



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS (PPGCTA)

OSVALDO PEREIRA CARLOS MUHALA

**Enriquecimento da Xima (alimento nativo da África oriental) com
extrato de licopeno e β -caroteno do tomate**

Goiânia

2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese

2. Nome completo do autor

Oswaldo Pereira Carlos Muhala

3. Título do trabalho

ENRIQUECIMENTO DA XIMA (Alimento nativo da África Oriental) COM EXTRATO DE LICOPENO E B-CAROTENO DO TOMATE

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO*

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
 - b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.
- O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por Eduardo Ramirez Asquieri, Professor do Magistério Superior, em 13/04/2026, às 10:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Oswaldo Pereira Carlos Muhala, Discente, em 14/04/2026, às 13:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 6125005 e o código CRC 33B4FBE4.

OSVALDO PEREIRA CARLOS MUHALA

Enriquecimento da Xima (alimento nativo da África oriental) com extrato de licopeno e β -caroteno do tomate

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Escola de Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como exigência para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos

Orientador: Professor Doutor Eduardo Ramirez Asquieri

Coorientadora: Professora Doutora Aline Gomes Moura e Silva

Goiânia

2026

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

muhalá, osvaldo Pereira Carlos Muhala
ENRIQUECIMENTO DA XIMA (Alimento nativo da África Oriental) COM
EXTRATO DE LICOPENO E B-CAROTENO DO TOMATE [manuscrito] / osvaldo
Pereira Carlos Muhala muhalá. - 2025.
C, 100 f.: il. 2025

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Ramirez Asquieri; co-orientadora: Dra. Aline Gomes Moura e Silva

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Goiânia, 2025.

Ilustrações.

Bibliografia.

Inclui: siglas, símbolos, tabelas, gráfico, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Milho (zea Mays L.). 2. Xima. 3. Maceração. 4. Carotenoides. 5. Alimentos Funcionais.

I. Asquieri, Eduardo Ramirez , orient. II. Moura e Silva, Aline Gomes , co-orient. III. Título.

CDU 664



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 35/2026 da sessão de Defesa de Dissertação de Osvaldo Pereira Carlos Muhala, que confere o título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, na área de concentração em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aos três dias do mês de março de dois mil e vinte e seis, a partir das 09h, no Auditório da Faculdade de Farmácia/UFG, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada "EXTRAÇÃO DE LICOPENO E -CAROTENO DO TOMATE POR MACERAÇÃO E PERCOLAÇÃO E SUA APLICAÇÃO EM XIMA (ALIMENTO NATIVO DA ÁFRICA ORIENTAL)". Os trabalhos foram instalados pelo orientador, Professor Doutor Eduardo Ramirez Asquieri (FF/UFG), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Doutora Gabriella Leite Magalhães, membro titular externo; e Professora Doutora Patrícia Amaral Souza (FANUT/UFG), membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato aprovado pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Eduardo Ramirez Asquieri, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos três dias do mês de março de dois mil e vinte e seis.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

ENRIQUECIMENTO DA XIMA (Alimento nativo da África Oriental) COM EXTRATO DE LICOPENO E B-CAROTENO DO TOMATE



Documento assinado eletronicamente por Eduardo Ramirez Asquieri, Professora do Magistério Superior, em 10/03/2026, às 20:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Gabriella Leite Magalhães, Usuário Externo, em 10/03/2026, às 21:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Patrícia Amaral Souza, Professora do Magistério Superior, em 11/03/2026, às 13:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 6043250 e o código CRC 02FCA0AB.

Dedico...

A Deus, que me guiou pelo melhor caminho e me concedeu força e sabedoria para concluir este projeto.

Aos meus pais, Carlos Alfredo Muhala e Arlinda Herculano, pelo amor, apoio e ensinamentos.

Aos meus irmãos, Ivandro Muhala, Valdemiro Muhala, Fátima Muhala, Elisete Muhala e Carmita Muhala, pela união e incentivo constante.

À minha namorada, Rosita, e aos meus amigos Ernizio e Armando, que sempre acreditaram em mim e não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

A toda a minha família e amigos, pelo apoio, encorajamento e presença ao longo desta caminhada.

Filipenses 4:13

“Tudo posso naquele que me fortalece.”

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, coragem e amparo ao longo desta longa caminhada. Sem a fé que deposito n'Ele, não teria sido possível chegar até aqui.

Aos meus pais, Carlos Muhala e Arlinda Herculano, a quem dedico o mais profundo agradecimento, por estarem sempre ao meu lado, pelo esforço incansável em tornar este percurso mais leve e por todo amor, cuidado e apoio. Vocês são os meus maiores exemplos de vida.

Aos meus irmãos, Ivandro Muhala, Valdemiro Muhala, Fátima Muhala, Elisete Muhala e Carmita Muhala, pela união, incentivo constante e por caminharem sempre comigo.

À minha namorada, Rosita Lino dos Santos, e aos meus amigos Ernizio Francisco Gibante e Armando Alberto Marasse, por acreditarem em mim e por todo o apoio ao longo desta jornada.

Aos meus familiares, pela compreensão nos momentos de ausência e pelo apoio silencioso, mas essencial.

À minha colega Flor de Maria Moncada Reyes, pelos momentos vividos, pela partilha de experiências e pelas memórias que levarei para sempre.

Ao meu orientador, Professor Doutor Eduardo Ramirez Asquieri, pela competência, sabedoria e orientação dedicada. Sou profundamente grato pela oportunidade de desenvolver este trabalho sob sua orientação, que certamente contribuiu para o meu crescimento profissional. À minha coorientadora, Aline Gomes Moura e Silva, pela paciência, ensinamentos e constante disponibilidade em ajudar.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pelo conhecimento transmitido e pelo apoio ao longo desta trajetória, em especial à professora Tatianne Ferreira de Oliveira, pelos valiosos ensinamentos.

Aos meus colegas de turma, Mércio Escânio Luis, Marivania Crispim e Flor de Maria, pelos momentos compartilhados de alegria, desafios e superação e pela amizade que levarei para toda a vida.

À Faculdade de Farmácia, ao Laboratório de Química e Bioquímica de Alimentos e à Universidade Federal de Goiás, pela infraestrutura e suporte fundamentais para a realização deste trabalho e para a minha formação profissional.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste projeto.

