLEVICZ; OGLIARI; SANT'ANNA, 2013) conduziram um estudo para determinar a influência do tempo de fermentação nas características do pão de sourdough e concluíram que o período ideal de fermentação é de 6 horas, uma vez que esse intervalo proporcionou os maiores volumes específicos.

Além disso, prolongar o tempo de fermentação permite um melhor desenvolvimento da rede de glúten. Conforme mencionado anteriormente, o glúten resulta da interação entre as proteínas gliadina e glutenina presentes na farinha, que conferem elasticidade e extensibilidade à massa. Durante o processo de fermentação, as enzimas presentes na levedura e na própria farinha promovem a quebra das ligações cruzadas das proteínas, o que é benéfico para a formação da rede de glúten e para a extensibilidade da massa, bem como para a retenção eficaz do dióxido de carbono libertado (OLIINYK et al., 2016; STRUYF et al., 2017). Logo, prolongar o tempo de fermentação da massa do pão pode ser uma alternativa para aumentar o volume específico dos produtos finais.

### Baking loss

Durante o processo de forneamento a massa se transforma em pão devido uma série de fatores, como à evaporação da umidade, mudanças na estrutura e textura, expansão e um elevado consumo de energia. Segundo (KOTOKI; DEKA, 2010) a perda de umidade e a retrogradação do amido são consideradas os principais mecanismos responsáveis pela firmeza do miolo. Neste contexto, tem-se que uma perda exacerbada de água pode prejudicar os aspectos sensoriais do produto final, reduzindo sua vida útil e tornando-o ressecado e quebradiço.

No presente estudo, conforme apresentado na Tabela 11, percebe-se que os tratamentos FTBO2+ (8,20), FTIO+ (8,08) e FTIO2- (7,21) não apresentaram diferenças estatisticamente diferentes entre si e apresentaram as maiores perdas durante o forneamento. Por outro lado, os tratamentos FTIO2- (7,21) e FTBO2- (6,05) tiveram médias estatisticamente iguais. Percebe-se que os tratamentos nos quais a microaeração foi promovida apresentaram menores perdas.

Tabela 11 - Análise de baking loss em pães de sourdough: Comparação entre FTBO2-, FTBO2+, FTIO2-, e FTIO2+ usando ANOVA com Teste t ( $\alpha = 5\%$ )

Tratamentos	Baking loss (%)	Teste t
FTBO2+	8,20	a
FTIO2+	8,08	a
FTIO2-	7,21	ab
FTBO2-	6,05	b

Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ , Teste t).

Neste contexto, é relevante destacar os benefícios da fermentação natural na preservação da umidade durante o processo de panificação. Em comparação, os resultados obtidos por (KOTOKI; DEKA, 2010) revelam uma média de baking loss para o pão tradicional ligeiramente superior às médias observadas no presente estudo, atingindo 11,8%. Em congruência, nos estudos de (GHAREKHANI et al., 2021) a adição de sourdough promoveu a redução da perda durante o cozimento. No entanto, é fundamental reconhecer a variabilidade nos resultados quando se considera a influência do sourdough no baking loss. Em contraposição, (WOLTER et al., 2014) constatou um aumento no baking loss no pão de fermentação natural de farinha de trigo. Enquanto o pão de controle apresentou uma perda de 17,1%, o pão sourdough de farinha de trigo registrou uma perda durante o cozimento de 21,0%. Essa discrepância destaca a complexidade das interações durante a fermentação natural e sublinha a necessidade de uma análise abrangente ao avaliar os efeitos do sourdough na retenção de umidade durante o forneamento.

#### Contagem total de fungos nos pães

A análise da contagem total de fungos nos pães, realizada 24 horas após a produção e novamente 15 dias após, proporcionou uma avaliação abrangente da estabilidade microbiológica dos produtos. Conforme apresentado na Tabela 12, é notável que não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos tanto no primeiro dia quanto no décimo quinto.

