

## **Aplicabilidade da farinha de sabugo roxo de milho e do coquetel rico em xilanase produzido pelo fungo filamentosso *Fusarium* sp. EA 1.3.1 em pães**

### **Applicability of corn cob flour and the cocktail rich in xylanase produced by the filamentous fungus *Fusarium* sp. EA 1.3.1 in bread**

DOI:10.34117/bjdv9n2-124

Recebimento dos originais: 23/01/2023

Aceitação para publicação: 22/02/2023

#### **Glauce Kelly Silva Nascimento**

Graduanda em Engenharia de Alimentos

Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Endereço: Rodovia MGT 367, Km 583, nº 5000, Diamantina - MG, CEP: 39100-000

E-mail: glauce.kelly@ufvjm.edu.br

#### **Tatiane Monteiro dos Santos**

Graduanda em Ciência e Tecnologia

Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Endereço: Rodovia MGT 367, Km 583, nº 5000, Diamantina - MG, CEP: 39100-000

E-mail: tatiane.santos@ufvjm.edu.br

#### **Irene Andressa**

Pós-Graduanda em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Instituição: Universidade Federal de Viçosa

Endereço: Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Viçosa - MG, CEP: 36570-900

E-mail: irene.andressa@hotmail.com

#### **Sander Moreira Rodrigues**

Graduando em Engenharia de Alimentos

Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Endereço: Rodovia MGT 367, Km 583, nº 5000, Diamantina - MG, CEP: 39100-000

E-mail: sandermoreira3@gmail.com

#### **Luiz Eliel Pinheiro da Silva**

Pós-Graduando em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Endereço: Rodovia MGT 367, Km 583, nº 5000, Diamantina - MG, CEP: 39100-000

E-mail: luiz.eliel@ufvjm.edu.br

#### **Vivian Machado Benassi**

Doutora em Bioquímica

Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Endereço: Rodovia MGT 367, Km 583, nº 5000, Diamantina - MG, CEP: 39100-000

E-mail: vivian.benassi@ict.ufvjm.edu.br

**Marcio Schmiele**

Doutor em Tecnologia de Alimentos

Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Endereço: Rodovia MGT 367, Km 583, nº 5000, Diamantina - MG, CEP: 39100-000

E-mail: marcio.sc@ict.ufvjm.edu.br

**RESUMO**

A aplicação de fibras alimentares oriundas de coprodutos agroindustriais e matérias-primas subutilizadas tem ganhado cada vez mais espaço na panificação. Por outro lado, essas aplicações ocasionam efeitos deletérios no produto final, o que pode ser contornado com o uso de xilanases fúngicas produzidas a partir de fonte de carbono de baixo custo. Este trabalho objetivou avaliar as características de pães com adição de farinha de sabugo de milho (FS), do coquetel rico em xilanase produzido pelo fungo filamentosso *Fusarium* sp. EA 1.3.1 (CRX) e da xilanase comercial (XC) (17,34 U/g de farinha). A substituição parcial de 5 % da farinha de trigo (FT) por FS reduziu o volume específico (VE), altura da fatia central (AC), resiliência, coesividade e elasticidade da amostra em 12;7,4; 21,32; 11,35 e 6,30 %, em respectivo, mas aumentou a firmeza (16,8 %) e a dureza (20,26 %). A adição do CRX em conjunto com a FS (F4) não diferiu do padrão nos parâmetros de firmeza, dureza, VE e AC e apresentou valores de coesividade, elasticidade, resiliência e mastigabilidade similares ao padrão, quando comparada aos ensaios F2 (5 % FS) e F3 (5 % FS + XC). Além disso, a FS e as enzimas promoveram impactos na cor instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) e apresentaram  $\Delta E$  superior a 5, o que indica que pessoas não treinadas conseguem diferir as amostras com relação ao padrão. Assim, a substituição parcial da FT pela FS, associado com o CRX são promissores para a elaboração de novos produtos de panificação com adição de fibras alimentícias não convencionais ricas em xilanases.

**Palavras-chave:** sustentabilidade, panificação, coquetel xilanolítico.

**ABSTRACT**

Using dietary fibers from agro-industrial co-products and underutilized raw materials has gained more space in the bakery. On the other hand, these applications cause deleterious effects on the final product, which can be circumvented by using fungal xylanases produced from a low-cost carbon source. This work aimed to evaluate the characteristics of bread with the addition of corn cob flour (CF), the cocktail rich in xylanase produced by the filamentous fungus *Fusarium* sp. EA 1.3.1 (CRX) and commercial xylanase (CX) (17.34 U/g flour). The partial replacement of 5 % of wheat flour (WF) by CF reduced the specific volume (SV), the height of the central slice (HC), resilience, cohesiveness and elasticity of the sample in 12;7.4; 21.32; 11.35 and 6.30 %, respectively, but increased firmness (16.8 %) and hardness (20.26 %). The addition of CRX together with the CF (F4) did not differ from the standard in the parameters of firmness, hardness, SV and HC, and presented values of cohesiveness, elasticity, resilience and chewiness similar to the standard when compared to the F2 (5 % CF) and F3 (5 % CF + CX). In addition, the CF and the enzymes promoted impacts on the instrumental color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) and presented  $\Delta E$  greater than 5, which indicates that untrained people can differ the samples concerning the pattern. Thus, the partial replacement of WF by CF, associated with CRX is promising for developing new bakery products with the addition of non-conventional food fibers rich in xylans.

**Keywords:** sustainability, breadmaking, xylanolytic cocktail.

## 1 INTRODUÇÃO

O pão é um dos alimentos mais antigos e o mais consumido mundialmente, principalmente por ser acessível e de baixo custo. Além disso, apresenta-se como uma matriz alimentícia com potencial para a adição de ingredientes não tradicionais, mas que podem ter impacto positivo na saúde dos consumidores (TEBBEN et al., 2018). Dentre estes ingredientes podemos destacar as fibras alimentares, pela funcionalidade deste polissacarídeo não amiláceo, como as características tecnológicas e fisiológicas. A demanda por alimentos funcionais fisiológicos tem aumentado de forma expressiva em todo o mundo. O consumo regular de alimentos com adição de fibras alimentares pode estar associado à melhoria do trânsito gastrointestinal, controle de peso e sinergismo na prevenção de doenças cardiovasculares. Assim, na panificação se tem intensificado a procura por fontes de fibras alimentares alternativas, oriundas de subprodutos agroindustriais e fontes vegetais não convencionais e, na maioria das vezes, subutilizadas pela indústria alimentícia (XU et al., 2021).

