

CONGELAMENTO DE PÃES: ASPECTOS TECNOLÓGICOS E QUALIDADE DO PRODUTO

Luciane Lanser¹, Carolina Krebs de Souza²

¹ Universidade Regional de Blumenau - FURB, Blumenau, Brasil (lucianelanser@outlook.com)

² Universidade Regional de Blumenau - FURB, Blumenau, Brasil (carolinakrebs@furb.br)

Resumo: O congelamento configura-se como uma estratégia tecnológica relevante para a extensão da vida útil de pães, porém induz alterações estruturais associadas à cristalização da água e à retrogradação do amido. Esta revisão integra evidências sobre parâmetros físico-químicos, sensoriais, microbiológicos e cinéticos, discutindo seus efeitos na qualidade e estabilidade do produto, à luz da interação entre os diferentes fatores avaliados.

Palavras-chave: armazenamento congelado; engenharia de alimentos; produtos panificados.

INTRODUÇÃO

A tecnologia de congelamento é amplamente utilizada para prolongar a vida de prateleira de diversos alimentos. Em condições de baixa temperatura, a cristalização da água reduz sua mobilidade no sistema, diminuindo a taxa de reações químicas e enzimáticas e inibindo o crescimento microbiano, o que contribui para a manutenção de atributos como cor e valor nutricional, além de favorecer a estabilidade microbiológica do produto (Bockstaele et al., 2021).

Atualmente, observa-se uma crescente demanda por produtos “ready-to-eat” ou com tempo de preparo reduzido (Miranda-Ramos & Haros, 2023). No setor de panificação, o congelamento destaca-se como uma estratégia que viabiliza a oferta de pães com características próximas às de produtos frescos, a partir de itens pré-assados ou pré-prontos, agregando conveniência ao consumidor e contribuindo para a redução de perdas econômicas (Gerardo-Rodríguez et al., 2021).

Em condições típicas de congelamento doméstico (aproximadamente -18°C), grande parte das reações associadas à deterioração é significativamente reduzida. Apesar disso, a qualidade do produto ainda pode ser comprometida. A formação de cristais de gelo, por exemplo, pode danificar a estrutura interna dos pães e, após o descongelamento, acelerar o processo de envelhecimento, conhecido como “staling” (Chen et al., 2012; Alpers et al., 2021). Assim, parâmetros como a velocidade de congelamento e as condições de embalagem são determinantes para a preservação das características deste alimento (Maes et al., 2022; Novotni et al., 2011). Em vista do exposto, o presente estudo tem como objetivo explorar os principais aspectos relacionados ao congelamento de pães, abrangendo

suas características físico-químicas, sensoriais, microbiológicas e cinéticas. A revisão também busca discutir mecanismos como a formação de cristais de gelo e a retrogradação do amido, visando compreender como diferentes parâmetros influenciam a qualidade e a estabilidade do produto relatado.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido por meio de uma revisão bibliográfica abrangente, considerando artigos científicos publicados entre os anos de 2004 e 2026. O levantamento foi realizado em bases de dados indexadas, como ScienceDirect, Scopus, Web of Science, PubMed e Google Scholar, utilizando os seguintes descritores: “bakery products”, “baked bread”, “frozen storage”, “bread staling”, “amylopectin retrogradation” e “bread quality”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

IMPORTÂNCIA NUTRICIONAL

Os alimentos derivados de cereais ocupam posição de destaque na alimentação humana, sendo importantes fontes de carboidratos e micronutrientes. O pão, especificamente, é um dos produtos mais consumidos em todo o mundo (García-Segovia et al., 2020). Produzido a partir da farinha de trigo, água, fermento e sal, este alimento caracteriza-se pelo elevado valor energético, principalmente devido ao teor de amido, além de fornecer proteínas de origem vegetal, como o glúten, e apresentar baixo teor de gorduras saturadas (Gerardo-Rodríguez et al., 2021). A diversidade de pães atualmente observada reflete não somente diferenças tecnológicas, mas também aspectos culturais associados aos hábitos alimentares de populações distintas (García-Segovia et al., 2020).

