

Aplicação da enzima transglutaminase em pães de forma sem glúten

Application of transglutaminase enzyme in gluten-free sandwich breads

Airi Iwasaki Sato ⁽¹⁾

Ana Caroline Albuquerque ⁽¹⁾

Henrique Morbey Machado ⁽¹⁾

Lorena Camargo ⁽¹⁾

Rosana Mendes Roversi ^(1,2)

Resumo. Duas características importantes diferenciam os pães sem glúten daqueles elaborados com trigo: o volume reduzido com baixo índice de expansão da massa antes e após o assamento, e a significativa fragilidade na estrutura do miolo, com esfarelamento e aparência ressecada. A ausência estrutural da rede de glúten e a retrogradação do amido podem explicar essas alterações. As enzimas do tipo *crosslinking*, como a transglutaminase, possuem a capacidade de realizar a ligação cruzada entre alguns aminoácidos de diferentes proteínas. Essa ação forma uma rede proteica com uma estrutura semelhante à do glúten, que pode contribuir para aumentar a firmeza do miolo e melhorar a retenção de gás durante a fermentação e o assamento de pães sem glúten, contribuindo para o aumento do volume específico. O efeito promovido pela transglutaminase nos pães depende do tipo de proteína presente na formulação. Para estudar o efeito da enzima em pães elaborados com a mistura de farinha de arroz, soja e ovo integral, foram aplicadas duas concentrações de enzima: 5 UI/g de proteína e 50 UI/g de proteína. Na formulação utilizada, após o assamento os pães com adição de enzima apresentaram maior dureza em relação ao controle sem enzima numa relação diretamente proporcional à concentração aplicada. No entanto, o volume específico foi reduzido também proporcionalmente a concentração de enzima aplicada, não se obtendo melhoria na expansão da massa. A umidade foi preservada e melhorada com as enzimas. **Palavras-chave:** volume específico, dureza, proteínas, expansão, rede proteica.

Abstract. Two important characteristics differentiate gluten-free breads from those made with wheat: reduced volume with a low expansion rate of the dough before and after baking, and significant fragility in the crumb structure, with crumbling and a dry appearance. The structural absence of the gluten network and starch retrogradation may explain these alterations. Crosslinking enzymes, such as transglutaminase, have the ability to cross-link some amino acids from different proteins. This action forms a protein network with a structure similar to gluten, which can contribute to increasing crumb firmness and improving gas retention during fermentation and baking of gluten-free breads, contributing to an increase in specific volume. The effect promoted by transglutaminase in breads depends on the type of protein present in the formulation. To study the effect of the enzyme in breads made with a mixture of rice flour, soy flour, and whole egg, two enzyme concentrations were applied: 5 IU/g of protein and 50 IU/g of protein. In the formulation used, after baking, the breads with added enzyme showed greater hardness compared to the control without enzyme, in a relationship directly proportional to the concentration applied. However, the specific volume was also reduced proportionally to the enzyme concentration applied, with no improvement in dough expansion. Moisture was preserved and improved with the enzymes. **Keywords:** specific volume, hardness, proteins, expansion, protein network

⁽¹⁾ Técnico em Alimentos - IFSP - Campus São Roque

⁽²⁾ Mt em Tecnologia de Alimentos - IFSP - Docente EBTT do Campus São Roque. E-mail: rosana.mendes@ifsp.edu.br

(Recebido em: 24 jun. 2025; aceito em: 18 nov. 2025)

1 Introdução

Os pães convencionais elaborados com farinha de trigo possuem duas proteínas, glutenina e gliadina, sendo essa última uma prolamina. Essas proteínas quando umedecidas e trabalhadas mecanicamente se unem quimicamente formando uma rede denominada "glúten". O glúten é responsável pela elasticidade e confere firmeza e resistência à massa contra deformações mecânicas e esfarelamento. Ele também auxilia na retenção do ar na massa durante a fermentação e assamento e influencia diretamente na expansão do volume da massa e o crescimento e maciez dos pães.

O esfarelamento é consequência do ressecamento promovido pela retrogradação do amido, que ocorre após o assamento e resfriamento dos pães. A retrogradação é o fenômeno de aproximação das cadeias de amilose do amido com perda de umidade. Portanto pães produzidos com mais amido, que é o caso da maioria das formulações dos pães sem glúten, apresentam maior tendência ao ressecamento e esfarelamento (RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, 2007; DAMODARAN e PARKING, 2009).