Como exemplo de subproduto agrícola temos o sabugo de milho, que é o principal gerado pelo beneficiamento do milho e subutilizado pela indústria, sendo utilizado majoritariamente na ração animal e na adubação agrícola. No entanto, o sabugo de milho pode ser transformado em farinha e aplicado aos alimentos como fonte de fibras não convencional, além de representar uma alternativa abundante e de baixo custo (SANTOS et al., 2022).

Por outro lado, a incorporação de fibras alimentares em pães ocasiona impactos negativos nas propriedades tecnológicas e sensoriais, os quais estão associados principalmente à diluição das proteínas formadoras da rede de glúten e ao impedimento estérico que promovem na estrutura contínua da rede viscoelástica, acarretando em menor retenção de ar na massa, produzindo pães com menores volumes específicos e textura firme (PASQUALONE et al., 2017; VERDÚ et al., 2017). Assim, os produtos de panificação elaborados a base de farinha de trigo refinada são preferencialmente os mais consumidos devido às propriedades sensoriais mais atraentes quando comparados aos integrais e aos com substituição parcial da farinha de trigo (ABDULLAH et al., 2021).

Desse modo, uma estratégia muito utilizada na panificação é a exploração de enzimas, as quais são utilizadas em substituição aos aditivos químicos como os hidrocoloides, os oxidantes e os emulsificantes. O uso dos coadjuvantes de tecnologia tem impacto positivo nas propriedades da massa e do produto final, além de atenderem a expectativa do consumidor com relação ao rótulo limpo (TEBBEN et al., 2018). A

xilanase é uma das principais enzimas utilizadas na fabricação de pães integrais por ter efeito positivo na estabilidade e a maquinabilidade da massa, salto de forno, estrutura do miolo, volume específico e vida útil do produto (YEGIN et al., 2018; TORBICA et al., 2022). No entanto, os processos biotecnológicos através da incorporação de enzimas podem não ser atrativo ao fabricante por ser oneroso. Assim, os coquetéis enzimáticos produzidos por micro-organismos são uma opção factível para a redução de custos.

O coquetel xilanolítico produzido pelo fungo *Fusarium* sp. EA 1.3.1 pode ser promissor para a aplicação em produtos de panificação por ser robusto e produzir extrato enzimático composto majoritariamente por xilanases com boa capacidade de hidrólise de carboidratos complexos (MIRANDA et al., 2021). Além disso, o *Fusarium* sp. EA 1.3.1 produz o coquete xilanolítico em meio de cultura à base de farelo de trigo, uma fonte de carbono acessível, economicamente viável e ecologicamente correta.

Apesar dos efeitos promissores à saúde, a substituição parcial do trigo pela farinha de sabugo de milho em pães de forma pode inferir em efeitos deletérios do ponto de vista sensorial, nutricional e tecnológico, os quais devem ser contornados para a elaboração de um produto com propriedades instrumentais e tecnológicas adequadas e potencialmente atrativas ao consumidor. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou avaliar as características tecnológicas de pães de forma com a exploração da farinha de sabugo de milho e do coquetel rico em xilanase produzido pelo fungo filamentosso *Fusarium* sp. EA 1.3.1.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAL

Os sabugos de milho crioulo de pericarpo roxo foram obtidos por doação do Projeto Milho Crioulo do Instituto de Ciências Agrárias da UFVJM (safra 2020) e registrado sob número A5C29C1 no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) do Ministério do Meio Ambiente da República Federativa do Brasil. Os sabugos foram armazenados em galões de polietileno de alta densidade à temperatura ambiente e na ausência de luz.

O fungo filamentosso *Fusarium* sp. EA 1.3.1 foi isolado a partir de material orgânico oriundo do solo da região de Diamantina-MG, conforme estudo prévio descrito por Nogueira et al. (2021) e registrado no SisGen sob número A64AD93. Os demais ingredientes utilizados foram adquiridos no comércio local de Diamantina-MG.

## 2.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.2.1 Caracterização físico-química da farinha de sabugo de milho e da farinha de trigo

#### 2.2.1.1 Composição centesimal

A farinha de sabugo de milho foi obtida de acordo com Santos et al. (2022). Resumidamente, os sabugos de milho foram desintegrados manualmente com auxílio de martelo e submetidos à moagem em moinho de martelo JF 80 (JF Máquinas, Itapira, Brasil), seguida de uma outra moagem no moinho de bolas TE- 350 (Tecnal, Piracicaba, Brasil) para melhor redução e uniformidade da granulometria.

As farinhas de sabugo de milho e de trigo foram então submetidas à análise de umidade (método 44-15.02), lipídeos (método 30-25.01), cinzas (método 08-12.01) e proteínas (método 46-11.02, N = 6,25) da *American Association of Cereal Chemists International* (AACCI, 2010). O teor de carboidratos digeríveis (açúcares e amido) foram determinados pelo método 982.14 e as fibras alimentares pelo método 978.10 da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2019). As análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos em %.

#### 2.2.1.2 Cor instrumental

Os parâmetros colorimétricos das farinhas utilizadas foram determinados em colorímetro CM-5 Konica (Minolta, Chiyoda, Japão), no espaço de cor  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ . As leituras foram realizadas em placas de Petri com iluminante D65, ângulo de visão de 10° para o observador e o modo de calibração RSIN - *Reflectance Specular Included*, conforme descrito por Silva et al.(2022).

## 2.3 OBTENÇÃO E DOSAGEM ENZIMÁTICA

### 2.3.1 Produção do coquetel enzimático rico em xilanase

A produção do coquetel enzimático contendo xilanase foi obtido de acordo com a metodologia proposta por Miranda et al. (2021). Resumidamente, o *Fusarium* sp. EA 1.3.1 foi repicado em tubos de ensaio contendo meio sólido de aveia 4 % (m/v) e ágar 2 % (m/v) (EMERSON, 1941) e incubados à 30 °C em estufa bacteriológica 1.3DTMC (Sterlilifer, Diadema, Brasil), por 96 horas, na ausência de luz. Os esporos do fungo foram suspensos em 8 mL de água destilada estéril e transferidos para *Erlenmeyer* de 125 mL, contendo 25 mL de meio submerso Khanna modificado (1 % de farelo de trigo; 0,10 % de extrato de levedura; 0,03 % de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 0,05 % de  $\text{Mg}.\text{SO}_4.7\text{H}_2\text{O}$  e água destilada

q.s.p.), com pH ajustado para 8,5 em potenciômetro de bancada mPA-210 (Tecnopon, Piracicaba, Brasil). Dessa forma, os *Erlenmeyers* contendo o meio de cultivo e os esporos foram incubados em estufa bacteriológica sob condições estáticas, à 30 °C, por 96 horas na ausência de luz. Após o tempo de incubação, o extrato enzimático foi obtido através da filtração, transferido para tubos Falcon de 50 mL e armazenados à 4 °C em refrigerador DFN41 (Electrolux, Curitiba, Brasil), na ausência de luz.