Tabela 12 - Análise de contagem total de fungos em pães de sourdough: Comparação entre FTBO2-, FTBO2+, FTIO2-, e FTIO2+ com 1 e 15 dias de armazenamento por meio de ANOVA de Dois Fatores com Teste de Tukey ( $\alpha = 5\%$ )

Tratamentos	UFC/g dia 1	UFC/g dia 15
FTIO2-	$4,3 * 10^{+02^a}$	$1,7 * 10^{+04^a}$
FTBO2-	$4,0 * 10^{+02^a}$	$> 3,8 * 10^{+09^a}$
FTBO2+	$< 100^a$	$1,0 * 10^{+07^a}$
FTIO2+	$< 100^a$	$*1,2 * 10^{+07^a}$

\* Valor estimado. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ , Teste Tukey).

Neste interim, percebe-se que no tratamento FTIO2-, inicialmente, foi observada uma contagem de estimada de  $4,3 * 10^{+02} \frac{UFC}{g} \left(2,64 \log \frac{UFC}{g}\right)$ . No entanto, ao longo do período de observação, essa contagem aumentou para  $1,7 * 10^{+04} \frac{UFC}{g} \left(4,22 \log \frac{UFC}{g}\right)$  no dia 15, sugerindo uma proliferação considerável. No caso do tratamento FTBO2-, a contagem inicial no dia 1 foi semelhante à do FTIO2-, com  $4,0 * 10^{+02} \frac{UFC}{g} \left(2,60 \log \frac{UFC}{g}\right)$ . Entretanto, ao atingir o dia 15, a contagem ultrapassou  $3,8 * 10^{+09} \frac{UFC}{g} \left(9,58 \log \frac{UFC}{g}\right)$ . Os tratamentos FTBO2+ e FTIO2+, ambos com contagens iniciais abaixo de  $100 \frac{UFC}{g}$  no primeiro dia, apresentaram resultados aumentados no dia 15. Ambos registraram contagens consideráveis, com FTBO2+ superando  $1,0 * 10^{+07} \frac{UFC}{g} \left(7,01 \log \frac{UFC}{g}\right)$  e FTIO2+ atingindo  $1,2 * 10^{+07} \frac{UFC}{g} \left(7,07 \log \frac{UFC}{g}\right)$ .

Nos estudos conduzidos por (OMORODION; OVIWIGHOYOVWE, 2022) foi identificada uma contagem total de fungos de 5,27 log UFC/g para o pão de trigo branco armazenado por 8 dias em temperatura ambiente. Esse valor é ligeiramente superior ao registrado no pão FTIO2- no dia 15, que foi de 4,22 log UFC/g. Ao comparar esses resultados com as descobertas deste estudo, destaca-se que os pães armazenados por uma semana a menos não apresentaram uma contagem expressivamente inferior. Isso sugere um desempenho considerável dos sourdough em relação à preservação da qualidade microbiológica dos pães durante o período de armazenamento.

Dito isto, é válido ressaltar que no décimo quinto dia, os pães apresentaram evidente presença de mofo, com corpos de frutificação em grande quantidade, especialmente no caso do FTBO2+. Esses resultados contrariaram as expectativas, considerando que, de acordo com a literatura, o sourdough, além de proporcionar um meio ácido, também é conhecido por fornecer substâncias com propriedades anti-esporulantes ao pão. Entretanto, é crucial considerar que as condições de envase e resfriamento podem ter desempenhado um papel significativo nesses resultados.

Os pães foram submetidos ao processo de resfriamento em temperatura ambiente e em um ambiente onde o ar não era tratado, contribuindo significativamente para a contaminação microbiológica do ambiente e, conseqüentemente, para a redução da vida útil dos pães. No entanto, é importante destacar que a eliminação da contaminação fúngica

do ar e do ambiente de processamento de pães pode ser difícil e muito cara (DOS SANTOS et al., 2016).

Os pães foram extensivamente manipulados após a sua preparação e antes do envase, o que potencialmente contribuiu para uma maior contaminação. Além disso, a localização dos pães durante os 15 dias pode ter influenciado no desenvolvimento microbiano. Eles foram armazenados em um ambiente com uso de ar condicionado, e a embalagem dos pães interage com o ar condicionado, criando um ambiente em que a água livre no sistema pode aumentar.

É crucial compreender que, embora as embalagens utilizadas possuam uma barreira para vapor de água, essa barreira não é totalmente impermeável e permite certa troca com o ambiente circundante. Em situações de alta umidade relativa, é possível que a embalagem absorva umidade do ambiente, especialmente durante períodos sem o uso do ar condicionado, como durante a noite.