Parte da população mundial apresenta alergia às proteínas presentes no glúten, o que pode causar uma enfermidade no sistema imunológico conhecida como doença celíaca, devido a uma alteração na digestibilidade dos alimentos pela mucosa intestinal. Os celíacos não podem consumir alimentos com glúten, pois não existe outro tipo de tratamento para a doença além da suspensão de todos os alimentos que o contêm em sua composição. Além desse fator, existe a síndrome do intestino irritável, cujos sintomas relatados são reações de desconforto digestivo relacionadas ao consumo de glúten e que estão direta ou indiretamente ligadas a doenças crônicas, como artrites, enxaquecas, sinusites e candidíase (FASANO *et al.*, 2013; UNIVERSITY OF CHICAGO CELIAC DISEASE CENTER, 2017). Segundo Cattasi (2014), a presença de sintomas da doença é apenas a ponta do "iceberg", sendo que 70 a 80% dos pacientes apresentam sintomas ambíguos ou nenhum deles.

Esses fatores aumentou o consumo de produtos sem essas proteínas e aumentou a oportunidade de se desenvolver um mercado de novos produtos que, apesar de não conterem trigo, possam ser consumidos como substitutos dos tradicionais e, portanto, devem apresentar características sensoriais similares. Misturas de farinha de arroz com farinhas e amidos de outros cereais e tubérculos, como milho, batata e mandioca, têm sido utilizadas em diversas combinações para substituir produtos de panificação e massas alimentícias, buscando-se alcançar semelhança sensorial com os produtos elaborados com trigo (CAPRILES *et al.*, 2011; CAPRILES, 2009; APLEVICZ e MOTTIN, 2007; CLERICI e EL-DASH, 2006; SANCHEZ *et al.*, 2002). A inexistência das proteínas gliadina e glutenina nos cereais alternativos resulta em uma massa sem a formação da rede proteica do glúten, que atua na retenção de gases da fermentação, fator fundamental para se alcançar volume, leveza, elasticidade e textura nos tradicionais pães de trigo (STORCK *et al.*, 2009; GUJRAL e ROSELL, 2004).

A adição de ingredientes que favoreçam a retenção dos gases provenientes da fermentação, como os hidrocolóides, que aumentam a viscosidade da massa, e a adição de proteínas complementares, foram testadas ao longo da última década, a fim de se obter produtos com características sensoriais próximas às dos produtos feitos com trigo (JESUS *et al.*, 2021; VIVAS, B. 2013; NITCHEU NGEMAKWE, 2014; RONDA, 2009).

As enzimas do tipo crosslinking, como a transglutaminase, também têm sido testadas em pães sem glúten. Essas enzimas apresentam a capacidade de promover ligações cruzadas entre cadeias proteicas por meio da catálise de reações covalentes entre a lisina e a glutamina presentes nas proteínas, o

que favorece a formação de uma rede proteica. Espera-se que essa ação enzimática promova uma melhora na estrutura da massa e do miolo do pão ao agir sobre os aminoácidos das proteínas existentes em diferentes farinhas utilizadas ou em fontes proteicas complementares (como ovos, derivados do leite e soja), através da formação de uma rede proteica que possa contribuir de forma semelhante ao glúten na retenção de gases da fermentação (NITCHEU NGEMAKWE *et al.*, 2014; GUJRAL e ROSELL, 2003; LEÓN e BENEDITO DE BARBER, 2002; SOUZA, 2016; AMIRDIVANI, 2018).

Mohammadi *et al.* (2014) estudaram o efeito combinado de goma guar e de transglutaminase em pães sem glúten à base de farinha de arroz. A formulação com 3% de goma guar e 1 UI/g de proteína otimizou o volume específico e a firmeza do miolo. Smerdel *et al.* (2012) investigaram os efeitos da combinação de diferentes farinhas extrusadas (arroz, batata, milho, trigo-sarraceno), fontes proteicas (pó de clara de ovo, isolado de soja, caseinato) com adição de transglutaminase (1 UI e 10 UI/g de proteína) em pães sem glúten. Eles concluíram que as propriedades mais desejáveis em dureza e mastigabilidade foram alcançadas com trigo-sarraceno, clara de ovo e 10 UI de transglutaminase. Na mesma linha de pesquisa, Dłużewska *et al.* (2014) observaram o efeito da transglutaminase no volume específico, na umidade e na dureza do miolo em massas compostas com proteína de soja e soro de leite. A combinação de proteína de soja e 1 UI/g de proteína de transglutaminase apresentou o melhor resultado nas características avaliadas. Ebling *et al.* (2022) estudaram a ação da transglutaminase em conjunto com amiloglucosidase e glicose oxidase, obtendo um efeito sinérgico positivo na melhoria qualitativa geral do pão sem glúten à base de amido de milho, farinha de arroz e farinha de trigo-sarraceno.