### 2.3.2 Atividade do coquetel enzimático rico em xilanase e enzima comercial

A atividade da xilanase produzida pelo *Fusarium* sp. EA 1.3.1 e da enzima comercial (SPRING 2002) foi determinada de acordo com a formação de oligossacarídeos redutores a partir da xilana beechwood Sigma® a 1 % (m/v), em tampão acetato de sódio 100 mM (pH 5,5), à 55 °C, por 5 minutos em banho maria SL-150 (Solab, Piracicaba, Brasil), conforme a metodologia de Miller (1959). A quantificação dos oligossacarídeos redutores foi realizada através de uma curva padrão de xilose (0,1 a 1,0 mg / mL). A atividade enzimática foi expressa em unidade U.mL<sup>-1</sup>, considerado a quantidade de enzima necessária para a formação de 1 μmol de açúcar redutor (xilose).

### 2.4 ELABORAÇÃO DOS PÃES

Os pães foram obtidos com base nas formulações descritas na Tabela 1. As massas foram preparadas em panificadora automática Multi Pane (Britânia, Curitiba, Brasil) na programação 1, composta por dois tempos de mistura intercalados pelo descanso da massa (1ª mistura por 10 min, descanso por 20 min e 2ª mistura por 15 min). A massa foi dividida em 4 pães de 225 g, boleada manualmente, modelada e colocada em colocadas em formas de alumínio previamente untadas. Assim, as amostras foram submetidas à fermentação em fermentadora Prática (Technipan, Pouso Alegre, Brasil) por 1,5 horas à 32 °C e 90 % de umidade relativa, seguidas de assamento em forno ConventionLine (Venâncio, Venâncio Aires, Brasil) à 155 ± 1°C por 25 minutos.

Após o assamento, as amostras foram esfriadas à temperatura ambiente, acondicionadas em embalagens de polietileno de baixa densidade e estocados por 24 horas para a realização das análises.

Tabela 1: Formulações dos pães, em base farinha.

Ingrediente	F1	F2	F3	F4	F5
Farinha de trigo (%)	100	95	95	95	95
Farinha de sabugo (%)	-	5	5	5	5
Coquetel xilanólico (U/g de farinha)	-	-	17,34 U/g	-	17,34 U/g
Xilanase comercial (U/g de farinha)	-	-	-	17,34 U/g	-
Sacarose (%)	4	4	4	4	4
Sal (%)	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Fermento biológico instantâneo (%)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Leite em pó integral	44	44	44	44	44
Margarina culinária (%)	4	4	4	4	4
Água (%)	60	60	60	60	60

Fonte: Dos autores, 2022.

## 2.5 CARACTERIZAÇÃO DOS PÃES

As amostras foram analisadas quanto ao volume específico por deslocamento de sementes de painço (método 10-05.01), à umidade por meio de secagem em estufa TE-394/1 (Tecnal, Piracicaba, Brasil) com circulação forçada de ar ( $1 \text{ m.s}^{-1}$ ) em dois estágios (método 44.15.02) e análise de perfil de textura por texturômetro TA-XT Plus (método 74-09.01) (AACCI, 2010). Os parâmetros para o perfil no texturômetro foram de velocidade de pré-teste, teste e pós-teste de  $1 \text{ mm/s}$ ,  $1 \text{ mm/s}$  e  $10,0 \text{ mm/s}$ , respectivamente, limiar de detecção de  $0,049 \text{ N}$  e distância de compressão de  $40 \%$ , utilizando-se duas fatias sobrepostas ( $12 \text{ mm}$  de espessura para cada fatia) (AACCI, 2010).

A atividade de água ( $a_w$ ) foi determinada pela medida direta das amostras em higrômetro Aqualab 4TE Duo (Decagon, Pullman, Estados Unidos) e a medida de altura da fatia central dos pães foi realizada com paquímetro óptico profissional  $150 \text{ mm}$  (Western, Suzhou, China).

Os parâmetros de cor instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) do miolo dos pães foram determinadas conforme descrito no item 2.2.1.2. A diferença de coloração das demais amostras com relação à padrão (F1) ( $\Delta E$ ) foi calculada a partir da Equação 1

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Eq. 1}$$

Os parâmetros de número e tamanho médio dos alvéolos ( $\text{mm}^2$ ) e área da fatia ( $\text{cm}^2$ ) foram obtidos por meio do escaneamento das fatias em impressora digitalizadora MFC-8952DW

(Brother, Ho Chi Minh, Vietnã) e avaliação das imagens em software *Image J*, conforme metodologia adaptada por Tasiguano et al. (2019).

As análises foram realizadas em triplicata, com exceção das análises de textura, as quais foram avaliadas com 10 repetições. Os dados das matérias-primas foram avaliados pelo teste t-Student ( $p < 0,05$ ) e dos pães foram submetidos à análise de variância e, quando diferenças significativas foram observadas, a comparação de médias por meio do teste Tukey foi aplicada, com nível de confiança de 95 %.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SABUGO DE MILHO DE PERICARPO ROXO

A composição centesimal e os parâmetros de cor instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) das farinhas de sabugo roxo e de trigo estão dispostos na Tabela 2. A farinha de trigo atendeu aos parâmetros exigidos pela legislação brasileira com relação aos teores de umidade, proteínas e cinzas, podendo ser classificada como Tipo 1 (BRASIL, 2005).

A farinha de sabugo de milho apresentou composição centesimal distinta da farinha de trigo e suas características como baixo teor de umidade, lipídeos e carboidratos digeríveis podem contribuir para sua conservação. As amostras também diferiram com relação aos parâmetros de cor instrumental, conforme evidenciado pela Figura 1. Observou-se que a farinha de trigo apresentou maior valor de  $L^*$  e menores valores de  $a^*$  e  $b^*$ . A coloração da farinha de trigo está associada a variedade dos grãos e ao grau de extração da mesma no processo de moagem (GUTKOSKI et al., 2011). Por outro lado, a farinha de sabugo apresentou menores valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  por ser oriundo de uma variedade pigmentada de milho, com coloração roxa devido à presença de antocianidinas.

Tabela 2: Composição centesimal e parâmetros de cor instrumental das farinhas sabugo roxo e trigo.