Nesse cenário, mudanças no comportamento do consumidor têm direcionado a reformulação de produtos panificados, com a incorporação de ingredientes funcionais voltados ao aumento do teor de fibras e proteínas (Silva et al., 2017). Adicionalmente, os pães podem apresentar teores relevantes de ferro e ácido fólico, decorrentes da fortificação obrigatória das farinhas de trigo e milho, conforme regulamentação vigente da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (RDC nº 604/2022). A Figura 1 ilustra alguns dos principais tipos de pães disponíveis para consumo (Folha de Londrina, 2019).

Figura 1 - Exemplos de diferentes tipos de pães.



Fonte: Folha de Londrina (2019).

Em termos composicionais, pães integrais destacam-se pelo maior teor de fibras e minerais, enquanto pães refinados, como o pão francês, apresentam maior proporção de carboidratos de rápida digestão e menor conteúdo de fibras. Essas variações influenciam diretamente o valor nutricional do produto, evidenciando o papel do pão como fonte de energia e, nas versões integrais, como alimento associado à saúde intestinal e ao controle glicêmico (Gerardo-Rodríguez et al., 2021; Silva et al., 2017). Uma avaliação comparativa da composição centesimal de pães consumidos com maior frequência em nosso cotidiano ilustra as diferenças relatadas. A Tabela 1 apresenta valores típicos (por 100 g) de alguns tipos de pães, segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011).

Tabela 1 - Composição de diferentes pães (por 100 g).

PARÂMETRO	Pão francês (enrolado)	Pão integral (forma)	Pão de aveia (forma)
Umidade (%)	28.5	34.7	19.9
Energia (kcal)	300	253	343
Proteínas (g)	8.0	9.4	12.4
Gorduras totais (g)	3.1	3.7	5.7
Carboidratos (g)	58.6	49.9	59.6
Fibras (g)	2.3	6.9	6.0

Fonte: Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011).

PARÂMETROS TECNOLÓGICOS

Os parâmetros físico-químicos constituem indicadores fundamentais para a avaliação da qualidade e da estabilidade de pães, especialmente quando submetidos ao processo de congelamento. Variáveis como pH, atividade de água (a_w), teor de umidade e coloração, além do volume específico e propriedades de textura, estão diretamente relacionadas às transformações estruturais e às alterações sensoriais do produto ao longo do armazenamento (Novotni et al., 2011).

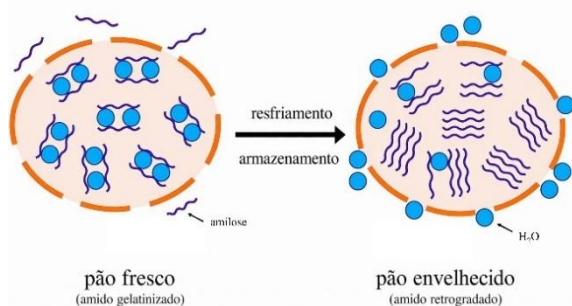
À temperatura ambiente, o pH de pães convencionais varia em torno de 5,5 a 6,0, refletindo a acidez residual da fermentação. O congelamento em si não altera significativamente este parâmetro, visto que as reações ácido-base são mínimas em temperaturas reduzidas. Em pães integrais ou de massa azeda, o pH pode ser levemente mais ácido, o que naturalmente inibe bolores (Alpers et al., 2021). De maneira geral, espera-se que o valor de pH permaneça estável durante o armazenamento congelado, desde que o produto seja adequadamente embalado (Novotni et al., 2011).

Pães frescos apresentam a_w elevada, compreendida entre 0,94 e 0,97. Essa faixa favorece o crescimento de fungos, especialmente bolores dos gêneros *Penicillium* e *Aspergillus*, frequentemente associados à deterioração de produtos de panificação (Alpers et al., 2021; Liu et al., 2023; Pitt & Hocking, 2009). No congelamento, a água livre transforma-se em cristais de gelo, reduzindo temporariamente sua disponibilidade no sistema. Essa redução limita a mobilidade molecular e, consequentemente, a taxa de reações químicas, enzimáticas e microbiológicas (Maes et al., 2022). Por outro lado, estudos em massas de pão congeladas indicam alterações na distribuição e mobilidade da água, com redução da fração de água ligada à matriz (Liu et al., 2023). Além disso, a formação e recristalização de gelo danificam a rede de glúten, diminuindo a retenção de gases e, consequentemente, a capacidade de expansão da massa e o volume final do pão após o forneamento (Miranda-Ramos & Haros, 2023). Essas alterações favorecem a retrogradação do amido, resultando em maior firmeza do miolo (Gerardo-Rodríguez et al., 2021). A Figura 2 ilustra o processo relatado: no pão fresco, o amido está gelatinizado, com cadeias de amilose dispersas e associadas à água, o que mantém a maciez do alimento. Após resfriamento e armazenamento, ocorre a retrogradação: as cadeias se reorganizam, há expulsão de água e a estrutura se torna mais rígida, caracterizando o pão envelhecido (Biology Reader, 2026; Ning et al., 2025).