Por outro lado, quando o ar condicionado estava em funcionamento, a superfície da embalagem pode ter experimentado a condensação de umidade. Esse fenômeno ocorre quando a embalagem entra em contato com o ar frio do ambiente condicionado. Ambos os eventos, absorção de umidade e condensação, podem ter contribuído para criar um ambiente mais propício ao desenvolvimento dos microrganismos indesejados nos pães. Essa interação complexa entre a embalagem, as condições ambientais e o uso do ar condicionado pode ter desempenhado um papel crucial na presença de mofo nos pães observada após 15 dias.

## Conclusão

Por meio deste estudo, foi possível desenvolver *sourdough* utilizando farinhas de trigo integral e branca, em condições microaeradas e com oxigênio, para a produção de pães de fermentação natural. No escopo do fermento, observou-se que o tipo de farinha exerce maior influência na produção de ácidos do que a condição de oxigênio. Adicionalmente, tratamentos elaborados com farinha integral parecem ser menos sensíveis às variações de temperatura, possivelmente devido às dificuldades associadas à metabolização do substrato, minimizando os efeitos nas flutuações do metabolismo dos microrganismos.

Ao analisar pH e TTA dos pães de fermentação natural, nota-se que a condição com oxigênio favorece valores de pH mais baixos e uma maior produção de ácido, sendo a combinação de farinha de trigo branca com oxigênio destacada entre os tratamentos, apresentando os melhores resultados. Essa tendência é corroborada ao observar o volume específico, que é mais elevado na condição com oxigênio para ambos os tipos de farinha. Por outro lado, a análise do *baking loss* revela que a condição microaerada tem um efeito mais pronunciado na retenção de umidade durante o processo de forneamento. No entanto, a contagem de fungos totais nos pães demonstra que os fermentos naturais não foram suficientes para prevenir o surgimento de mofo, comprometendo a viabilidade de uma vida útil de 15 dias

Assim, torna-se evidente que os fermentos produzidos demonstraram valores de pH e TTA satisfatórios, enquanto os pães de sourdough exibiram resultados promissores em termos de retenção de umidade, volume específico e valores de pH. Contudo, é imperativo ressaltar que a presença de mofo e a impossibilidade de atingir uma vida útil de 15 dias são desafios que exigem atenção. Recomenda-se considerar o aumento do teor de sourdough na massa e a extensão do tempo de fermentação como possíveis estratégias para abordar essas questões. Adicionalmente, a realização de estudos voltados para a aceitação dos consumidores se faz necessária, visando avaliar o impacto que a maior concentração de ácidos pode ter no sabor do produto final.

## Referências

AMR, A. S.; ALKHAMAISEH, A. M. Sourdough use in Bread Production: Review. **Jordan Journal of Agricultural Sciences**, v. 18, n. 2, p. 81–98, 1 jun. 2022.

APLEVICZ, K. S. et al. Influence of fermentation time on characteristics of sourdough bread. **Article Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 49, n. 2, 2013.

APLEVICZ, K. S. et al. Isolation and characterization of lactic acid bacteria and yeasts from the Brazilian grape sourdough. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 50, n. 2, p. 321–327, 1 abr. 2014.

APLEVICZ, K. S.; OGLIARI, P. J.; SANT'ANNA, E. S. Influence of fermentation time on characteristics of sourdough bread. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 49, n. 2, p. 233–239, abr. 2013.

ARORA, K. et al. Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 108, p. 71–83, 1 fev. 2021.

ARRANZ-OTAEGUI, A. et al. Archaeobotanical evidence reveals the origins of bread 14,400 years ago in northeastern Jordan. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 115, n. 31, p. 7925–7930, 31 jul. 2018.

ASIOLI, D. et al. Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. **Food Research International**, v. 99, p. 58–71, 1 set. 2017.

AZCARATE-PERIL, M. A.; ARNOLD, R. R.; BRUNO-BÁRCENA, J. M. Production and Conservation of Starter Cultures: From “Backslopping” to Controlled Fermentations. Em: AZCARATE-PERIL, M. A.; ARNOLD, R. R.; BRUNO-BÁRCENA, J. M. (Eds.). **How Fermented Foods Feed a Healthy Gut Microbiota**. [s.l.] Springer, Cham, 2019. p. 125–138.