É possível verificar, nos resultados dos estudos descritos, que o efeito enzimático está relacionado com o tipo de proteína existente na massa e com a intensidade e concentração da enzima (SMERDEL *et al.*, 2012; MOHAMMADI *et al.*, 2014; DŁUŻEWSKA *et al.*, 2015; EBLING *et al.*, 2022, SANTOS, 2022). Portanto, faz-se necessário conhecer os efeitos das interações enzimáticas em cada base proteica, que está relacionada com as farinhas e com as substâncias essencialmente proteicas adicionadas nas formulações, considerando variações na força da atividade da enzima e na concentração a ser aplicada na fórmula. Esses são alguns dos aspectos a serem explorados, em conjunto ou isoladamente, em cada produto. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da transglutaminase no pão de forma elaborado com uma mistura de farinha de arroz, farinha de soja, ovo inteiro e amido de mandioca e de milho.

2 Objetivos

Objetivo geral: O trabalho teve como objetivo aplicar enzima transglutaminase em pães elaborados com farinhas de arroz e soja isentas de glúten, para avaliar sua influência na resistência e no crescimento dos pães durante a fermentação e assamento.

Objetivos específicos:

1. Avaliar o volume específico dos pães
2. Avaliar a firmeza do pão através da determinação da dureza do miolo
3. Avaliar a perda de massa durante o assamento
4. Avaliar a umidade após assamento
5. Avaliar o efeito visual quanto a uniformidade de bolhas no miolo

3 Materiais e métodos

Foram elaboradas três formulações de pão de fôrma sem glúten, sendo uma sem aplicação de enzima e duas com aplicação de enzima.

Formulação base: 480 g·kg⁻¹ farinha de arroz (Comércio de Cereais Maninho Ltda., Rio Grande do Sul, Brasil), 200 g g·kg⁻¹ fécula de mandioca prata (INCOL, Paraná, Brasil), 220 g·kg⁻¹ amido de milho (Cargill, São Paulo, Brasil), 105 g·kg⁻¹ de farinha de soja (Kinako); 80 g·kg⁻¹ ovo desidratado (DIM Alimentos, São Paulo, Brasil), 140 g·kg⁻¹ óleo de soja (Cargill, São Paulo, Brasil), 90g· g·kg⁻¹ açúcar refinado (União, São Paulo, Brasil), 20 g·kg⁻¹ fermento biológico liofilizado instantâneo (Fleischmann, Rio de Janeiro, Brasil), 15 g·kg⁻¹ goma xantana (Art Alimentos); 20 g·kg⁻¹ cloreto de sódio (Refinaria Nacional de Sal S.A., Rio de Janeiro, Brasil), 20 g.Kg¹ de lecitina de soja em pó (Adicel); 8,5 g·kg⁻¹ antimoho propionato de sódio (Rizzato, Casa do Confeiteiro, São Paulo, Brasil)].

A enzima transglutaminase (TG) de 300 UI (Guangdong Kelong Biotechnology Co.,Ltd) foi adicionada em duas concentrações (Tabela 01).

Tabela 01: Concentração de enzimas transglutaminase (TG) utilizadas nas formulações

Formulação	[TG] UI/g de proteína
P	0
F01	5
F02	50

As massas foram preparadas em batedeira planetária de 5 kg (marca BRAESI, modelo BP-06), onde os ingredientes foram misturados na velocidade média do equipamento por 4 minutos.

Cerca de 300 g de massa foi transferida para formas de dimensões 7 cm de largura por 16 cm de comprimento e 5 cm de altura, ocupando metade do volume da forma.