A todos vocês, o meu mais sincero muito obrigado.

PREFÁCIO

O presente trabalho surge no contexto da busca por soluções nutricionais acessíveis e eficazes para a melhoria da qualidade de vida da população moçambicana, especialmente diante do crescente cenário de envelhecimento precoce e de doenças associadas ao estresse oxidativo. A ideia que deu origem a esta pesquisa emergiu de forma simples, porém significativa, motivada pela necessidade de contribuir para o fortalecimento da segurança alimentar e nutricional em Moçambique, por meio da fortificação de alimentos amplamente consumidos, como a Xima.

O desenvolvimento deste estudo representou um grande desafio pessoal e acadêmico. No início da trajetória, a adaptação ao ambiente laboratorial revelou-se particularmente exigente, uma vez que partia de uma realidade distinta, com pouca familiaridade com técnicas e rotinas experimentais, como o manuseio de equipamentos, preparação de reagentes e execução de análises. Contudo, ao longo do processo, com o apoio recebido e dedicação contínua, foi possível adquirir competências técnicas sólidas, transformando dificuldades iniciais em aprendizado e crescimento científico.

Enquanto docente, este trabalho também reflete um compromisso pessoal com a aplicação prática do conhecimento adquirido. Pretende-se, com os resultados obtidos, contribuir para a disseminação de estratégias de fortificação alimentar no país, promovendo a incorporação de alimentos mais nutritivos na dieta da população e incentivando o desenvolvimento de soluções sustentáveis baseadas em recursos locais.

A presente dissertação está estruturada em três capítulos. O primeiro corresponde à revisão de literatura, que aborda os fundamentos teóricos relacionados ao milho, à Xima e à fortificação alimentar. O segundo capítulo apresenta um artigo científico voltado à avaliação das propriedades das farinhas de milho branco, com ênfase nos efeitos do processamento. O terceiro capítulo contempla um artigo científico sobre a fortificação da Xima com licopeno e β -caroteno, explorando seus impactos nas propriedades nutricionais, funcionais e tecnológicas do produto. Espera-se que este trabalho contribua não apenas para o avanço científico na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, mas também para a valorização de alimentos tradicionais e para a melhoria da qualidade nutricional da dieta em Moçambique.

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.) constitui a base alimentar em Moçambique, sendo amplamente utilizado na produção de farinha e na preparação da Xima, alimento tradicional de elevada relevância sociocultural. Contudo, sua composição predominantemente amilácea e o baixo teor de compostos bioativos limitam seu potencial funcional, enquanto práticas como a maceração podem afetar suas propriedades tecnológicas e microbiológicas. Paralelamente, o tomate (*Solanum lycopersicum* L.), rico em carotenoides como licopeno e β -caroteno, apresenta elevado potencial antioxidante, destacando-se como alternativa para o enriquecimento nutricional de alimentos à base de cereais. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da maceração nas propriedades de farinhas de milho branco e investigar a aplicação de extratos de carotenoides de tomate na fortificação da Xima, visando o desenvolvimento de um alimento funcional com maior valor nutricional e capacidade antioxidante. A metodologia incluiu a caracterização de farinhas maceradas e não maceradas quanto às propriedades químicas, físico-químicas, estruturais, térmicas, funcionais, antioxidantes e microbiológicas, bem como a extração de carotenoides por maceração e percolação, seguida da incorporação do extrato na Xima. Os resultados evidenciaram que a maceração promove alterações na composição e funcionalidade da farinha, incluindo aumento da atividade de água, modificações estruturais do amido e ocorrência de não conformidades microbiológicas. A fortificação da Xima resultou em aumento significativo da atividade antioxidante, do teor de compostos fenólicos e carotenoides, além de modificações nas propriedades físico-químicas e estruturais. Concluiu-se que a incorporação de carotenoides representa estratégia eficaz para valorização nutricional da Xima, contribuindo para o desenvolvimento de alimentos funcionais e melhoria da qualidade da dieta.

Palavras-chave: Processamento de Milho; Xima; maceração; carotenoides; alimentos funcionais.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is a staple food in Mozambique, widely used for flour production and for preparing Xima, a traditional food of high socio-cultural relevance. However, its predominantly starchy composition and low content of bioactive compounds limit its functional potential, while processing practices such as maceration may affect its technological and microbiological properties. In parallel, tomato (*Solanum lycopersicum* L.), rich in carotenoids such as lycopene and β -carotene, exhibits high antioxidant potential, representing a promising alternative for the nutritional enrichment of cereal-based foods. This study aimed to evaluate the effect of maceration on the properties of white maize flours and to investigate the application of tomato carotenoid extracts in Xima fortification, targeting the development of a functional food with enhanced nutritional value and antioxidant capacity. The methodology included the characterization of macerated and non-macerated flours in terms of chemical, physicochemical, structural, thermal, functional, antioxidant, and microbiological properties, as well as carotenoid extraction by maceration and percolation followed by incorporation into Xima. The results demonstrated that maceration significantly affects flour composition and functionality, including increased water activity, structural modifications in starch, and microbiological non-compliance. Xima fortification led to a significant increase in antioxidant activity, phenolic compounds, and carotenoid content, along with changes in physicochemical and structural properties. It can be concluded that carotenoid incorporation is an effective strategy to enhance the nutritional and functional value of Xima, contributing to the development of functional foods and improving dietary quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Variedade de milho produzido em Moçambique: a-Planta milho fresco; b- milho seco com folhas; c-milho seco pronto para colheita. 11
- Figura 2.** Estrutura química de licopeno. Fonte: (Khongthaw et al., 2024). 15
- Figura 3.** Estrutura química de β -caroteno. Fonte: (Izzo et al., 2022) 17

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** A) Exposição para venda de milho em sacos de rafia e recipientes de medição, B) Compra e venda de milho, C) Farinha de milho. Fonte: Autor 2025. 28
- Figura 2.** A) Milho debulhado, B) Separação em peneiras artesanais de palha, C) Degerminação feita em descascador: maize sheller/maize peeler + grinder, D) Farelo e casca, E) Moagem do grão em Cyclone Hammer Mill, F) Maceração em balde com água por 24h, G) Redução da umidade com exposição ao sol, H) Farinha. Fonte: Autor, (2025) 29
- Figura 4.** As marcações em vermelho destacam os principais grânulos representativos em cada amostra, evidenciando as diferenças de tamanho, forma e textura superficial entre FNM (a; b; c; d) e FM (e; f; g; h). 44