BO, S. et al. The acute impact of the intake of four types of bread on satiety and blood concentrations of glucose, insulin, free fatty acids, triglyceride and acylated ghrelin. A randomized controlled cross-over trial. **Food Research International**, v. 92, p. 40–47, 1 fev. 2017.

BOITA, E. R. DE F. **Propriedades da matéria-prima e da massa de farinha de trigo elaborada pela reincorporação de farelo de granulometria fina.** Dissertação Mestrado—Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2015.

BRAND-MILLER, J. et al. Low-Glycemic Index Diets in the Management of Diabetes A meta-analysis of randomized controlled trials. **Diabetes Care**, v. 26, p. 2261–2267, 2003.

CAGNO, R. DI et al. Use of Selected Sourdough Strains of Lactobacillus for Removing Gluten and Enhancing the Nutritional Properties of Gluten-Free Bread. **Journal of Food Protection**, v. 71, n. 7, p. 1491–1495, 2008.

CATZEDDU, P. Sourdough breads. Em: **Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention.** [s.l.] Elsevier, 2019. p. 177–188.

CAVALLO, N. et al. Microbial cell-free extracts affect the biochemical characteristics and sensorial quality of sourdough bread. **Food Chemistry**, v. 237, p. 159–168, 15 dez. 2017.

CHAVAN, R. S.; CHAVAN, S. R. Sourdough Technology-A Traditional Way for Wholesome Foods: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 10, n. 3, p. 169–182, maio 2011.

CHEVALLIER, S.; ZÚÑIGA, R.; LE-BAIL, A. Assessment of Bread Dough Expansion during Fermentation. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 2, p. 609–617, fev. 2012.

CHIŞ, M. S. et al. Quinoa sourdough fermented with lactobacillus plantarum ATCC 8014 designed for gluten-free muffins—a powerful tool to enhance bioactive compounds. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 10, n. 20, p. 1–23, 2 out. 2020.

COSTA, L. DA F. X. **Caracterização e funcionalidade da microbiota de sourdough e avaliação sensorial de pães de fermentação natural.** Tese (Dotourado em Microbiologia Agrícola e Ambiental)—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2022.

DE VUYST, L.; VAN KERREBROECK; LEROY, F. Microbial Ecology and Process Technology of Sourdough Fermentation. Em: **Advances in Applied Microbiology.** [s.l.: s.n.]. v. 100p. 49–160.

DOS SANTOS, J. L. P. et al. Incidence, populations and diversity of fungi from raw materials, final products and air of processing environment of multigrain whole meal bread. **Food Research International**, v. 87, p. 103–108, 1 set. 2016.

DOUGLAS, L. C.; SANDERS, M. E. Probiotics and Prebiotics in Dietetics Practice. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 108, n. 3, p. 510–521, 2008.

EBBELING, C. B. et al. A Reduced-Glycemic Load Diet in the Treatment of Adolescent Obesity. **Archives of pediatrics & adolescent medicine**, v. 157, n. 8, p. 773–779, 2003.

FROST, G. et al. **Insulin Sensitivity in Women at Risk of Coronary Heart Disease and the Effect of a Low Glycemic Diet**. [s.l.: s.n.].

GÄNZLE, M. G.; VERMEULEN, N.; VOGEL, R. F. Carbohydrate, peptide and lipid metabolism of lactic acid bacteria in sourdough. **Food Microbiology**, v. 24, n. 2, p. 128–138, abr. 2007.

GAROFALO, C. et al. PCR-DGGE analysis of lactic acid bacteria and yeast dynamics during the production processes of three varieties of Panettone. **Journal of Applied Microbiology**, v. 105, n. 1, p. 243–254, 2008.

GHAREKHANI, M. et al. Sourdoughs fermented by autochthonous Lactobacillus strains improve the quality of gluten-free bread. **Food Science and Nutrition**, v. 9, n. 11, p. 6372–6381, 1 nov. 2021.

GOBBETTI, M. et al. How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. **Food Microbiology**, v. 37, p. 30–40, fev. 2014.