A fermentação ocorreu em estufa mantida em 32°C pelo tempo necessário para que atingisse o volume completo da forma, não passando da altura das bordas. O assamento foi realizado em forno a gás estático (Venâncio) a 180°C por 35 minutos.

Após resfriamento, foram embalados para serem analisados no dia seguinte.

3.1 ANÁLISES FÍSICAS

Análises realizadas nas formulações após assamento:

- Variação de massa no assamento (ΔMA): diferença entre o peso da massa crua e após assamento expressa em porcentagem $[(\text{peso da massa crua} - \text{peso pao assado})/\text{peso da massa crua}] * 100$

- ii. Volume específico: razão entre o volume dos biscoitos (ml) por sua massa (g), calculado pela razão entre o volume aparente (determinado pelo método de deslocamento de painço) e o peso dos biscoitos após o assamento (PIZZINATTO *et al.*, 1993).
- iii. Dureza do miolo: foi feita na seção medial do miolo de cada pão em 5 pontos com o equipamento Testador de Dureza (PTR 300 - INSTRUTHERM) .
- iv. Umidade: determinação do teor de umidade total através de secagem em balança de infravermelho, expressa em porcentagem.

3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foram realizadas 4 medições para cada formulação para todas as análises. A média dos resultados foi analisada por ANOVA com 0,05 de significância.

3.3 AVALIAÇÃO DA APARÊNCIA

Foi realizada uma comparação visual da aparência do miolo da fatia central, observando-se o tamanho e a distribuição das bolhas promovidas durante a fermentação da massa. A aparência da crosta dos pães foi comparada também visualmente, conforme ilustrado nas figuras 2 e 3. A altura das fatias foi medida com uma régua sobre papel milimétrico.

4 Resultados e discussão

Todas as características mensuradas nas três formulações de pães: perda de massa (ΔMA); umidade (UM), volume específico (VE), dureza do miolo e altura das fatias estão descritas na tabela 2.

Tabela 02: Médias das análises de perda de massa ΔMA ; umidade (UM); volume específico (VE), dureza do miolo e altura das fatias.

Fórmulas	ΔMA (%)	UM (%)	VE (ml/g)	Dureza (kgf/cm ²)	Altura das fatias (cm)
P	9,40 ^a	24,8 ^a	2,49 ^a	0,37 ^a	7,0 ^a
F01	8,60 ^a	29,6 ^b	2,12 ^b	0,58 ^b	7,2 ^a
F02	6,90 ^b	32,5 ^b	1,99 ^c	0,75 ^c	6,4 ^b

* P (sem adição de TG), F01 (com adição de 5 UI de TG) e F02 (com adição de 50 UI de TG). **letras iguais indicam que não existe diferença significativa entre as médias a 0,05; letras diferentes indicam que existe diferença significativa entre as médias a 0,05.

Visualmente, observou-se que a aparência superficial dos pães da formulação sem enzima e da F02 apresentou maior rachadura (figura 02). A formulação com 5 UI apresentou melhor homogeneidade na crosta, com menos rachaduras. Em relação à altura, a formulação com 50 UI de transglutaminase apresentou uma redução significativa em comparação com as demais, mas com 5 UI não houve redução significativa em relação ao padrão sem enzima (figura 01 e tabela 02). A presença de bolhas menores e mais homogêneas foi observada na F02 com 50 UI. Visualmente, não se observou diferença na estrutura das bolhas entre as formulações sem enzima e com 5 UI de enzima transglutaminase.

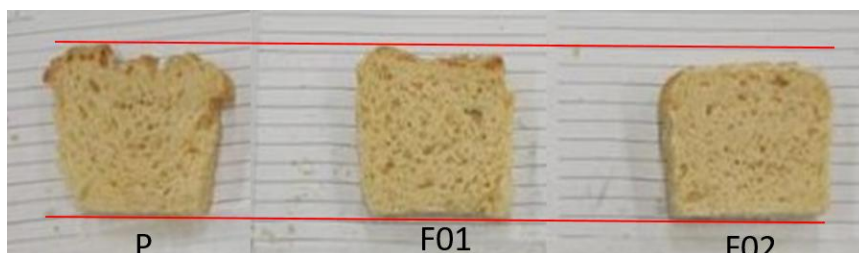


Figura 01: Aparência do miolo das fatias de pães obtidos a partir de diferentes formulações: P (sem adição de TG), F01 (com adição de 5 UI de TG) e F02 (com adição de 50 UI de TG).