Parâmetro <sup>§</sup>	Farinha de sabugo roxo	Farinha de trigo
Umidade (g.100 g <sup>-1</sup> )	7,67 ± 0,05	13,13 ± 0,07
Carboidratos digeríveis (g.100 g <sup>-1</sup> ) <sup>#</sup>	20,71 ± 0,51	81,50 ± 0,95
Proteínas (g.100 g <sup>-1</sup> ) <sup>#</sup>	1,85 ± 0,24	14,29 ± 0,34
Cinzas (g.100 g <sup>-1</sup> ) <sup>#</sup>	1,68 ± 0,03	0,44 ± 0,01
Lipídios (g.100 g <sup>-1</sup> ) <sup>#</sup>	0,71 ± 0,05	1,72 ± 0,16
Fibras alimentares (g.100 g <sup>-1</sup> ) <sup>#</sup>	75,05 ± 0,56	2,05 ± 0,26
$L^*$	62,45 ± 0,54	92,60 ± 0,01
$a^*$	10,26 ± 0,39	0,10 ± 0,01
$b^*$	19,04 ± 0,23	10,65 ± 0,01

Fonte: Dos autores, 2022.

<sup>§</sup>Todos os parâmetros apresentaram diferiram estatisticamente pelo teste t-Student ( $p < 0,05$ ). <sup>#</sup> Base seca.

Figura 1: Farinha de trigo e farinha sabugo de milho roxo.



Fonte: Dos autores, 2022.

De acordo com Silva et al. (2022), as antocianinas provenientes de fontes naturais a partir de matérias-primas não convencionais como resíduos e coprodutos agroindustriais são promissoras para a aplicação na indústria de alimentos em substituição aos corantes artificiais, cuja aceitabilidade tem decaído nos últimos anos devido aos fatores como estilo de vida, adoção de dietas mais saudáveis e risco de patologias associadas ao consumo de produtos com adição de corantes sintéticos.

Dessa forma, além do enriquecimento de alimentos com fibras alimentares não convencionais, o sabugo de milho roxo apresenta-se como uma alternativa viável, abundante e de baixo custo para a extração de corante natural.

## 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PÃES

### 3.2.1 Umidade e atividade de água

As amostras não diferiram com relação aos teores de umidade e atividade de água (Tabela 3). A  $a_w$  se manteve acima de 0,90, valor característico em pães de forma. No entanto, essa disponibilidade de água no produto o torna mais susceptível ao desenvolvimento de micro-organismos indesejáveis, principalmente fungos (bolores), o que impacta direto na redução da vida de prateleira (NEVES *et al.*, 2020a).

Tabela 3: Teores de umidade e atividade de água das amostras.

Ensaio	Umidade (%) <sup>ns</sup>	Atividade de água <sup>ns</sup>
F1	34,44 ± 0,04	0,966 ± 0,002
F2	34,87 ± 0,42	0,963 ± 0,002
F3	33,87 ± 0,14	0,967 ± 0,001
F4	34,17 ± 0,73	0,964 ± 0,001
F5	35,24 ± 0,06	0,966 ± 0,001

Valores correspondentes à média aritmética de quatro repetições ± desvio padrão. ns – não significativo.

F1: padrão; F2: 5 % de farinha de sabugo de milho; F3: 5 % de farinha de sabugo de milho e xilanase comercial; F4: 5 % de farinha de sabugo de milho e coquetel xilanólico produzido pelo *Fusarium* sp. EA 1.3.1; F5: adição do coquetel xilanólico produzido pelo *Fusarium* sp. EA 1.3.1.

Fonte: Dos autores, 2022.

No presente trabalho observou-se que não houve alteração nos teores de umidade das amostras. De acordo com Shah et al. (2006), a umidade para pães de forma deve estar idealmente entre 35-40 %, o que vai de encontro aos valores obtidos no presente estudo em que a umidade dos ensaios ficou em torno de 34,52 %.

Embora a hidrólise das arabinosilanas insolúveis presentes nas farinhas de trigo e sabugo promovam a redistribuição da água na massa, os ensaios não apresentaram diferença significativa com relação à umidade. As arabinosilanas solúveis tendem a promover a formação de gel através das ligações de hidrogênio formada com a água, o que favoreceu a retenção da umidade dentro do miolo dos pães (SILVA et al., 2016). Assim, para o pão fresco, a umidade do miolo é um indicativo de maciez e qualidade do produto.

### 3.2.2 Volume específico e análise de imagem

O volume específico é o principal parâmetro de qualidade do pão, sendo uma variável crítica quando se tem a adição de farinhas ricas em fibras alimentares, como é o caso da farinha de sabugo de milho que possui  $\frac{3}{4}$  de fibras alimentares na composição centesimal (Tabela 2).

Tabela 4: Volume específico, altura da fatia central e análise alveolar dos pães.

Análises	F1	F2	F3	F4	F5
<b>Volume específico (cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup>)</b>	3,94 ± 0,06 <sup>a</sup>	3,47 ± 0,26 <sup>b</sup>	3,72 ± 0,06 <sup>ab</sup>	3,94 ± 0,06 <sup>a</sup>	3,29 ± 0,06 <sup>c</sup>
<b>Altura da fatia central (cm)</b>	6,89 ± 0,27 <sup>a</sup>	6,38 ± 0,30 <sup>b</sup>	6,56 ± 0,13 <sup>ab</sup>	6,87 ± 0,13 <sup>a</sup>	6,23 ± 0,16 <sup>c</sup>
<b>Número de alvéolos<sup>ns</sup></b>	565 ± 79	580 ± 4	554 ± 75	562 ± 32	551 ± 49
<b>Tamanho dos alvéolos (mm<sup>2</sup>)<sup>ns</sup></b>	0,193 ± 0,063	0,165 ± 0,037	0,146 ± 0,023	0,138 ± 0,024	0,170 ± 0,043
<b>Área da fatia (cm<sup>2</sup>)</b>	4173 ± 274 <sup>a</sup>	4118 ± 213 <sup>a</sup>	3961 ± 115 <sup>a</sup>	4122 ± 81 <sup>a</sup>	3577 ± 127 <sup>b</sup>

Médias com letras distintas na mesma linha apresentam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey. Legenda: F1: padrão; F2: 5 % de farinha de sabugo de milho; F3: 5 % de farinha de sabugo de milho e xilanase comercial; F4: 5 % de farinha de sabugo de milho e coquetel xilanolítico produzido pelo *Fusarium* sp. EA 1.3.1; F5: adição do coquetel xilanolítico produzido pelo *Fusarium* sp. EA 1.3.1.