GOBBETTI, M.; GÄNZLE, M. **Handbook on sourdough biotechnology**. [s.l.] Springer US, 2013.

GÓMEZ, M. et al. Effect of fermentation conditions on bread staling kinetics. **European Food Research and Technology**, v. 226, n. 6, p. 1379–1387, abr. 2008.

GUIMARÃES, D. DOS S. J. **Estabelecimento de fermento natural a base de suco de uva e produção de pães**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos)—Francisco Beltrão: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 26 jun. 2023.

HAGER, A. S. et al. Investigation of product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a range of commercial gluten-free flours compared to their wheat counterparts. **European Food Research and Technology**, v. 235, n. 2, p. 333–344, ago. 2012.

HIDALGO, A.; BRANDOLINI, A. Bread: Bread from Wheat Flour. Em: **Encyclopedia of Food Microbiology: Second Edition**. [s.l.] Elsevier Inc., 2014. p. 303–308.

IAL. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. IV ed. São Paulo: [s.n.].

IWASE, S.; MIURA, M.; KOBAYASHI, S. Relationship between physical properties of bread dough secondly fermented in several conditions and its baking characteristics. **Nihon Reorogi Gakkaishi**, v. 34, n. 3, p. 147–156, 2006.

KATINA, K. **Sourdough : a tool for the improved flavour, texture and shelf-life of wheat bread**. [s.l.] VTT Technical Research Centre of Finland, 2005.

KATINA, K. et al. Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. **LWT**, v. 39, n. 10, p. 1189–1202, 2006.

KELLY, S. A. et al. Low glycaemic index diets for coronary heart disease. Em: **Cochrane Database of Systematic Reviews**. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 2004.

KOTOKI, D.; DEKA, S. C. Baking loss of bread with special emphasis on increasing water holding capacity. **Journal of food science and technology**, v. 47, n. 1, p. 128–131, 2010.

LAATIKAINEN, R. et al. Randomised clinical trial: low-FODMAP rye bread vs. regular rye bread to relieve the symptoms of irritable bowel syndrome. **Alimentary Pharmacology and Therapeutics**, v. 44, n. 5, p. 460–470, 1 set. 2016.

LAHUE, C. et al. History and Domestication of *Saccharomyces cerevisiae* in Bread Baking. **Frontiers in Genetics**, v. 11, 11 nov. 2020.

LAPPI, J. et al. Sourdough fermentation of wholemeal wheat bread increases solubility of arabinoxylan and protein and decreases postprandial glucose and insulin responses. **Journal of Cereal Science**, v. 51, n. 1, p. 152–158, jan. 2010.

LAU, S. W. et al. Sourdough microbiome comparison and benefits. **Microorganisms**, v. 9, n. 7, 1 jul. 2021.

LEENHARDT, F. et al. Moderate decrease of pH by sourdough fermentation is sufficient to reduce phytate content of whole wheat flour through endogenous phytase activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 1, p. 98–102, 12 jan. 2005.

LIU, S. et al. A prospective study of dietary glycemic load, carbohydrate intake, and risk of coronary heart disease in US women. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 71, 2000.

LOPONEN, J.; GÄNZLE, M. G. Use of sourdough in low FODMAP baking. **Foods**, v. 7, n. 7, p. 96, 1 jul. 2018.

LOVEDAY, S. M. et al. Water Dynamics in Fresh and Frozen Yeasted Dough. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 52, n. 5, p. 390–409, maio 2012.

MAN, C. M. D. Technological functions of salt in food products. Em: **Reducing Salt in Foods: Practical Strategies**. [s.l.] Elsevier Ltd, 2006. p. 157–173.

MILLER, R.; HOSENEY, R. C. Role of salt in baking. **Cereal Foods World**, v. 53, n. 1, p. 4–6, 2007.

MINERVINI, F. et al. Robustness of *Lactobacillus plantarum* starters during daily propagation of wheat flour sourdough type I. **Food Microbiology**, v. 27, n. 7, p. 897–908, out. 2010.

MINERVINI, F. et al. Ecological parameters influencing microbial diversity and stability of traditional sourdough. **International Journal of Food Microbiology**, v. 171, p. 136–146, 3 fev. 2014.