Em relação ao teor de umidade, pães frescos apresentam valores típicos entre 40 e 45% (Alpers et al., 2021; Bárcenas & Rosell, 2006).

Quando o congelamento é adequadamente conduzido, esse parâmetro tende a se manter relativamente estável. Oscilações de temperatura ao longo do armazenamento, no entanto, podem estimular perdas de água por sublimação, levando ao ressecamento superficial e à redução de massa, além de exsudação no descongelamento. Conforme discutido anteriormente, essas variações encontram-se associadas à redução da capacidade de retenção de água da matriz, em decorrência de danos estruturais induzidos pela formação e recristalização de gelo (Miranda-Ramos & Haros, 2023). Como consequência, a diminuição da umidade favorece interações entre amido e proteínas, aumentando a firmeza do miolo (Gerardo-Rodríguez et al., 2021). Assim, perdas de umidade aceleram o endurecimento, enquanto a presença de umidade superficial após o descongelamento pode favorecer o crescimento microbiano (Bockstaele et al., 2021; Alpers et al., 2021).

Figura 2 – Esquema da retrogradação do amido.



Fonte: Adaptado de Biology Reader (2026).

O congelamento também pode afetar a coloração do pão. Em geral, observa-se um leve aumento no valor da luminosidade (L^*) do miolo e, às vezes, da crosta após armazenamento prolongado (Özülku, 2024). Essa mudança pode estar relacionada à migração de umidade para a superfície (Alpers et al., 2021). Em testes com pães integrais de diferentes fermentações, o armazenamento congelado por 14 e 28 dias causou aumento do L^* da crosta em alguns tratamentos. Já os componentes verde-vermelho (a^*) e a azul-amarelo (b^*) tenderam a variar pouco, embora pequenas flutuações tenham sido observadas conforme o tipo de farinha ou o grau de maturação (Özülku, 2024).

O impacto mais significativo do congelamento manifesta-se na estrutura interna do pão, uma vez que as propriedades físicas do sistema são fortemente dependentes da distribuição de água e da temperatura (Almeida et al., 2013). De maneira geral, o congelamento exerce impacto limitado sobre o volume específico de pães já assados, visto que a estrutura do produto se encontra previamente estabilizada pelo forneamento. No entanto, quando aplicado à massa de pão, o processo promove danos importantes (Miranda-Ramos & Haros, 2023).

Em contraste, as propriedades de textura são significativamente afetadas em ambos os sistemas, sendo observado aumento da firmeza, redução de maciez e variações na elasticidade do miolo (Gao et al., 2025; Rasheed et al., 2025). Tais alterações encontram-se associadas à nucleação e ao crescimento de cristais de gelo, que promovem a ruptura da matriz de glúten e amido, resultando na formação de microfissuras e na desorganização da rede estrutural. Esse efeito é intensificado ao longo de ciclos de congelamento e descongelamento, nos quais a recristalização da água agrava os danos, levando à formação de uma estrutura mais porosa e menos homogênea (Gao et al., 2025; Yang et al., 2024). Evidências microscópicas corroboram esse processo, mostrando que as fibras de glúten tornam-se mais curtas, irregulares e menos contínuas após os ciclos relatados (Naito et al., 2004).