CAPÍTULO 3

- Figura 1.** Etapas da extração hidroalcoólica de compostos bioativos da farinha de tomate ... 56
- Figura 2.** Etapas de preparação da Xima controle e fortificada. Fonte: Autor, (2025) 58
- Figura 3.** Curvas de cozimento das Ximas com extrato (Xima fortificada) e sem extrato (Xima controle) preparadas a partir da farinha macerada 69
- Figura 4.** Termogramas de XFNM em função da temperatura (eixo x, °C), Curva de TG em % (cor verde e eixo y à esquerda), Curva de DSC em mW/mg (cor azul e eixo y à direita) 79
- Figura 5.** Termogramas de XFM em função da temperatura (eixo x, °C), Curva de TG em % (cor verde e eixo y à esquerda), Curva de DSC em mW/mg (cor azul e eixo y à direita) 80
- Figura 6.** Microscopia das Ximas XFNM (a, b, c) e XFM (d, e, f) 82

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Composição físico-química da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM).....	35
Tabela 2. Teores de macro e microminerais das farinhas não macerada (FNM) e macerada (FM).....	38
Tabela 3. Parâmetros colorimétricos da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM).....	38
Tabela 4. Índice de absorção de água (IAA) e óleo (IAO) da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM)	39
Tabela 5. Parâmetros térmicos do amido da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM) obtidos por DSC.....	40
Tabela 6. Parâmetros termogravimétricos do amido da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM) obtidos por TG	41
Tabela 7. Atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais (CFT) da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM).....	41
Tabela 8. Compostos orgânicos voláteis identificados na farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM).....	43
Tabela 9. Distribuição granulométrica da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM) determinada por peneiramento em malha 20	44
Tabela 10. Avaliação microbiológica da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM).....	45

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Composição Composição carotenóidica (em base seca) do extrato hidroalcoólico concentrado de tomate e de estudos comparativos.....	66
Tabela 2. Atividade Antioxidante expressa em $\mu\text{mol TE/g}$ do extrato hidroalcoólico concentrado de tomate e estudos comparativos.....	67
Tabela 3. Caracterização nutricional e físico-química das Ximas XFNM e XFM.....	70
Tabela 4. Teores de macro e microminerais da XFNM e XFM	73
Tabela 5. Parâmetros colorimétricos das Ximas.....	74
Tabela 6. Conteúdo de carotenoides (mg/g) das Ximas fortificadas	75
Tabela 7. Compostos fenólicos totais (CFT) e atividade antioxidante das Ximas	77
Tabela 8. Compostos orgânicos voláteis identificados por GC-MS nas Ximas	81
Tabela 9. Parâmetro de dureza das Ximas.....	83

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	9
CAPÍTULO 1	10
2.REVISÃO DA LITERATURA	10
2.1.Milho e variedades produzidas em Moçambique	10
2.2.Importância da Xima na dieta Moçambique, África	11
2.3.Tomate e produção em Moçambique	13
2.4.Carotenoides do tomate	14
2.4.1.Licopeno: funções, aspetos bioquímicos e propriedades biológicas	15
2.4.2.Betacaroteno: funções, propriedades biológicas e aspetos bioquímicos	17
2.4.3.Aplicabilidade e enriquecimento com licopeno e betacaroteno	18
2.5.Extração por maceração e percolação	20
2.6.Aplicabilidade na indústria de alimentos	21
3.OBJETIVO	22
3.1.Objetivo Geral	22
3.2.Objetivos Específicos	22
4.REFERÊNCIAS	23
CAPÍTULO 2	25
ARTIGO 1- Efeito da maceração nas propriedades químicas, estruturais, térmicas, antioxidantes e microbiológicas de farinhas de milho branco produzidas em Moçambique 25	
RESUMO	25
1.INTRODUÇÃO	27
2. MATERIAL E MÉTODOS	28
2.1.Materiais	28
2.2.Processamento de milho branco em farinha macerada (FM) e farinha não macerada (FNM) 28	

2.3.Métodos analíticos	29
2.3.1. Análise físico químico e Caracterização da farinha macerada (FM) e não macerada (FNM).....	29
2.3.2.Açúcares Redutores e Sacarose	29
2.3.3.Acidez titulável.....	30
2.3.5.Amido total.....	30
2.3.6.Amilose.....	31
2.3.7.Análise granulométrica	31
2.3.8.Compostos Fenólicos Totais.....	31
2.3.9.Análise de Cor	32
2.3.11. Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Absorção de Óleo (IAO)	32
2.3.12. Análise termogravimétrica (TG).....	32
2.3.13. Análise de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).....	33
2.3.14. Atividade antioxidante	33
2.3.16. Análises Microbiológicas.....	34
2.3.17. Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	35
2.4.Análise Estatística	35
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.1.Composição físico-química e minerais	35
3.2.Cor.....	38
3.3.Índice de absorção de água (IAA) e Índice de absorção de óleo (IAO)	39
3.4.Análise térmica por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	39
3.5.Análise Termogravimétrica (TG)	40
3.5.Atividade Antioxidante.....	41
3.6.Caracterização dos compostos orgânicos voláteis (COVs) por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS)	42
3.7.Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	43
3.8.Granulometria	44

3.9.Análise microbiológica	45
4.CONCLUSÃO	46
6.REFERÊNCIAS.....	47
CAPÍTULO 3	52
ARTIGO 2 - Extração de Licopeno e β -caroteno do tomate por maceração e percolação e sua aplicação tecnológica na fortificação da Xima, alimento originário da África Oriental	
52	
RESUMO.....	52
1.INTRODUÇÃO.....	53
2.MATERIAIS E MÉTODOS	54
2.1.Materiais.....	54
2.2.Obtenção do extrato hidroalcoólico concentrado de tomate por maceração e percolação	55
2.3.1.Elaboração da Xima	57
2.4.Métodos Analíticos	58
2.4.1.Análise do extrato hidroalcoólico concentrado de tomate	58
2.4.2.Análises da Xima	60
2.4.3.Análise Estatística.....	65
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
3.1.Análise do extrato hidroalcoólico concentrado de tomate.....	65
3.1.1.Rendimento	65
3.1.2.Quantificação de Licopeno, betacaroteno e carotenoides totais.....	66
3.1.3.Atividade Antioxidante	67
3.2.Análises da Xima	68
3.2.1.Curva de cozimento	68
3.2.5.Licopeno, β -caroteno e carotenoides totais	74
3.2.7.Análises térmicas: Termo gravimétrica (TG) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).....	78