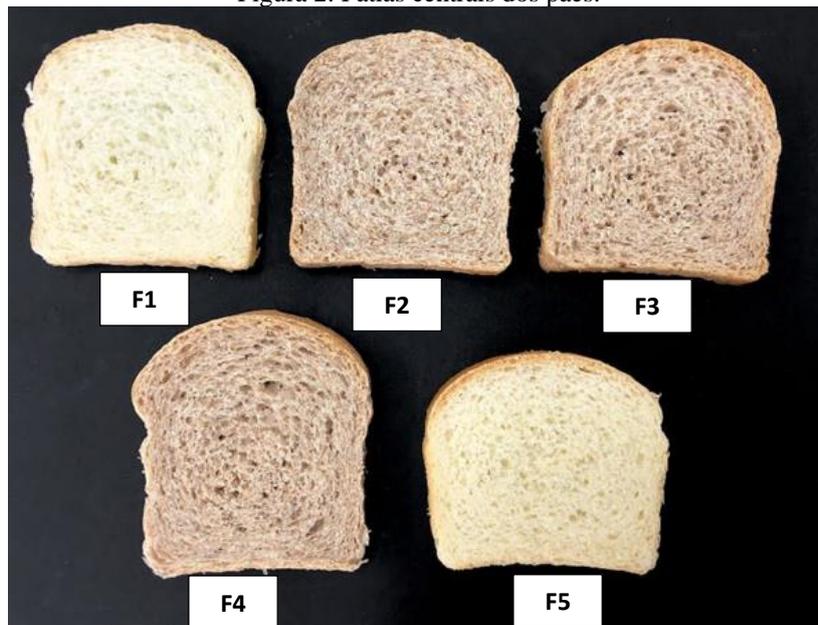
Fonte: Dos autores, 2022.

Com base na Tabela 4 observou-se que a substituição parcial da farinha de trigo pela farinha de sabugo de milho ocasionou redução de 12 % no volume e 7,4 % na altura da fatia central da amostra F2 com relação ao padrão (F1). Esse resultado pode ser atribuído à diluição das proteínas responsáveis pela formação da rede de glúten, bem como pela competição da farinha de sabugo com o trigo pela absorção de água da formulação devido ao grande número de grupos hidroxilas que permitem mais interações com a água por ligações de hidrogênio, o que prejudica a hidratação das proteínas do trigo responsáveis pela formação da rede de glúten (SCHMIELE et al., 2017). Assim, observou-se que a substituição parcial da farinha de trigo pela farinha de sabugo promoveu impacto negativo no volume específico e altura da fatia central da amostra, que são diretamente proporcionais. Nesse sentido, o tamanho e o formato das partículas da farinha de sabugo ocasionam a ruptura física da massa durante o processo de expansão, que por sua vez retém menos gás carbônico durante o processo de fermentação, bem como no salto de forno.

Além disso, as formulações com substituição parcial da farinha de trigo por farinhas isentas das proteínas formadoras do glúten podem ser suplementadas com glúten vital ou com adição de enzimas oxidantes (glicose oxidase e hexose oxidase) para minimizar os impactos deletérios no volume específico e, conseqüentemente, na textura dos pães (NASCIMENTO et al., 2022).

Por outro lado, observou-se que as formulações F3 e F4 (Tabela 4) não apresentaram diferença significativa do volume específico e altura da fatia central quando comparadas ao padrão devido à ação enzimática da xilanase comercial (F3) e do coquetel produzido pelo *Fusarium* sp. EA 1.3.1 (F4), o que ficou evidenciado na Figura 2.

Figura 2: Fatias centrais dos pães.



F1: padrão; F2: 5 % de farinha de sabugo de milho; F3: 5 % de farinha de sabugo de milho e xilanase comercial; F4: 5 % de farinha de sabugo de milho e coquetel xilanolítico produzido pelo *Fusarium* sp. EA 1.3.1; F5: adição do coquetel xilanolítico produzido pelo *Fusarium* sp. EA 1.3.1.

Fonte: Dos autores, 2022.

A aplicação das xilanase comercial na panificação é amplamente explorado. No entanto, fontes novas para produção da enzima apresenta grande potencial para inovação biotecnológica. A hidrólise das arabinoxilanas promoveu maiores proporções de fibras solúveis, o que ocasionou melhoria da distribuição da água na massa e implicou em melhor hidratação, desenvolvimento e estabilidade da rede de glúten. Assim, a suplementação com xilanase é capaz de promover a formação de uma massa mais flexível e estável, com maior capacidade de expansão e volume específico do produto final (OLIVEIRA et al., 2014; SILVA et al., 2016). Além disso, com a hidrólise enzimática ao longo da fermentação pode ocorrer a formação de xilo-oligossacarídeos, que são compostos prebióticos, os quais estimulam o crescimento seletivo de micro-organismos benéficos no colón em prol da saúde do consumidor (CHAPLA et al., 2012).

Além disso, as xilanases também promovem a liberação de açúcares fermentescíveis à levedura, o que provavelmente contribuiu para maior produção de dióxido de carbono pelas leveduras durante a fermentação alcoólica, resultando em maior expansão da massa e volume do produto final.

No caso das xilanases fúngicas, o micro-organismo e a fonte de carbono utilizada interferem nas características e na especificidade enzimática, o que impossibilita a comparação com outras xilanases microbianas utilizadas na panificação descritas na

literatura. Além disso, os micro-organismos geralmente produzem mais de um tipo de enzima devido à heterogeneidade de materiais existentes na natureza. Dessa forma, o extrato enzimático bruto produzido pelo fungo filamentoso *Fusarium* sp. EA 1.3.1 pode conter outras enzimas além da xilanase, como amilases e proteases. As enzimas amilolíticas, em baixas concentrações, podem favorecer o processo de fermentação pela parcial hidrólise do amido em dextrinas. Mas em concentrações superiores podem resultar na diminuição da viscosidade da massa, proporcionando miolos mais escuros e com maior pegajosidade. As enzimas proteolíticas podem atuar de forma a enfraquecer a rede de glúten e resultar em pães com parâmetros de volume, textura e estrutura alveolar deficientes (CAUVAIN, 2015).

Contudo, no sabugo de milho há a presença de compostos antinutricionais, como por exemplo o ácido fítico, o qual pode ter inibido a ação das proteases através da formação de complexos na formulação F4, o que não ocorreu na formulação F5, a qual apresentou menor volume específico e altura da fatia.

Por outro lado, a hidrólise excessiva das arabinoxilanas implica em massas com umidade e pegajosidade excessiva e enfraquecimento da rede de glúten (MCCLEARY, 1986). De acordo com Oliveira et al. (2014), os efeitos da xilanase em panificação depende de alguns fatores como o tipo e quantidade de arabinoxilanas presentes na formulação, especificidade da enzima e dosagem adicionada.

Assim, tanto a dosagem utilizada quanto a presença de outras enzimas no coquetel enzimático utilizado podem ter contribuído para a redução do volume específico e estrutura alveolar deficiente da amostra F5. Desta forma, a amostra F5 apresentou menor volume específico e altura da fatia central. Esses resultados podem ser atribuídos à possível existência de outras enzimas no extrato enzimático bruto (como amilases e proteases) e/ou devido a dosagem adicionada que pode ter hidrolisado de forma excessiva as arabinoxilanas, promovendo uma maior alteração na viscosidade da massa, resultando em pães com parâmetros de textura deficiente.