Diferentes estratégias tecnológicas têm sido investigadas para mitigar os problemas descritos. Entre as principais abordagens, destacam-se a adição de hidrocolóides, enzimas e crioprotetores, os quais atuam no controle da mobilidade da água e na redução da taxa de recristalização (Gao et al., 2025; Rasheed et al., 2025; Liu et al., 2023). Além disso, modificações enzimáticas e o uso de sistemas multifuncionais têm sido associados à estabilização da rede de glúten e à melhoria das propriedades reológicas. A adição de diferentes tipos de amido, por outro lado, mostrou intensificar tais danos, resultando em redes proteicas mais fragilizadas e em miolos com maior densidade e irregularidade de poros (Yang et al., 2024; Chen et al., 2025). A Tabela 2 apresenta uma síntese dos principais parâmetros físico-químicos, estruturais e de textura de pães frescos, incluindo valores típicos reportados na literatura.

Tabela 2 - Parâmetros tecnológicos de pães frescos.

PARÂMETRO	Pão fresco
pH ¹	5,5 – 6,0
$a_w^{1,2}$	0,94 – 0,97
Teor de umidade (%) ^{1,3}	40 – 45
Cor instrumental ^{4,5}	miolo $\left\{ \begin{array}{l} L^* 54 - 80 \\ a^* 00 - 09 \\ b^* 15 - 28 \end{array} \right.$
	crosta $\left\{ \begin{array}{l} L^* 35 - 59 \\ a^* 10 - 18 \\ b^* 17 - 32 \end{array} \right.$
Volume específico (cm ³ /g) ^{6,7,8,9}	1,7 – 4,8
Firmeza (N) ^{10,8,11}	1,9 – 27,3
Porosidade (%) ⁵	55,0 – 65,0

Fontes: ¹ Alpers et al. (2021); ² Liu et al. (2023); ³ Bárcenas & Rosell (2006); ⁴ Özülku (2024); ⁵ Sanna et al. (2026); ⁶ Gao et al. (2025); ⁷ Li et al. (2024); ⁸ Subaşı & Ercan (2024); ⁹ Rodríguez-España et al. (2025); ¹⁰ Boudrag et al. (2025); ¹¹ López et al. (2025).

QUALIDADE SENSORIAL

O congelamento impacta diretamente atributos percebidos pelo consumidor, como textura, aroma, sabor e aparência global, os quais refletem as alterações tecnológicas previamente discutidas. A firmeza do miolo é um dos parâmetros mais afetados, sendo frequentemente associada à redução da maciez e da aceitabilidade. Em estudos recentes, pães submetidos ao congelamento têm apresentado aumento significativo da dureza e da mastigabilidade, acompanhado por menores escores sensoriais de frescor e textura. De forma semelhante, a redução da elasticidade e a intensificação da sensação de ressecamento têm sido relatadas, especialmente após armazenamento prolongado (Gao et al., 2025; Rasheed et al., 2025). Alterações no aroma e no sabor também podem ocorrer, ainda que de forma mais sutil, estando relacionadas à oxidação lipídica e à perda de compostos voláteis. Adicionalmente, mudanças na coloração e na estrutura alveolar influenciam a percepção visual, contribuindo para a redução da aceitação global do produto (Özulu, 2024; Liu et al., 2023).

MICROBIOLOGIA

Do ponto de vista microbiológico, o congelamento reduz significativamente a atividade metabólica e a multiplicação de microrganismos, prolongando a vida útil dos alimentos (Bockstaele et al., 2021). No entanto, o processo não promove a eliminação completa da microbiota, permitindo a sobrevivência de formas resistentes, como esporos, que podem tornar-se relevantes após o descongelamento (Alpers et al., 2021; Pitt & Hocking, 2009).

Fungos filamentosos, especialmente dos gêneros *Penicillium* e *Aspergillus*, constituem os principais agentes de deterioração em produtos de panificação, sendo sua ocorrência associada à contaminação pós-processamento e à exposição ao ambiente (Alpers et al., 2021; Liu et al., 2023; Pitt & Hocking, 2009). Além disso, bactérias esporuladas do gênero *Bacillus* podem sobreviver ao processamento térmico e causar deterioração conhecida como “*rope spoilage*”, caracterizada por alterações de textura e odor do miolo (Pacher et al., 2022). Evidências apontam que populações superiores a 10^6 UFC/g são suficientes para desencadear esse processo, comprometendo a qualidade e a segurança do produto (Rumeus, 2023).