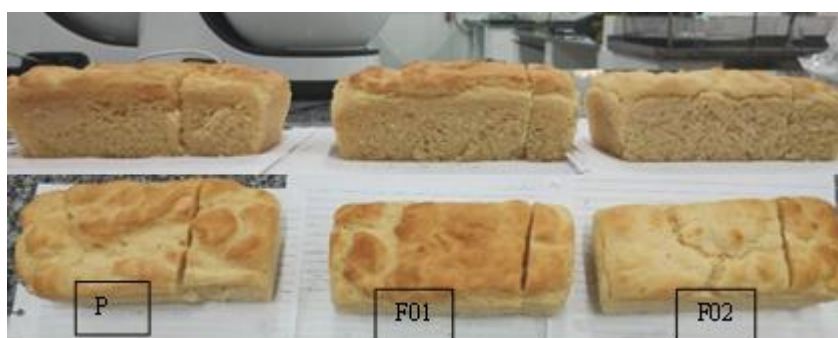


Figura 02: Aparência superficial e lateral dos pães obtidos a partir de diferentes formulações: P (sem adição de TG), F01 (com adição de 5 UI de TG) e F02 (com adição de 50 UI de TG)

A ação das enzimas foi significativa no aumento da resistência do miolo dos pães, com a firmeza maior na formulação que continha mais enzima. Da mesma forma, a maior adição das enzimas reduziu o volume específico proporcionalmente à quantidade aplicada (tabela 02 e figura 1). Ou seja, para a dose de 50 UI/g. de proteína a resistência foi ainda maior do que em doses de 5 UI/g. de proteína.

De forma inversa, o volume específico para 50 UI/g. de proteína foi menor do que para 5 UI/g. de proteína. O mesmo resultado foi encontrado em Smerdel *et al.* (2012), que observaram um menor VE em pães com 10 UI/g. de proteína em relação a 1 UI/g. de proteína, corroborando a relação inversamente proporcional entre a concentração de enzima e o volume específico. A redução do VE foi compensada pela maior resistência ao esfarelamento do pão nas duas formulações. Na revisão bibliográfica, foram observados efeitos semelhantes e opostos em relação ao VE. Renzetti *et al.* (2008) aplicaram

1 e 10 UI/g de proteína em pães com farinha de arroz e constataram a redução do VE, além do aumento da dureza do miolo com a adição de 10 UI em comparação a 1 UI da enzima. Por outro lado, Dłużewska et al. (2015) concluíram que a adição de 1 UI/g de proteína de transglutaminase em pães com proteína isolada de soro de leite e em pães com proteína isolada de soja promoveu um aumento no volume específico e na firmeza, sendo essa firmeza diretamente proporcional ao aumento da enzima. Essa variação nos resultados obtidos indica que a ação da enzima transglutaminase depende do tipo de proteínas presentes na formulação. Resultados favoráveis ao aumento no VE e a dureza de miolo foram também obtidos em pães elaborados apenas com farinha de arroz de fonte proteica quando 1,5% de transglutaminase foi adicionado (6,6 UI/g de proteína), enquanto valores menores de transglutaminase (0,5% e 1%) não apresentaram alterações significativas (STORCK *et al.*, 2009)

A ausência de glúten e a maior quantidade de amido na formulação promovem o ressecamento e o consequente esfarelamento da massa, gerando menor resistência ao manuseio. Esse efeito está relacionado com a retrogradação do amido, que é evidenciada em pães sem glúten. A retrogradação provoca a expulsão da umidade entre as cadeias de amido (DAMODARAN E PARKIN, 2018), o que resulta no ressecamento do pão. A adição da transglutaminase nas duas concentrações aplicadas contribuiu significativamente para uma maior retenção de umidade da massa após o assamento, em comparação com o padrão (tabela 02). A maior retenção de umidade pode contribuir para reduzir os efeitos da retrogradação, ressecamento e fragilidade do miolo.

A análise visual da estrutura do miolo demonstrou a influência das enzimas nas duas concentrações aplicadas. A formulação com 50 UI resultou em bolhas menores e mais homogêneas, em contraste com as demais. Além disso, a altura dos pães foi reduzida nas formulações com enzima, com um efeito diretamente proporcional à concentração utilizada (figura 02).