No entanto, apesar das diferenças no volume específico e altura da fatia central observadas, a incorporação de 5 % de farinha de sabugo e/ou suplementação pelo coquete xilanolítico ou pela enzima comercial não influenciaram nos dados da análise de imagem das fatias (Tabela 4), o que reflete em características satisfatórias, exceto para a área da fatia. Observou-se que não ocorreu alteração no tamanho dos alvéolos e do número de alvéolos entre as amostras. No entanto, a amostra F5 apresentou uma área da fatia menor que as demais amostras, o que é um indicativo de que ocorreu uma menor incorporação

de ar e aprisionamento de CO<sub>2</sub> na massa e redução da expansão de gás durante o salto de forno (NEVES et al., 2020b).

### 3.2.3 Textura instrumental

A textura é um dos principais parâmetros sensoriais dos produtos de panificação e está diretamente relacionado ao volume específico e à estrutura alveolar. Amostras com menores volumes e estrutura alveolar deficientes, geralmente tendem a apresentar miolo com valores de firmeza e dureza elevados.

A análise de perfil de textura instrumental (TPA) é a mais usual para produtos de panificação e é baseada na reprodução do processo de mastigação, sendo utilizada como parâmetro de processo industrial e pode ser correlacionada à possível aceitação sensorial do consumidor. Assim, o perfil de textura instrumental está relacionado à composição, estrutura, geometria e propriedades físico-químicas do alimento (TEOTÔNIO et al. 2021). Assim, é desejável que pães com boa qualidade de textura apresentem parâmetros de firmeza, dureza pouco expressivos, o que é um indicativo de maciez do produto. Os parâmetros de gomosidade (força necessária aplicada na mastigação até o ponto de deglutição do alimento), a mastigabilidade (tempo necessário para desintegrar a amostra até o ponto de engolir) e a coesividade (força necessária para a ruptura do alimento) devem ser minimizados para a obtenção de um produto com boas características sensoriais de textura. No entanto, espera-se que os valores de resiliência (capacidade da amostra em retornar à posição inicial após a compressão) e a elasticidade (percentual de recuperação de altura após a compressão do primeiro ciclo de compressão) sejam maximizados no produto (TEOTÔNIO et al. 2021; TORBICA et al., 2019).

O efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha isentas de glúten ficou evidente na textura do produto (Tabela 5). De acordo com Švec e Hruškov (2010), as fibras alimentares alteram a tenacidade e a extensibilidade da massa, o que promove menor retenção dos gases provenientes da fermentação e, conseqüentemente, tem efeito deletério no volume específico e na textura do produto final, como foi observado no presente trabalho.

Tabela 5: Dados para a análise de perfil de textura dos pães.

Ensaio	Firmeza (N)	Dureza (N)	Coesividade (%)	Resiliência (%)
F1	6,35 ± 0,59 <sup>c</sup>	4,49 ± 0,37 <sup>c</sup>	61,76 ± 2,09 <sup>a</sup>	27,39 ± 0,91 <sup>a</sup>
F2	7,45 ± 0,28 <sup>a</sup>	5,40 ± 0,37 <sup>b</sup>	54,75 ± 1,85 <sup>b</sup>	21,55 ± 0,96 <sup>d</sup>
F3	7,49 ± 0,67 <sup>a</sup>	5,48 ± 0,48 <sup>b</sup>	54,34 ± 1,12 <sup>b</sup>	21,96 ± 0,68 <sup>d</sup>
F4	6,30 ± 0,29 <sup>c</sup>	4,69 ± 0,23 <sup>c</sup>	56,88 ± 1,50 <sup>c</sup>	24,10 ± 0,76 <sup>c</sup>
F5	7,39 ± 0,33 <sup>b</sup>	7,39 ± 0,33 <sup>a</sup>	56,70 ± 0,89 <sup>c</sup>	25,27 ± 0,59 <sup>b</sup>
Ensaio	Elasticidade (%)	Gomosidade (N)	Mastigabilidade (N)	
F1	91,35 ± 1,43 <sup>a</sup>	3,92 ± 0,35 <sup>b</sup>	3,58 ± 0,32 <sup>b</sup>	
F2	85,06 ± 1,21 <sup>c</sup>	4,25 ± 0,17 <sup>b</sup>	3,67 ± 0,18 <sup>b</sup>	
F3	85,24 ± 0,63 <sup>c</sup>	4,07 ± 0,36 <sup>b</sup>	3,64 ± 0,30 <sup>b</sup>	
F4	88,58 ± 0,62 <sup>b</sup>	3,65 ± 0,16 <sup>b</sup>	3,24 ± 0,15 <sup>c</sup>	
F5	88,02 ± 0,35 <sup>b</sup>	5,63 ± 0,21 <sup>a</sup>	4,97 ± 0,16 <sup>a</sup>	

Médias com letras distintas na mesma coluna apresentam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey. Legenda: F1: padrão; F2: 5 % de farinha de sabugo de milho; F3: 5 % de farinha de sabugo de milho e xilanase comercial; F4: 5 % de farinha de sabugo de milho e coquetel xilanolítico produzido pelo *Fusarium* sp. EA 1.3.1; F5: adição do coquetel xilanolítico produzido pelo *Fusarium* sp. EA 1.3.1.

Fonte: Dos autores, 2022.

Dessa forma, os efeitos deletérios no volume específico ocasionados pela substituição parcial da farinha de trigo por farinha de sabugo, dosagem enzimática e/ou presença de outras enzimas, também ficaram evidentes na análise de textura das amostras. Com base na Tabela 5, observou-se que a adição da farinha de sabugo (Ensaio F2) promoveu aumento significativo da firmeza (N) (força necessária para a compressão de  $\frac{3}{5}$  da compressão) e da dureza (N) do miolo (força necessária para deformar 40 % da amostra). A xilanase comercial (Ensaio F3), embora tenha proporcionado efeito positivo no volume das amostras, não foi capaz de reverter o impacto negativo das fibras da farinha de sabugo nos parâmetros de textura instrumental analisados. Assim, esses resultados podem ser ratificados pela redução da resiliência e semelhança entre a gomosidade e mastigabilidade das amostras F2 e F3.

Por outro lado, o ensaio com adição do coquetel xilanolítico (F4) não diferiu da amostra controle com relação à firmeza e dureza e apresentou valores superiores de coesividade, elasticidade e resiliência quando comparado às amostras F2 e F3, as quais tiveram a adição de farinha de sabugo e farinha de sabugo com xilanase comercial, em respectivo. Assim, o coquetel xilanolítico fúngico apresentou resultados mais satisfatórios quando comparado à xilanase comercial (F3), nas condições estudadas. Dessa forma é preferível a utilização do extrato enzimático bruto produzido pelo *Fusarium* sp. EA 1.3.1, o qual apresentou melhores resultados em relação à enzima comercial, além de ser de baixo custo e fácil obtenção.