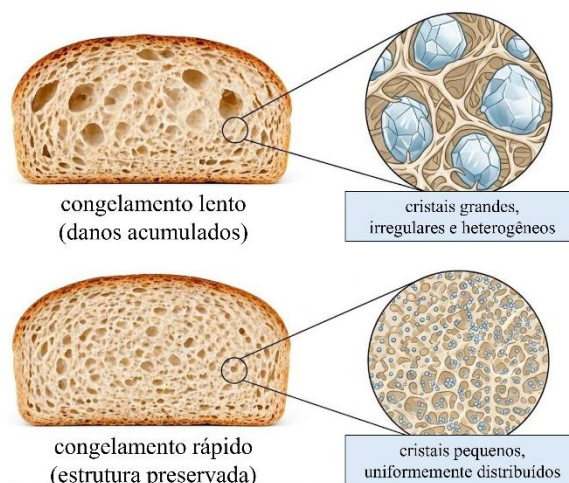
Assim, ainda que o congelamento seja um método eficiente de conservação, sua ação é predominantemente inibitória, de modo que a carga microbiana inicial e as condições pós-descongelamento passam a determinar a retomada da atividade dos microrganismos e, consequentemente, a evolução dos processos de deterioração (Alpers et al., 2021).

CINÉTICA DE CONGELAMENTO

A cinética de congelamento está diretamente relacionada à taxa de remoção de calor e à dinâmica de nucleação e crescimento de cristais de gelo, constituindo um dos principais fatores que governam a integridade estrutural do sistema e, consequentemente, a qualidade final do produto (Chen et al., 2025; Bockstaele et al., 2021).

Durante o congelamento lento, que configura a taxa habitualmente alcançada em freezers domésticos (por volta de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$), a formação de gelo ocorre de maneira gradual, permitindo a migração de água e o crescimento de cristais maiores e heterogêneos. Esse processo intensifica a concentração de solutos e provoca danos mecânicos à matriz, com colapso parcial das células gasosas e aumento da firmeza do miolo após o descongelamento (Miranda-Ramos & Haros, 2023; Chen et al., 2025). Em contraste, o congelamento rápido, especialmente em condições de ultracongelamento (-30 a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$), favorece a formação de microcristais uniformemente distribuídos, minimizando danos à estrutura e preservando atributos tecnológicos importantes, como volume específico, maciez e coesividade do miolo (Bockstaele et al., 2021; Chen et al., 2025). A Figura 3 ilustra o efeito da taxa de congelamento sobre a microestrutura de pães, evidenciando diferenças morfológicas nos cristais de gelo entre os regimes abordados (Gao et al., 2025; Maes et al., 2022).

Figura 3 – Congelamento lento vs. rápido em pães.



Fonte: Adaptado de Gao et al. (2025) e Maes et al. (2022).

Adicionalmente, a etapa de transição de fase, caracterizada pela cristalização de mais de 80% da água livre do sistema, configura um ponto crítico do processo de congelamento (Zhang et al., 2020). A velocidade com que essa transição ocorre influencia diretamente o tamanho, a distribuição e a localização dos cristais de gelo na matriz do

alimento (Gao et al., 2025; Maes et al., 2022). Para pães, especificamente, a permanência prolongada nessa faixa crítica, bem como flutuações térmicas durante o armazenamento, intensificam a recristalização da amilopectina, resultando em endurecimento acelerado do miolo. Atualmente, estratégias tecnológicas têm sido direcionadas ao aumento da taxa de congelamento especificamente durante esse intervalo, visando minimizar danos estruturais e otimizar a estabilidade do produto. Em sistemas industriais, recomenda-se a rápida travessia dessa zona por meio de processos como “blast freezing”, amplamente aplicados em pães parcialmente assados, em que o congelamento ocorre após resfriamento controlado (Chen et al., 2025; Zhang et al., 2020).