MORONI, A. V.; DAL BELLO, F.; ARENDT, E. K. Sourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue? **Food Microbiology**, v. 26, n. 7, p. 676–684, out. 2009.

OLIINYK, S. et al. RESEARCH INTO THE IMPACT OF ENZYME PREPARATIONS ON THE PROCESSES OF GRAIN DOUGH FERMENTATION AND BREAD QUALITY. **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, set. 2016.

OLIVEIRA, L.; BUENO, S. M. DESENVOLVIMENTO DE PÃO A PARTIR DA FERMENTAÇÃO NATURAL DE ABACAXI E CALDO DE CANA. **Revista Científica Unilago**, v. 1, n. 1, 2020.

OMORODION, N. J. P.; OVIWIGHOYOVWE, P. View of Effect of Storage Conditions on the Microbial and Proximate Composition of Bread Made From Wheat Flour and White Flour. **Asian Food Science Journal**, v. 21, n. 1, p. 21–30, 2022.

PAPADIMITRIOU, K. et al. Sourdough Bread. Em: **Innovations in Traditional Foods**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 127–158.

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, 1 jan. 2017.

RIZKALLA, S. W. et al. Improved Plasma Glucose Control, Whole-Body Glucose Utilization, and Lipid Profile on a Low-Glycemic Index Diet in Type 2 Diabetic Men A randomized controlled trial. **Diabetes Care**, v. 27, n. 8, p. 1866–1872, 2004.

ROSELL, C. M. Trends in science of doughs and bread quality. Em: **Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 333–343.

R.,WAHIDUZZAMAN, F.; NADIAH WAN ABDULLAH, W.; A. YANG, T. Physical and Sensory Analysis of High Fiber Bread Incorporated with Jackfruit Rind Flour. **Food Science and Technology**, v. 1, n. 2, p. 30–36, set. 2013.

SAKANDAR, H. A. et al. Sourdough bread: A contemporary cereal fermented product. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 3, 1 mar. 2019.

SALMERÓN, J. et al. Dietary fiber, glycemic load, and risk of non—insulin-dependent diabetes mellitus in women. **Jama**, v. 277, n. 6, p. 472–477, 1997.

SAMANCI, Ö. Les sens symboliques du pain dans la culture ottomane. **Food and History**, v. 6, n. 2, p. 125–131, jan. 2008.

SANTOS, N. N. O. DOS. **Aplicação tecnológica de culturas iniciadoras para produção de pão via sourdough tipo II**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

SCHIRALDI, A.; FESSAS, D. The role of water in dough formation and bread quality. Em: **Breadmaking: Improving quality, Second Edition**. [s.l.] Elsevier Inc., 2012. p. 352–369.

SIEPMANN, F. B. et al. Overview of Sourdough Technology: from Production to Marketing. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, n. 2, p. 242–270, 1 fev. 2018.

STRUYF, N. et al. Investigating the impact of  $\alpha$ -amylase,  $\alpha$ -glucosidase and glucoamylase action on yeast-mediated bread dough fermentation and bread sugar levels. **Journal of Cereal Science**, v. 75, p. 35–44, 1 maio 2017.

TOMIC, J. et al. Spontaneously fermented ancient wheat sourdoughs in breadmaking: Impact of flour quality on sourdough and bread physico-chemical properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 175, p. 114482, 2023.

TUHUMURY, H. The effects of salt on bread: technological considerations for reduced salt levels. **Teknosiar**, v. 4, n. 2, p. 134–141, 21 jul. 2020.

WECKX, S. et al. Lactic acid bacteria community dynamics and metabolite production of rye sourdough fermentations share characteristics of wheat and spelt sourdough fermentations. **Food Microbiology**, v. 27, n. 8, p. 1000–1008, dez. 2010.

WEEGELS, P. L. The Future of Bread in View of its Contribution to Nutrient Intake as a Starchy Staple Food. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 74, n. 1, p. 1–9, 15 mar. 2019.

WOLTER, A. et al. Impact of sourdough fermented with *Lactobacillus plantarum* fst 1.7 on baking and sensory properties of gluten-free breads. **European Food Research and Technology**, v. 239, n. 1, p. 1–12, 28 fev. 2014.