Contudo, os efeitos deletérios ocasionados pela dosagem e/ou presença de outras enzimas no extrato enzimático fúngico observados no volume específico da amostra F5,

também tiveram impacto nos parâmetros de textura instrumental. Observou-se um aumento da firmeza, da dureza, da gomosidade e da mastigabilidade, bem como a redução da coesividade e da resiliência. Assim, com base nos parâmetros de textura apresentados, a amostra F5 apresentou maciez deficiente e requer maior força e tempo de mastigação até o ponto de deglutição (gomosidade e mastigabilidade, em respectivo), o que são aspectos indesejáveis.

### 3.2.4 Cor instrumental

A coloração da crosta e do miolo é um dos parâmetros que determinam a aceitabilidade sensorial dos produtos de panificação. De acordo com Ghoshal, Shivhare e Banerjee (2016), cor clara do interior do pão é um indicativo de qualidade do produto quando se utiliza farinha refinada. Com base na Tabela 6, observou-se uma redução de 20,50, 24,00 e 23,30 % da luminosidade da amostra F2, F3 e F4 com relação ao controle (F1), em respectivo, indicando escurecimento do produto em função da adição da farinha de sabugo. Esta redução é característica de produtos de panificação ricos em fibras não convencionais, desde que não sejam fibras brancas como inulina, fruto-oligossacarídeo, amido resistente, fibra de bambu, entre outras. A coloração vermelha ( $+a^*$ ) do miolo também foi intensificada com a adição da farinha de sabugo em função das antocianinas presentes.

As amostras também apresentaram redução significativa da cor amarela ( $+b^*$ ) pela diluição dos carotenoides presentes na farinha de trigo. Este resultado foi mais acentuado nas amostras F3 e F4 devido à ação enzimática pela maior liberação de açúcares redutores, favorecendo o escurecimento devido à reação de Maillard. No presente estudo, os ensaios com adição da farinha de sabugo de milho roxo e/ou coquetel rico em xilanase produzido pelo fungo filamentoso *Fusarium* sp. EA 1.3.1 ou enzima comercial apresentaram variação instrumental de cor ( $\Delta E$ ) maior que 5, que é um indicativo de que avaliadores não treinados conseguem diferenciar a amostra do padrão com relação a cor (MOKRZYCKI, TATOL, 2011), evidenciado pela Figura 2.

Tabela 6: Parâmetros de cor instrumental dos pães.

Ensaio	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
F1	$83,46 \pm 0,89^a$	$-0,04 \pm 0,01^d$	$19,92 \pm 0,47^b$	-
F2	$66,36 \pm 0,53^b$	$4,54 \pm 0,09^b$	$16,04 \pm 0,18^c$	$18,12 \pm 0,51^b$
F3	$63,45 \pm 0,73^c$	$4,96 \pm 0,17^a$	$16,76 \pm 0,17^c$	$20,86 \pm 0,73^a$
F4	$64,02 \pm 0,25^c$	$5,00 \pm 0,07^a$	$16,66 \pm 0,31^c$	$20,35 \pm 0,22^a$
F5	$82,78 \pm 0,95^a$	$0,34 \pm 0,16^c$	$21,07 \pm 0,48^a$	$1,50 \pm 0,87^c$

Médias com letras distintas na mesma coluna apresentam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey. Legenda: F1: padrão; F2: 5 % de farinha de sabugo de milho; F3: 5 % de farinha de sabugo de milho e xilanase comercial; F4: 5 % de farinha de sabugo de milho e coquetel xilanolítico produzido pelo *Fusarium* sp. EA 1.3.1; F5: adição do coquetel xilanolítico produzido pelo *Fusarium* sp. EA 1.3.1.

Fonte: Dos autores, 2022.

## 4 CONCLUSÃO

A substituição parcial em 5 % da farinha de trigo pela farinha de sabugo em formulações de pães de forma promoveu impactos negativos nos parâmetros instrumentais do produto, principalmente no volume específico e na textura. No entanto, a adição da farinha de sabugo em associação com o coquetel rico em xilanase produzido pelo fungo *Fusarium* sp. EA 1.3.1 em formulações de pães de forma mostrou-se viável e com potencial para a melhoria do apelo nutricional e dos aspectos tecnológicos e parâmetros instrumentais do produto final. Assim, o coquetel enzimático utilizado é promissor para a aplicação em produtos de panificação por ter a capacidade de atuação mesmo submetido às condições adversas do processo. No entanto, a dosagem enzimática deve ser otimizada para evitar impactos negativos sob as características tecnológicas e sensoriais para obtenção de um produto final com qualidade nutricional e características atrativas ao consumidor.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UFVJM e à UFV pelo suporte institucional, ao projeto Milho Crioulo pela doação do material, à Capes pelo apoio financeiro (#001) e pela bolsa de estudos de I. Andressa (#88887.677794/2022-00), à UFVJM pela bolsa de estudos de L. E. P. Silva (cota institucional), ao CNPq pelas bolsas de estudos de G. K. S. Nascimento (#146772/2020-2) e T. M Santos (#138128/2022-7) e à FAPEMIG pela bolsa de estudos de S. M. Rodrigues (#7624).

## REFERÊNCIAS

AACCI. American Association of Cereal Chemists International. **Approved Methods of American Association of Cereal Chemists**. 11 ed. São Paulo, AACCC, 2010.

ABDULLAH, M. M., ALDUGHPASSI, A.D.H., SIDHU, J. S., AL-FOUDARI, M. Y., AL-OTHMAN, A.R.A. Effect of psyllium husk addition on the instrumental texture and consumer acceptability of high-fiber wheat pan bread and buns. **Annals of Agricultural Sciences**. v. 66, n. 1, p. 75–80, 2021. DOI: 10.1016/j.aos.2021.05.002

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 8, de 03 junho de 2005. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 jun. 2005. Seção 1, n. 105, 9.91.

CAUVAIN, S. Technology of Breadmaking. 3 ed. **Springer International Publishing Switzerland**, p. 408, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14687-4>

EMERSON, R. An experimental study of the life cycles and taxonomy of Allomyces. **Lloydia**, v. 4, n.1, p. 77-144, 1941.