MERCADO NACIONAL

No cenário brasileiro, o mercado de pães congelados e ultracongelados para consumo doméstico e comercial vem se mostrando em crescente expansão. Empresas especializadas fornecem linhas de pães franceses, baguetes, ciabattas e pães de forma, além de itens especiais, como pão de alho e hambúrgueres. Por exemplo, a Brico Bread (SC) se posiciona como “o melhor fabricante de pré-assados e ultracongelados da América do Sul” com dezenas de produtos relacionados em seu catálogo (Brico Bread, 2026). Outras marcas regionais fornecem linhas similares: a Marcopan (RS) concentra-se na comercialização de pães franceses e integrais congelados, destinados ao abastecimento de padarias (Marcopan, 2026). A Bread King (SC) oferece pães, doces e salgados supercongelados (Bread King, 2026). Já a Du Blé (MG) comercializa pães artesanais congelados em ambiente doméstico (Du Blé, 2026). Essas linhas atendem tanto consumidores finais quanto estabelecimentos, que podem armazenar estoque e assar sob demanda. A Tabela 3 apresenta exemplos de marcas nacionais que atuam no segmento de panificados congelados, com destaque para os principais produtos comercializados.

Tabela 3 – Marcas brasileiras de pães congelados.

EMPRESA	Produtos comercializados
Brico Bread (SC)¹	Pão francês, pão para hambúrguer, baguete, ciabatta, pão de alho e pães especiais ultracongelados
Marcopan (RS)²	Pão francês e baguetes pré-assados congelados, além de pães doces
Bread King (SC)³	Pão francês, pão de forma, pão integral, pão para hambúrguer, pão para hot dog, baguete e ciabatta supercongelados, além de salgados e produtos de panificação doce
Du Blé (MG)⁴	Mini pão francês, baguete, ciabatta e croissants pré-assados congelados

Fontes: ¹ Brico Bread (2026); ² Marcopan (2026); ³ Bread King (2026); ⁴ Du Blé (2026).

CONCLUSÃO

O armazenamento congelado configura-se como uma estratégia tecnológica relevante para a extensão da vida útil de pães, mantendo níveis satisfatórios de qualidade. Esse efeito está diretamente relacionado à redução da mobilidade molecular e da atividade de água, o que limita reações químicas, enzimáticas e microbiológicas. Quando associado ao congelamento rápido e a sistemas adequados de embalagem, o processo minimiza a formação de cristais de gelo de grande tamanho e reduz danos à matriz de amido e glúten, contribuindo para a preservação da estrutura, maciez e características sensoriais do produto.

Apesar disso, alterações como aumento da firmeza do miolo e variações no volume específico podem ocorrer, principalmente em função da retrogradação do amido e da recristalização da água. Tais fenômenos evidenciam que a qualidade final não depende apenas do congelamento em si, mas do controle integrado das condições de processo, incluindo taxa de congelamento, estabilidade da temperatura e etapa de descongelamento.

Dessa forma, ainda que condições inadequadas possam comprometer atributos de qualidade, a aplicação de um processo de congelamento controlado permite a conservação de pães por períodos prolongados, com desempenho tecnológico e aceitação comparáveis aos do produto fresco, consolidando-se como uma ferramenta essencial na indústria de panificação moderna.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio institucional e financeiro da Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, 302867/2023-6), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, 001) e da Electrolux (Brasil e Itália).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Eveline Lopes; CHANG, Yoon Kil; STEEL, Caroline Joy. Dietary fibre sources in frozen part-baked bread: influence on technological quality. *LWT – Food Science and Technology*, v. 53, n. 1, p. 262–270, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.008>.
- ALPERS, T.; KERPES, R.; FRIOLI, M.; NOBIS, A.; HOI, K. I.; BACH, A.; JEKLE, M.; BECKER, T. Impact of storing condition on staling and microbial spoilage behavior of bread and their contribution to prevent food waste. *Foods*, v. 10, 2021, p. 76. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10010076>.
- BÁRCENAS, M. E.; ROSELL, C. M. Effect of frozen storage time on the bread crumb and aging