3.2.8. Análise dos Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)	80
3.2.9. Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	81
3.2.10. Análise de dureza.....	82
4. CONCLUSÃO	84
AGRADECIMENTOS.....	84
5. REFERÊNCIAS	85

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais de maior relevância global, desempenhando um papel fundamental na produção de derivados industrializados em virtude de sua ampla versatilidade nutricional, funcional e tecnológica (Sitoie; Santos, 2022; Unesco, 2019). Além do consumo in natura, destaca-se por ser a matéria-prima com o maior número de derivados processados, o que reforça sua importância econômica. O grão apresenta ainda elevado teor de compostos bioativos, incluindo carotenoides (como luteína e zeaxantina) e diversos ácidos fenólicos, que conferem propriedades antioxidantes e funcionais relevantes para a saúde humana (Bora et al., 2018; Pateiro et al., 2021).

A farinha artesanal obtida do milho branco (*Zea mays* L.) é amplamente produzida em países africanos e constitui um elemento central da alimentação e da cultura das comunidades rurais. O processo tradicional envolve etapas manuais de seleção, maceração, moagem e peneiramento, que preservam as características sensoriais e nutricionais do cereal, resultando em uma farinha utilizada na preparação de alimentos típicos, como a Xima. Além de seu papel alimentar, esse processamento apresenta relevante importância socioeconômica, pois preserva conhecimentos tradicionais, valoriza a produção agrícola local e contribui para a sustentabilidade alimentar das populações rurais. A Xima, caracterizada por textura firme e homogênea, é geralmente consumida como acompanhamento de carnes, peixes e vegetais, funcionando como base alimentar versátil em diversas preparações (Rika; Widianita, 2023). Apesar de sua ampla difusão e relevância cultural, ainda há escassez de estudos científicos sistematizados sobre esse alimento, particularmente no que se refere às suas propriedades nutricionais, tecnológicas e ao impacto socioeconômico de seu consumo, evidenciando a necessidade de investigações que aprofundem o conhecimento sobre esse produto tradicional.

Além do milho branco e seus derivados, outro alimento de grande relevância nutricional e cultural é o tomate (*Solanum lycopersicum* L.), pertencente à família Solanaceae e originário das regiões andinas da América do Sul. Atualmente, é a segunda hortaliça mais consumida no mundo e em Moçambique, destacando-se por seu elevado valor nutricional e funcional. A espécie apresenta em sua composição diversos antioxidantes naturais, incluindo carotenoides, flavonoides, compostos fenólicos, ácido ascórbico (vitamina C) e tocoferol (vitamina E), que contribuem para suas propriedades antioxidantes e protetoras contra o estresse oxidativo (Prasanna et al., 2025; Rusu et al., 2023)

Entre esses compostos, destaca-se o licopeno, um carotenoide natural lipossolúvel de elevada capacidade antioxidante, cuja eficiência de neutralização do oxigênio singlete é aproximadamente duas vezes superior à do β -caroteno. Predominantemente encontrado no tomate e seus derivados, responde por mais de 85% da ingestão dietética, com teores variando de 0,88 a 7,74 mg/100 g. Esse composto atua na mitigação do estresse oxidativo por mecanismos de adição radical (Kapała, 2022). Estudos realizados por Amiri-Rigi e Abbasi (2018) reforçam suas propriedades quimioprotetoras, especialmente no câncer de próstata, mediadas pela modulação do estresse oxidativo e inflamação, indução de apoptose e inibição da angiogênese e metástase. Além disso, o licopeno contribui para a prevenção de doenças cardiovasculares, reduzindo inflamação, dislipidemias e dano vascular, e promovendo melhora da função endotelial (Shafe et al., 2024).

Nesse contexto a extração de licopeno e β -caroteno do tomate por maceração e percolação é descrita na literatura como um método simples e eficiente para obtenção de compostos bioativos de elevada estabilidade. Esse processo baseia-se na difusão dos carotenoides lipofílicos do material vegetal para solventes orgânicos como acetona, etil acetato, álcool, sob agitação e temperatura controlada, apresentando altos rendimentos de extração (Kehili et al., 2019). Dessa forma, tais técnicas configuram alternativa viáveis para o aproveitamento de compostos antioxidantes naturalmente presentes no tomate.

Paralelamente, a população moçambicana apresenta elevados índices de envelhecimento precoce, doenças cardiovasculares e câncer, frequentemente associados ao estresse oxidativo. Soma-se a esse cenário o desperdício significativo de tomates decorrente da limitada disponibilidade de métodos adequados de conservação, o que restringe o aproveitamento de seus compostos bioativos, como o licopeno e o β -caroteno. Nesse contexto, a incorporação de carotenoides provenientes do tomate na Xima surge como uma alternativa promissora, pois pode aumentar o potencial antioxidante desse alimento tradicional e representar uma estratégia nutricional viável para agregar valor ao produto, reduzir perdas pós-colheita e contribuir para a melhoria da qualidade nutricional da dieta da população. O extrato obtido, rico em licopeno e β -caroteno, será incorporado à Xima com a finalidade de potencializar seu valor nutricional e funcional, transformando-a em um alimento tradicional com maior capacidade antioxidante e benefícios adicionais à saúde.

Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a incorporação de licopeno e betacaroteno extraído do tomate na Xima, visando enriquecer seu valor nutricional e aumentar seu potencial antioxidante.