Mais especificamente, a ação da transglutaminase foi proporcional à concentração aplicada, resultando em bolhas menores, menor altura e maior dureza. Os pães com transglutaminase também exibiram uma expansão mais regular da massa, levando a superfícies mais uniformes e menos abauladas (figura 03).

Essas observações visuais corroboram os resultados da análise de dureza (tabela 2), confirmando que pães mais firmes apresentam menor expansão da massa, o que se traduz em menor volume, altura e bolhas de miolo de menor tamanho. A relação direta entre o aumento de dureza do miolo e redução de volume do pão com maiores quantidades de enzima transglutaminase também foram apontados em Santos, 2022.

O efeito das enzimas na dureza da massa dos pães confirma a influência da formação de redes de proteína (ou crosslinking) pela transglutaminase. Uma rede mais intensa pode reduzir o volume do pão, pois a contrapressão exercida diminui a elasticidade e a capacidade de expansão da massa.

A ação da transglutaminase, na concentração de 50 UI/g de proteína, influenciou significativamente a redução da perda de massa dos pães após o assamento. Contudo, esse efeito não foi significativo com a concentração menor, de 5 UI. A redução da perda de massa também foi observada por Ebling *et al.* (2022), que obtiveram uma redução de 6,3% com a aplicação da transglutaminase na concentração de 0,25 g/100 kg de farinha de trigo-sarraceno.

A divergência de resultados encontrados em trabalhos científicos onde a transglutaminase foi aplicada indica a dependência entre a ação da transglutaminase versus o tipo de ingredientes, principalmente da fonte proteica utilizada na formulação.

5 CONCLUSÃO

A adição de enzimas nas concentrações estudadas apresentou efeitos favoráveis no aumento da resistência do miolo (expressa pela unidade de dureza), bem como na retenção de umidade. Esse efeito foi diretamente proporcional à concentração da enzima transglutaminase. Contudo, na concentração de 50 UI/g de proteína, a redução do volume foi muito evidente, desfavorecendo a aparência do pão.

A dose de 5 UI não promoveu diferença significativa na textura do miolo; porém, nessa concentração, já houve interferência na redução do volume específico do pão.

Portanto, para a formulação desenvolvida neste trabalho, onde temos proteínas de farinha de arroz, soja e ovos, a adição de 5 e 50 UI/g de transglutaminase auxiliou no aumento da dureza e na regularidade das bolhas do miolo, características desejadas para pães sem glúten. Em contraponto, houve piora no efeito de expansão do volume específico nas formulações utilizadas.

O aumento da umidade, em adição ao aumento da dureza, pode influenciar a redução do esfarelamento devido à minimização da retrogradação e à melhor percepção sensorial de textura após alguns dias de vida útil. Para verificar essa possibilidade, recomenda-se a continuação desta pesquisa com análises após 5 e 10 dias de armazenamento.

Referências

AMIRDIVANI, S. **et al.** Effects of transglutaminase on health properties of food products, **Current Opinion in Food Science**, Volume 22, 2018, p. 74-80. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.008>, acesso em 20/10/2025.

APLEVICZ, K. S.; DEMIATE, I. M. Caracterização de amidos de mandioca nativos e modificados e utilização em produtos panificados. **Ciênc. Tecnol. Alimentos**: Campinas, v. 27, n. 3, p. 478-484, jul./set. 2007.

CAPRILES, V.D. **Otimização de propriedades nutricionais e sensoriais de produtos à base de amarantho enriquecidos com frutanos, para intervenção em celíacos**. Tese de doutorado. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2009.

CAPRILES, V.D., ARÊAS, J.A.G. Avanços na produção de pães sem glúten: aspectos tecnológicos e nutricionais.

Boletim CEPPA, Curitiba, v. 29, n. 1, p. 129-136, jan./jun. 2011.

CATASSI C, *et al.* The New Epidemiology of Celiac Disease. **Journal of Pediatric Gastroenterology & Nutrition**, Volume 59, 2014

EBLING C.D. *et al.* Influence of amyloglucosidase, glucose oxidase, and transglutaminase on the technological quality of gluten-free bread. **Cereal Chemistry**, março, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cche.10537>, acesso em 20/10/2025.

CLERICI, M.T.P.S.; EL-DASH, A.A. Farinha extrusada de arroz como substituto de glúten na produção de pão de arroz. Caracas: **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.56, n.3, 2006.

- DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L. **Química de alimentos de Fennema**. Tradução de Adriano Brandelli et al. Porto Alegre: Artmed, 2018.
- DAVIS, W. **Barriga de Trigo**. Rio de Janeiro: Editora Wmf Martins Fontes, 2015
- DŁUŻEWSKA, E. et al. Effect of transglutaminase additive on the quality of gluten-free bread, *CyTA - Journal of Food*, 13:1, 80-86, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.917336>, acesso em 20/10/2025.
- GUJRAL, H. S.; ROSELL, C. M.. Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science* 39, p. 225–230, 2004.
- FASANO, Alessio, et al. A multi-center study on the sero-prevalence of celiac disease in the United States among both at risk and not at risk groups. *Archives of Internal Medicine*, [S.l.], v. 163, n. 3, p. 286-292, fev. 2003. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12578508/>. Acesso em 20/10/2025
- JESUS *et al.* Otimização da interação entre xantana e HPMC na qualidade de pão sem glúten Almeida. *Rev. Bras. de Iniciação Científica (RBIC)*, Itapetininga, v. 8, p. 1-21, 2021.
- LEÓN, A. E., et al. Utilization of enzyme mixtures to retard bread crumb firming. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 50, n. 6, p. 1416-1419, 2002.
- M. E. R. DE SOUZA *et al.* Caracterização de Transglutaminase para Aplicação em Filmes de Gelatina. Caxias do Sul, XII **Seminário Brasileiro de Tecnologia Enzimática – ENZITEC**, 2016. Universidade de Caxias do Sul – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias
- MARCO, C.; ROSELL, C. M. (2008). Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads. *European Food Research & Technology*, 227, 1205–1213, 2008.
- MOHAMMADI, M *et al.* Development of gluten-free bread using guar gum and transglutaminase. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 21, 1398–1402 p.; 2015.
- NITCHEU NGEMAKWE, P.H. *et al.* Advances in gluten-free bread technology. *Food Science and Technology International* 21, 4, 2014.
- PIZZINATTO, A.; MAGNO, C. P. R.; CAMPAGNOLLI, D. M. F. **Avaliação tecnológica de produtos derivados da farinha de trigo (pão, macarrão, biscoitos)**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), 1993.
- RENZETTI, S. *et al.* Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science* 48, 2008. Disponível em: file:///C:/Users/ACER/Downloads/Microstructure_fundamental_rheology_and.pdf. Acesso em 20/10/2025.
- RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. **Química de Alimentos**. 2ª edição. São Paulo: Blucher, 2007.
- SANCHEZ, H.D.; OSELLA, C.A.; DE LA TORRE, M.A.. Optimization of Gluten-Free Bread Prepared from Cornstarch, Rice Flour, and Cassava Starch. *Journal of Food Science*, v. 67, 2002.
- SANTOS, E. C. Z. **Desenvolvimento de pães sem glúten elaborados com fécula de araruta (maranta arundinacea l.), adicionados de transglutaminase, goma xantana e/ou psyllium**. Dissertação de mestrado. Belo Horizonte: Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2022.
- SMERDEL, B *et al.* Improvement of gluten-free bread quality using transglutaminase, various extruded flours and protein isolates. *Journal of Food and Nutrition Research* Vol. 51, 4, 2012.
- STORCK, C. R. *et al.* Características tecnológicas de pães elaborados com farinha de arroz e transglutaminase. *Braz. J. Food Technol.*, II SSA, janeiro 2009. Disponível em: https://bift.ital.sp.gov.br/especiais/especial_2009/v1_1_edesp_13.pdf. Acesso em 20/10/2025
- UNIVERSITY OF CHICAGO CELIAC DISEASE CENTER. Celiac Disease Facts and Figures: Celiac Disease Center, USA. Disponível em https://www.cureceliacdisease.org/wp-content/uploads/341_CDCFactSheets8_FactsFigures.pdf, acesso em 20/10/2025.

Como citar este artigo científico

SATO, A.I.; ALBUQUERQUE, A.C.; MACHADO, H.M.; CAMARGO, L.; ROVERSI, R.M. Aplicação da enzima transglutaminase em pães de forma sem glúten. *Scientia Vitae*, vol. 20, n. 51, ano 12, out. nov. dez. 2025, p. 13-22.