- of par-baked bread. *Food Chemistry*, v. 94, 2006, p. 438–445. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.023>.
- BIOLOGY READER. *Starch gelatinization: definition, process & factors affecting*. Biology Reader, [s.d.]. Disponível em: <https://biologyreader.com/starch-gelatinization.html>. Acesso em: 23 abr. 2026.
- BOCKSTAELE, Filip Van; DEBONNE, Els; DE LEYN, Ingrid; WAGEMANS, Kathou; EECKHOUT, Mia. Impact of temporary frozen storage on the safety and quality of four typical Belgian bakery products. *LWT*, v. 137, 2021, 110454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110454>.
- BOUDRAG, S.; ARENDT, E. K.; SEGURA GODOY, C.; SAHIN, A. W.; NYHAN, L.; CASHMAN, K. D.; ZANNINI, E. Optimising white wheat bread fortification with vitamin D3 and dietary fibre: balancing nutritional enhancement and technological quality. *Foods*, v. 14, 2025, art. 2055. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14122055>.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada RDC nº 604, de 10 de fevereiro de 2022. Dispõe sobre os requisitos para rotulagem nutricional de alimentos embalados. *Diário Oficial da União: seção I*, Brasília, DF, 11 fev. 2022.
- BREAD KING. Produtos. Disponível em: <https://breadking.com.br/produtos/>. Acesso em: 26 abr. 2026.
- BRICO BREAD. *Brico Bread – pães pré-assados e congelados sempre na sua casa*. Cotia, [s.d.]. Disponível em: <https://www.bricobread.com.br/>. Acesso em: 23 abr. 2026.
- CHEN, Guo; JANSSON, Helén; LUSTRUP, Kaare F.; SWENSON, Jan. Formation and distribution of ice upon freezing of different formulations of wheat bread. *Journal of Cereal Science*, v. 55, n. 3, 2012, p. 279–284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.12.008>.
- CHEN, Y.-M.; WU, X.-M.; PANG, X.-X.; LIANG, J.-F.; LI, J.-Y.; LIAO, L.; ZENG, X.-A. Freezing dynamics of dough under molecular hydrogen-fumigation assisted immersion: quality and structural responses to freezing and thawing cycles. *Food Chemistry: X*, v. 31, 2025, art. 103055. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103055>.
- DU BLÉ. Du Blé Alimentos. Disponível em: <https://dublealimentos.com/>. Acesso em: 26 abr. 2026.
- FOLHA DE LONDRINA. O pão de cada dia. *Folha de Londrina*, Londrina, [s.d.]. Disponível em: <https://www.folhadelondrina.com.br/folha-2/o-pao-de-cada-dia-2939543e.html>. Acesso em: 23 abr. 2026.
- GAO, R. et al. Impact of different types of lipids on the quality of frozen dough and bread. *Foods*, v. 14, n. 23, p. 4032, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14234032>.
- GARCÍA-SEGOVIA, P.; IGUAL, M.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J. Physicochemical properties and consumer acceptance of bread enriched with alternative proteins. *Foods*, v. 9, 2020, p. 933. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9070933>.
- GERARDO-RODRÍGUEZ, Jesús Enrique; RAMÍREZ-WONG, Benjamín; TORRES-CHÁVEZ, Patricia Isabel; LEDESMA-OSUNA, Ana Irene; CARVAJAL-MILLÁN, Elizabeth; LÓPEZ-CERVANTES, Jaime; SILVAS-GARCÍA, María Irene. Effect of part-baking time, freezing rate and storage time on part-baked bread quality. *Food Science and Technology*, v. 41, 2021, p. 352–359. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.06820>.
- LI, C.; CHEN, G.; TILLEY, M.; CHEN, R.; PEREZ-FAJARDO, M.; WU, X.; LI, Y. Enhancing gluten network formation and bread-making performance of wheat flour using wheat bran aqueous extract. *Foods*, v. 13, 2024, art. 1479. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13101479>.
- LIU, Hongyan et al. Quality deterioration of frozen dough bread during terminal freezing and thawing: from the insight of moisture and starch properties. *Food Bioscience*, v. 56, 2023, 103435. ISSN 2212-4292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103435>.
- LÓPEZ, M. S.; SALVUCCI, E. J.; BARONI, M. V.; DI PAOLA, R.; PÉREZ, G. T.; SCIARINI, L. S. Techno-nutritional improvement of gluten-free breads using spontaneous sourdough of quinoa and buckwheat flours. *Fermentation*, v. 11, 2025, art. 657. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation11120657>.
- MAES, A.; PESTIAUX, C.; MARINO, A. et al. Cryogenic contrast-enhanced microCT enables nondestructive 3D quantitative histopathology of soft biological tissues. *Nature Communications*, v. 13, p. 6207, 2022. DOI: 10.1038/s41467-022-34048-4.
- MARCOPAN. Marcopan do Brasil. Disponível em: <https://marcopan.com.br/>. Acesso em: 26 abr. 2026.
- MIRANDA-RAMOS, Karla Carmen; HAROS, Claudia Monika. Influence of pre-baking and frozen storage on the technological and nutritional quality of a multi-seed bread. *LWT*, v. 187, 2023, art. 115340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115340>.
- NAITO, S. et al. Effect of freeze-thaw cycles on the gluten fibrils and crumb grain structures of breads made from frozen doughs. *Cereal Chemistry*, v. 81, p. 80–86, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/CHEM.2004.81.1.80>.