CAPÍTULO 1

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Milho e variedades produzidas em Moçambique

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais relevantes para a alimentação humana e animal, destacando-se pela sua ampla versatilidade e elevado potencial nutricional. Trata-se do cereal com o maior número de produtos industrializados no mundo, sendo consumido em todos os continentes, o que evidencia a sua importância global e econômica. Do ponto de vista nutricional, o milho apresenta uma composição rica e diversificada, contendo quase todos os nutrientes essenciais, como carboidratos, proteínas, lipídios, fibras, vitaminas e minerais, o que o torna uma matéria-prima fundamental tanto para o setor alimentício quanto para a indústria biotecnológica (Mukiti, 2025). No contexto alimentar, o milho desempenha um papel central como alimento básico, especialmente em países em desenvolvimento, sendo responsável pela base da dieta de mais da metade da população da África Subsaariana. Em função da sua elevada relevância econômica, social e alimentar, estima-se que o milho venha a tornar-se a cultura cerealífera mais importante do mundo até 2030 (Seca et al., 2022).

As variedades de milho amplamente cultivadas em Moçambique incluem variedades de polinização aberta (VPA) e variedades híbridas. As VPA caracterizam-se por polinização livre, permitindo a reutilização dos grãos como sementes na campanha seguinte, enquanto as variedades híbridas resultam de polinização controlada e não são recomendadas para reutilização devido à perda de uniformidade genética. No contexto moçambicano, destacam-se os híbridos comerciais PAN 53 e PAN 58, desenvolvidos pela PANNAR Seed, reconhecidos pela sua resistência à seca, bem como variedades locais de polinização aberta, como Sussuma e Hluvukane.

Do ponto de vista nutricional, o milho é constituído principalmente por carboidratos (60–75%), sobretudo amido, além de proteínas (8–12%), lipídios (3–5%), fibras e micronutrientes. No entanto, apresenta limitações nutricionais, como baixos teores de aminoácidos essenciais (lisina e triptofano). Nesse contexto, o milho de proteína de qualidade (QPM) representa uma alternativa melhorada, com perfil proteico superior e maior valor biológico. Estudos como o de Annor et al. (2025) avaliaram linhagens endogâmicas extra-precoces de QPM, evidenciando

elevada adaptação a condições de estresse hídrico e baixo teor de nitrogênio, com ciclos de maturação entre 80 e 85 dias e elevado potencial produtivo.

A composição química do grão influencia diretamente a qualidade tecnológica da farinha de milho. Teores mais elevados de amido favorecem a gelatinização e a capacidade de absorção de água, características importantes para produtos como papas e alimentos extrusados. O teor de proteínas pode afetar a textura e a estrutura dos produtos finais, enquanto os lipídios influenciam o sabor e a estabilidade oxidativa. Além disso, fatores como dureza do grão, tamanho de partícula e teor de fibra impactam propriedades funcionais da farinha, incluindo viscosidade, capacidade de retenção de água e comportamento térmico.

Assim, a escolha da variedade de milho (Figura 1), aliada às suas características nutricionais e físico-químicas, desempenha um papel fundamental na qualidade final da farinha, influenciando tanto o valor nutricional quanto o desempenho tecnológico em diferentes aplicações alimentares.

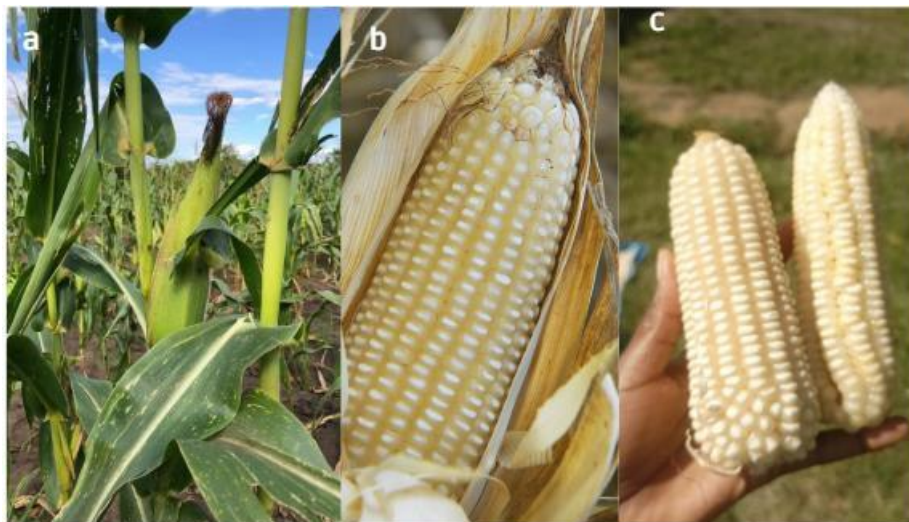


Figura 1. Variedade de milho Produzido em Moçambique: a-Planta milho fresco; b- milho seco com folhas; c-milho seco pronto para colheita.

Fonte: Autor 2025

2.2. Importância da Xima na dieta de Moçambique, África

Na prática culinária tradicional de Moçambique, a Xima é uma preparação culinária nacional Moçambicana com consistente, preparada com farinha de milho e água. Para preparar este alimento, é necessário possuir uma série de conhecimentos específicos, que vão desde a maneira de moer milho até à maneira de apresentar os diferentes alimentos escolhidos para acompanhamentos.

A Xima (Moçambique), que em outras regiões da África se chama Nsima/sima em (Malawi) ou Nshima em (Zâmbia), Fungi em (Angola), Sadza em (Zimbabwe) é um prato

à base de farinha de milho, na forma de uma massa espessa cor branco, originário de Zâmbia e consumida em toda a África Oriental. Em Moçambique, Xima constitui a base da alimentação cotidiana, citado por Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO, 2019). Pela elevada importância cultural da Xima as famílias cultivam o hábito de partilha-la, um gesto que estreita e fortalece os laços familiares o cultivo, armazenamento, tratamento e condicionamento do milho de que a farinha é obtida constituem uma prática cultural intimamente ligada ao modo de vida dos Moçambicanos. O preparo da Xima integra práticas tradicionais transmitidas entre gerações, o que reforça identidade cultural e hábitos comunitários. A prática cotidiana das comunidades, os livros didáticos escolares, as receitas de pratos com Xima e a organização de concursos culinários garantem a salvaguarda desse elemento do património cultural e o revitalizam. A grande maioria dos restaurantes em Moçambique oferecem pratos preparados com Xima no seu cardápio (UNESCO, 2019; Alessi, 2003).