GUTKOSKI, L. C., DURIGON, A., MAZZUTTI, S., CEZARE, K., COLLA, L. M. Influência do tipo de farinha de trigo na elaboração de bolo tipo inglês. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 4, p. 275-282, 2011. DOI:10.4260/BJFT2011140400033

MCCLEARY, B. V. Enzymatic modification of plant polysaccharides. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 8, n.6, p. 349–354, 1986. DOI: 10.1016/0141-8130(86)90054-1

MOKRZYCKI, W., TATOL, M. Color difference Delta E –A survey. **Machine Graphics and Vision**, v. 20, n. 4, p. 383–411, 2011.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3 p. 426-428, 1959. DOI: 10.1021/ac60147a030

MIRANDA, A. G., DE OLIVEIRA, T. M. F. S., DE LUCAS, R. C., NELSON, D. L., ROA, J. P. B., BENASSI, V. M. Immobilization in Spheres of a Cocktail Rich in Xylanase Produced by the Fungus *Fusarium* sp. EA 1.3.1 for Hydrolysis of Sugarcane Bagasse. **Advances in Bioscience and Biotechnology**, v.12, n. 12, p. 436–457, 2021. DOI: 10.4236/abb.2021.1212028

NASCIMENTO, G. K. S., SANTOS, T. M., DA SILVA, L. E. P., RODRIGUES, S. M., LIMA, C. T., ANDRESSA I., SCHMIELE, M, SILVA, M. S. Elaboração de pães de forma com adição de proteína texturizada de soja, glúten vital e transglutaminase. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Tecnologia de Cereais e Panificação**. Sete Lagoas (MG), 2022.

NEVES, N. A., GOMES, P. T. G., CARMO, E. M. R., SILVA, B. S., AMARAL, T. N., SCHMIELE, M. Sourdough and jaboticaba (*Plinia cauliflora*) for improvement

on pan bread characteristics. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-27, 2020a. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.8036

NEVES, N. DE A., GOMES, P. T. G., SCHMIELE, M. An exploratory study about the preparation and evaluation of sourdough breads with araticum pulp (*Annona crassiflora* Mart.). **Research, Society and Development**, v. 9, e956998036, 2020b. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.8036

NOGUEIRA, E. A., OLIVERIA, T. M., AMORIM, I. C., OLIVEIRA, T. B., NELSON, D.L., BENASSI, V.M. Otimização das condições de cultivo do fungo filamentoso *Fusarium* sp. EA 1.3.7 para produção de xilanases. **Biotemas**, v. 34, n.1, p 1-16, 2021. DOI: 10.5007/2175-7925.2021.e77440.

OLIVEIRA, D.S., TELIS-ROMERO, J., DA-SILVA, R., FRANCO, C.M.L. Effect of a *Thermoascus aurantiacus* thermostable enzyme cocktail on wheat bread quality. **Food Chemistry**, v. 143, n. 1, p. 139–146, 2014. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.07.103

PASQUALONE, A., LADDOMADA, B., CENTOMANI, I., PARADISO, V. M., MINERVINI, D., CAPONIO, F., SUMMO, C. Bread making aptitude of mixtures of re-milled semolina and selected durum wheat milling by-products. **Food Science and Technology**, v. 78, n. 1, p. 151-159, 2017. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.12.032

SANTOS, T. M., NASCIMENTO, G. K. S., NEVES, N. A., ANDRESSA, I., SCHMIELE, M. Potencial da farinha de sabugo de milho como substituinte parcial da farinha de trigo em muffins. **SICITAL - Simpósio de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 2022.

SHAH, A. R., SHAH, R. K., MADAMWAR, D. Improvement of the quality of whole wheat bread by supplementation of xylanase from *Aspergillus foetidus*. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 16, 2047–2053, 2006. DOI:10.1016/j.biortech.2005.10.006

SILVA, C. B., ALMEIDA, E. L., CHANG, Y. K. Interaction between xylanase, glucose oxidase and ascorbic acid on the technological quality of whole wheat bread. **Ciência Rural**, v. 46, n.12, p: 2249-2256, 2016. DOI: 10.1590/0103-8478cr20151587

SCHMIELE M., FELISBERTO M. H. F., CLERICI M. T. P. S., CHANG Y. K. Mixolab™ for rheological evaluation of wheat flour partially replaced by soy protein hydrolysate and fructooligosaccharides for bread production. **Food Science and Technology**, v. 76, p. 259-269, 2017. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.07.014

SILVA, I. M., ROCHA, L. O. F., SCHMIELE, M., NEVES, N. A. Obtenção de corante natural de antocianinas extraídas de capim-gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.) e estudo da aplicação em iogurtes. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, e9811326230, 2022. DOI:10.33448/rsd-v11i3.26230

SILVA, J. D. R., ROSA, G. C., NEVES, N. DE A., LEORO, M. G. V., SCHMIELE, M. Production of sourdough and gluten-free bread with brown rice and carioca and cowpea beans flours: biochemical, nutritional and structural characteristics. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 16, e303101623992, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i16.23992

ŠVEC, I., HRUKOV, M. Evaluation of wheat bread features. **Journal of Food Engineering**, v. 9, n. 4, p. 505-510, 2010. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2009.09.022

TASIGUANO, B. L., VILLARREAL, C., SCHMIELE, M., VERNAZA, M. G. Efecto del tiempo de cocción del zapallo (*Cucurbita maxima*) y la adición de glucosa oxidasa en el aumento de almidón resistente del pan de molde. **Información Tecnológica**, v. 30, n. 3, p. 167–178, 2019. DOI: 10.4067/S0718-07642019000300167

TEBBEN, L., SHEN, Y., LI, Y. Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 81, n. 1, p. 10–24, 2018. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.08.015.

TEOTÔNIO, D. O., RODRIGUES, S. M., LEORO, M. G. V., PEREIRA, P. A. P., SCHMIELE, M. Potentialities of using cryoprotectants in gluten-free frozen dough and microwave baking as an emerging technology. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e12410615674, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.15674

TORBICA, A., RADOSAVLJEVIĆ, M., BELOVIĆ, M., DJUKIĆ N., MARKOVIĆ, S. Overview of nature, frequency and technological role of dietary fibre from cereals and pseudocereals from grain to bread. **Carbohydrate Polymers**, v. 290, e 119470, 2022. DOI: 10.1016/j.carbpol.2022.119470

VERDÚ, S., BARAT, J. M., GRAU, R. Improving bread-making processing phases of fibre-rich formulas using chia (*Salvia hispanica*) seed flour. **Food Science and Technology**, v. 84, p. 419-425, 2017. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.06.007

XU, J., LI, J., ZHAO Y., WANG, D., WANG, W. Influence of antioxidant dietary fiber on dough properties and bread qualities: A review. **Journal of Functional Foods**, v. 80, e 104434, 2021. DOI: 10.1016/j.jff.2021.104434

YEGIN, S., ALTINEL, B., TULUK, K. A novel extremophilic xylanase produced on wheat bran from *Aureobasidium pullulans* NRRL Y-2311-1: Effects on dough rheology and bread quality. **Food Hydrocolloids**, v. 81, p. 389-397, 2018. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.03.012