- NING, Jiyang et al. Starch retrogradation in starch-based foods: mechanisms, influencing factors, and mitigation strategies. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 300, 2025, 140354. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.140354>.
- NOVOTNI, D.; ĆURIĆ, D.; GALIĆ, K.; ŠKEVIN, D.; NEĐERAL, S.; KRALJIĆ, K.; GABRIĆ, D.; JEŽEK, D. Influence of frozen storage and packaging on oxidative stability and texture of bread produced by different processes. *LWT - Food Science and Technology*, v. 44, n. 3, 2011, p. 643–649. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.020>.
- ÖZULKU, G. Monitoring the dough properties, quality characteristics and volatile compounds of whole wheat bread made by different sourdough types during frozen storage. *Foods*, v. 13, 2024, p. 1388. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13091388>.
- PACHER, N.; BURTSCHER, J.; JOHLER, S.; ETTER, D.; BENDER, D.; FIESELER, L.; DOMIG, K. J. Ropiness in bread—A re-emerging spoilage phenomenon. *Foods*, v. 11, 2022, p. 3021. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11193021>.
- PITT, J. I.; HOCKING, A. D. *Fungi and food spoilage*. 3. ed. Dordrecht: Springer, 2009.
- RASHEED, Mohsin; GUO, Boli; LI, Ming; YANG, Jingjie; ZHANG, Yingquan; ZHANG, Bo. Rheological and structural insights into frozen dough from wheat varieties with varying gluten content. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 319, pt. 4, 2025, p. 145621. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.145621>.
- RODRÍGUEZ-ESPAÑA, M. et al. Optimization of gluten free bread formulation using whole sorghum-based flour by response surface methodology. *Foods*, v. 14, 2025, art. 3113. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14173113>.
- RUMEUS, I. Bread rope spoilage development. *Journal of Engineering Science*, v. 30, n. 2, 2023, p. 185–195. DOI: [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30\(2\).16](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30(2).16).
- SANNA, M.; SANNA, S.; SERRA, M.; ROGGIO, T.; CATZEDDU, P.; SANNA, V. From composition to acceptance: linking nutritional, structural and sensory attributes in clean-label breads. *Foods*, v. 15, 2026, p. 831. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods15050831>.
- SILVA, Byanca Morais da; SOUZA, Natália Ferreira Diniz de; DIAS, Rose M. Feliciano; RAMOS, Bethânia Felix Miranda. Composição nutricional de pães com farinha de trigo integral e refinada, comercializados em hipermercados de Salvador, BA. *Higiene Alimentar*, v. 31, n. 266/267, p. 55–60, 2017.
- SUBAŞI, A. Seis; ERCAN, R. Technological characteristics of whole wheat bread: effects of wheat varieties, sourdough treatments and sourdough levels. *European Food Research and Technology*, v. 250, p. 2593–2608, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04560-6>.
- TACO. *Tabela brasileira de composição de alimentos*. 4. ed. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2011. Disponível em: https://www.nepa.unicamp.br/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf. Acesso em: 23 abr. 2026.
- YANG, Zixuan; JIN, Yamei; XU, Xueming. Mechanism of frozen dough deterioration and the behavior of different wheat starch types during storage. *Journal of Cereal Science*, v. 116, 2024, 103843. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.103843>.
- ZHANG, Y.; LI, Y.; WANG, H.; OLADEJO, A. O.; ZHANG, H.; LIU, X. Effects of ultrasound-assisted freezing on the water migration of dough and the structural characteristics of gluten components. *Journal of Cereal Science*, v. 94, 2020, art. 102893. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102893>.