O processo tradicional de preparação da Xima, representado na Figura 2, inicia-se com a seleção da farinha de milho normal (FNM) ou fina (FM). Em seguida, procede-se à mistura, que consiste na adição gradual da farinha à água aquecida entre 45 °C e 52 °C. A mistura é então homogeneizada por agitação contínua até atingir uma fase uniforme. Posteriormente, realiza-se a fervura em fogo intenso por aproximadamente 15 minutos, promovendo a gelatinização. Após essa etapa, adiciona-se uma porção final de farinha para ajustar a consistência desejada, seguida do cozimento em fogo brando por cerca de 5 minutos para a maturação. O resultado final é a Xima, um produto consistente e homogêneo.



Figura 2. Fluxograma de preparação de Xima.

Fonte: Autor, 2025

2.3. Tomate e produção em Moçambique

O tomate (*Solanum lycopersicum L.*), originário da região andina da América do Sul e pertencente à família Solanaceae, é uma das hortaliças mais consumidas no mundo, utilizado cru, em pratos, molhos e bebidas. Seu fruto apresenta composição rica em proteínas, fibras, vitaminas A e C, minerais como ferro, zinco, magnésio e potássio, além de compostos antioxidantes. Entre estes, destacam-se os carotenoides, especialmente o licopeno, principal responsável pela cor vermelha e pelos efeitos benéficos à saúde, como proteção cardiovascular e redução do risco de alguns tipos de câncer. Outros carotenoides presentes incluem fitoeno, fitoflueno, α -caroteno, β -caroteno, gamacaroteno e neurosporeno, que contribuem para funções antioxidantes, fotoproteção celular e fornecimento de vitamina A. A variabilidade genética entre cultivares permite explorar programas de melhoramento para biofortificação, reforçando o papel do tomate como alimento funcional e aliado na promoção da saúde. (Prasanna et al., 2025; Rusu et al., 2023).

O tomate é altamente perecível e sensível a variações térmicas. Em Moçambique, produtores enfrentam perdas significativas por falta de mercado ou excesso de oferta. Muitos frutos se deterioram ainda no campo ou nos pontos de venda. Para reduzir essas perdas, são adotadas estratégias como processamento agroindustrial e melhorias logísticas. Essas ações visam agregar valor à cadeia produtiva e garantir maior sustentabilidade (Américo; Júnior; Ernesto, 2022).

Em Moçambique, o tomate é classificado como a segunda hortícola mais importante, logo a seguir à Batata Reno. Esta cultura é dominante no setor, representando 77% da área total alocada e do mercado das hortícolas, sendo seguida pela cebola, que detém 13% dessa quota (Haber et al., 2015).

No contexto da comercialização do tomate em Moçambique, verificam-se perdas significativas da produção, seja pela ausência de mercado, que provoca a deterioração dos frutos no campo, ou pelo excesso de oferta, que resulta em desperdício nos pontos de venda. Para apoiar os produtores, Haber et al. (2015) analisaram o comportamento dos preços nos principais mercados da região sul, utilizando dados do SIMA referentes ao período de janeiro de 2015 a dezembro de 2019 (60 observações mensais por mercado). Os resultados evidenciam forte variação sazonal dos preços, tanto entre províncias quanto entre mercados locais. Embora

variáveis como qualidade do produto, distância ao mercado e dimensão dos pontos de venda tenham sido mantidas constantes, devem ser consideradas na tomada de decisão. Entre os carotenoides presentes no tomate, destaca-se o licopeno pela sua abundância, atividade antioxidante e potencial proteção contra doenças crônicas, razão pela qual diversas pesquisas têm investigado sua bioquímica, estabilidade e mecanismos de ação (Américo; Júnior; Ernesto, 2022).

2.4. Carotenoides do tomate

Os carotenoides constituem um grupo de pigmentos naturais lipossolúveis amplamente distribuídos em frutas e hortaliças, sendo responsáveis pelas colorações amarela, laranja e vermelha. De modo geral, esses compostos exercem funções biológicas relevantes, sobretudo como antioxidantes, atuando na neutralização de radicais livres e na proteção celular contra danos oxidativos. Além disso, alguns carotenoides apresentam atividade pró-vitáminica A, contribuindo para a saúde visual, imunológica e para a manutenção da integridade dos tecidos.

Nesse contexto, o tomate (*Solanum lycopersicum*) destaca-se como uma importante fonte dietética de carotenoides. Entre os principais compostos presentes nesse fruto, destacam-se o licopeno, o β -caroteno, o α -caroteno e a luteína, sendo o licopeno o predominante e responsável pela coloração vermelha característica do tomate. Quanto à sua distribuição celular, esses carotenoides encontram-se majoritariamente localizados nos cromoplastos das células da polpa e da casca, acumulando-se progressivamente ao longo do processo de amadurecimento. Dentre esses carotenoides, o licopeno merece especial atenção científica. Isso porque ele é amplamente encontrado no tomate e em seus derivados e apresenta reconhecida capacidade antioxidante, associada à proteção contra o câncer e outras doenças degenerativas relacionadas ao estresse oxidativo causado por radicais livres. Embora não possua atividade pró-vitáminica A, o licopeno se destaca por sua elevada eficiência na desativação do oxigênio singlete, o que reforça sua relevância nutricional e funcional (Poenaru, 2025).

Além da composição intrínseca, o teor total de carotenoides no tomate é influenciado por diversos fatores. Entre eles, destacam-se a variedade genética, o estágio de maturação, as condições climáticas, a exposição à luz e a nutrição do solo. Adicionalmente, os métodos de colheita, armazenamento e processamento também exercem influência significativa sobre esses compostos. Em especial, tratamentos térmicos podem reduzir perdas oxidativas e, em alguns casos, aumentar a biodisponibilidade do licopeno, tornando-o mais acessível para absorção pelo organismo humano Khongthaw et al. (2024).

2.4.1. Licopeno: funções, aspetos bioquímicos e propriedades biológicas

A figura 4 mostra o licopeno, de fórmula química $C_{40}H_{56}$, é um composto pertencente ao grupo dos carotenos, inserido no grupo dos carotenoides, sendo amplamente reconhecido como um importante composto bioativo de origem vegetal. De modo geral, os compostos bioativos, incluindo os antioxidantes, são substâncias oriundas do metabolismo secundário das plantas que não exercem funções diretas no crescimento, mas desempenham papel fundamental na interação com o ecossistema, sendo capazes de retardar ou inibir processos oxidativos por meio da neutralização de radicais livres. Nesse contexto, a indústria de alimentos tem buscado, nas últimas décadas, alternativas naturais para garantir a segurança alimentar e atender às exigências de consumidores cada vez mais conscientes dos possíveis efeitos adversos de aditivos sintéticos. Entre as principais fontes dietéticas de compostos antioxidantes, o tomate destaca-se por apresentar uma ampla diversidade de substâncias bioativas, como carotenoides, flavonoides, compostos fenólicos, ácido ascórbico (vitamina C) e tocoferol (vitamina E). Dentre esses constituintes, o licopeno e o β -caroteno exibem a atividade antioxidante mais expressiva, sendo, portanto, os principais responsáveis pelos efeitos benéficos atribuídos ao consumo do tomate e de seus derivados (Tufail et al., 2024).

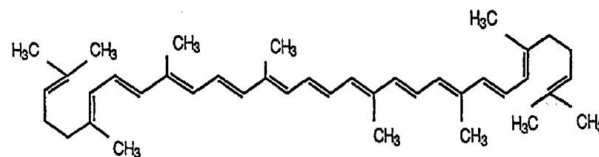


Figura 2. Estrutura química de licopeno. Fonte: (Khongthaw et al., 2024).

Em função dessa elevada capacidade antioxidante, o licopeno tem sido amplamente associado à prevenção de doenças crônicas não transmissíveis. Evidências científicas indicam que sua atuação está relacionada à redução do risco de diversos tipos de câncer, como os de próstata, mama, pâncreas e estômago, além de contribuir para a prevenção de doenças cardiovasculares e catarata. Como consequência, observa-se um crescimento significativo no interesse científico e tecnológico por essa molécula, tanto no campo da nutrição quanto nas áreas farmacêutica e de alimentos funcionais (Khongthaw et al., 2024).

Do ponto de vista bioquímico, o licopeno é um carotenoide acíclico caracterizado pela presença de 13 duplas ligações conjugadas, responsáveis por sua coloração vermelho-alaranjada e elevada eficiência na neutralização do oxigênio singleto (Kehili et al., 2019). Além disso, apresenta isomeria geométrica, predominando a forma trans nos tomates e seus produtos,

correspondendo a cerca de 79% a 91% do licopeno total, enquanto nos tecidos humanos mais de 50% encontra-se na forma *cis*, considerada metabolicamente mais ativa. Essa diferença é atribuída ao processo de isomerização *trans-cis*, induzido por calor, luz ou atividade enzimática, o qual aumenta a solubilidade e biodisponibilidade do licopeno no organismo humano (Shafe et al., 2024; Kulawik et al., 2023).

Sob a perspectiva físico-química, o licopeno é um composto altamente lipofílico, insolúvel em água e solúvel em solventes orgânicos, como hexano, acetona e clorofórmio. Entretanto, apresenta elevada sensibilidade à oxidação e à luz, podendo sofrer degradação na presença de oxigênio e metais, com formação de epóxidos e outros subprodutos, o que compromete sua estabilidade (Amiri-Rigi & Abbasi, 2018).

Após a ingestão, o licopeno é liberado da matriz alimentar durante a digestão e absorvido principalmente por difusão passiva e por meio dos receptores SR-B1, sendo posteriormente transportado em quilomícrons pela via linfática até o fígado. No metabolismo hepático, pode sofrer clivagem pelas enzimas BCO1 e BCO2, originando apo-carotenoides biologicamente ativos, com distribuição preferencial em tecidos como o fígado, próstata, glândulas adrenais e tecido adiposo (Kapała, 2022).

Com base nesses mecanismos bioquímicos e metabólicos, numerosos estudos sugerem que o licopeno exerce um papel fundamental na redução do estresse oxidativo em humanos. Nesse sentido, a administração oral de licopeno tem demonstrado potencial para melhorar a função cognitiva, atenuando danos induzidos por processos oxidativos. Estudos experimentais em camundongos CD-1 evidenciaram que a terapia com licopeno foi eficaz na mitigação do comprometimento cognitivo, por meio da redução da neurodegeneração, restauração da atividade antioxidante e diminuição das respostas inflamatórias (Suryam Dora, 2017; Jafari et al., 2025).

Além dos efeitos neuroprotetores, o tratamento com licopeno tem sido consistentemente associado à redução do risco de câncer, efeito atribuído às suas propriedades farmacocinéticas e moleculares. O licopeno participa ativamente de vias de sinalização sensíveis ao estado redox, frequentemente alteradas em células cancerígenas. Em particular, estudos demonstram que, em células de câncer de próstata, o licopeno é capaz de inibir a fosforilação da MAPK e a ativação do NF- κ B, além de potencializar os efeitos anticancerígenos da enzalutamida, reduzindo a expressão do receptor de andrógeno (AR) por meio da inibição da via AKT/EZH2 (Qing et al., 2022; Sousa et al., 2022).

De forma complementar, ensaios clínicos e estudos experimentais reforçam o potencial terapêutico do licopeno. A administração diária de 40 mg de licopeno, durante quatro semanas,

demonstrou propriedades anticancerígenas ao reduzir significativamente o dano oxidativo ao DNA em pacientes com câncer de próstata (Mirahmadi et al., 2020). Adicionalmente, em pacientes com câncer de próstata metastático resistente à castração (mCRPC), a suplementação com 30 mg de licopeno, associada ao tratamento com docetaxel, apresentou efeito sinérgico, promovendo a inibição da sinalização do IGF-I e reduzindo a expressão da survivina, proteína relacionada à sobrevivência tumoral. Resultados semelhantes foram observados em modelos experimentais de câncer de células escamosas oral, nos quais o licopeno modulou vias moleculares-chave, incluindo IGF-1, IGFbps, JUN/AP-1 e FOXO1, evidenciando seu potencial como agente terapêutico promissor (Tao; Wang; Li, 2021; Guzek; Jílková; Kołota-Burdzy, 2025).

2.4.2. Betacaroteno: funções, propriedades biológicas e aspectos bioquímicos

O β -caroteno ($C_{40}H_{56}$) é um carotenoide amplamente distribuído em frutas e hortaliças, sendo o tomate reconhecido como uma fonte dietética relevante desse composto, figura 1. De modo geral, o β -caroteno exerce papel fundamental na saúde humana, destacando-se por sua atividade pró-vitamina A, além de apresentar propriedades antioxidantes e efeitos protetores contra o desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis (Izzo et al., 2022; Tufail et al., 2024).

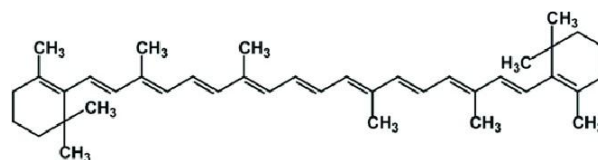


Figura 3. Estrutura química de β -caroteno. Fonte: (Izzo et al., 2022)

Sob o aspecto funcional, o β -caroteno destaca-se principalmente por sua conversão em vitamina A (retinol) no organismo humano. Nesse processo, o β -caroteno é clivado enzimaticamente pelas β -caroteno oxigenases (BCO1 e BCO2) no intestino e no fígado, originando retinol e outros metabólitos biologicamente ativos. Em função disso, esse carotenoide é essencial para a saúde ocular, atuando na prevenção da cegueira noturna, além de contribuir para o fortalecimento do sistema imunológico, a manutenção da integridade das mucosas e o desenvolvimento celular adequado. A deficiência de vitamina A, decorrente da baixa ingestão de β -caroteno, está associada ao aumento do risco de infecções e da mortalidade infantil, especialmente em populações vulneráveis. da atividade pró-vitamina, o β -caroteno

exerce importante função como antioxidante, protegendo as células contra danos oxidativos induzidos por radicais livres. Nesse sentido, estudos indicam que sua ação antioxidante contribui para a redução do risco de doenças cardiovasculares, metabólicas e oftalmológicas, bem como para a modulação de processos inflamatórios. Adicionalmente, evidências científicas sugerem um papel protetor do β -caroteno contra determinados tipos de câncer, especialmente aqueles relacionados ao estresse oxidativo crônico (Tufail et al., 2024).

No que se refere à absorção e biodisponibilidade, o β -caroteno é absorvido no intestino delgado juntamente com lipídios da dieta, sendo incorporado em micelas e transportado por quilomícrons até o fígado. Após a absorção, o composto é armazenado principalmente no tecido adiposo e no fígado, locais onde pode ser mobilizado conforme a demanda fisiológica do organismo. Diversos fatores, como a presença de lipídios na dieta, o estado nutricional e a matriz alimentar, influenciam diretamente sua biodisponibilidade. Nesse contexto, métodos de processamento tecnológico podem aumentar significativamente a absorção do β -caroteno. Estudos demonstram que o enriquecimento de extratos de tomate com a casca, bem como o uso de variedades de tomate com elevado teor de β -caroteno, contribuem para a maior ingestão e biodisponibilidade desse carotenoide em humanos. Assim, estratégias que combinam seleção varietal e processamento adequado mostram-se promissoras para maximizar os benefícios nutricionais do β -caroteno presente no tomate e seus derivados (Mohri et al., 2022).

2.4.3. Aplicabilidade e enriquecimento com licopeno e betacaroteno

A fortificação ou enriquecimento de alimentos consiste na adição deliberada de nutrientes ou compostos bioativos com o objetivo de aumentar ou restaurar o valor nutricional dos alimentos, constituindo uma estratégia eficaz para a prevenção e correção de deficiências nutricionais. De acordo com a ANVISA ABRASIL (2022), alimentos fortificados são aqueles aos quais se adicionam nutrientes para repor perdas ocorridas durante o processamento ou para suplementar o produto com teores superiores aos naturalmente presentes, garantindo que a ingestão de vitaminas e minerais atinja os níveis recomendados. Nesse contexto, os carotenoides têm sido amplamente utilizados em alimentos fortificados devido às suas propriedades funcionais e nutricionais, destacando-se o β -caroteno, como precursor da vitamina A, e o licopeno, pela sua elevada atividade antioxidante. Além de contribuírem para a redução de carências nutricionais, os carotenoides conferem coloração natural aos alimentos, favorecem a aceitação sensorial e atendem à crescente demanda dos consumidores por produtos mais saudáveis e livres de aditivos sintéticos, tornando-se componentes estratégicos no

desenvolvimento de alimentos fortificados e funcionais (Oliveira et al., 2025).

Inicialmente, Luo, Bao e Zhu (2024) desenvolveram um novo tipo de iogurte enriquecido com licopeno e isoflavonas de soja, utilizando um processo de fermentação eficiente em dois estágios com cepas de *Bacillus subtilis* e bactérias ácido-lácticas. O produto final apresentou elevada concentração de licopeno ($22,67 \pm 2,95$ mg/g) e isoflavonas, atribuída à ação sinérgica das bactérias empregadas. Como resultado, o iogurte demonstrou forte atividade antioxidante, além de características tecnológicas e sensoriais favoráveis, como pH adequado, maior hidrólise proteica, melhor disponibilidade de aminoácidos e boa aceitação sensorial, consolidando-se como um alimento funcional saudável.

De forma semelhante, Viktorova et al. (2025) investigaram o uso dos carotenoides β -caroteno e licopeno, reconhecidos por sua atividade pró-vitamínica A e antioxidante, na produção e fortificação de alimentos funcionais. O estudo sistematizou a aplicação desses compostos em diferentes matrizes alimentares, incluindo farinhas, produtos de confeitaria, laticínios (leite e iogurtes) e alimentos ricos em lipídios, como a maionese. Além disso, os autores destacaram o potencial dos carotenoides como corantes naturais, antioxidantes e nutracêuticos, bem como a importância de tecnologias modernas de proteção, como a microencapsulação, para aumentar sua estabilidade, biodisponibilidade e valor funcional nos alimentos.

Complementarmente, Li (2023) avaliou o licopeno como um antioxidante natural alternativo aos aditivos sintéticos, aplicando-o na produção e enriquecimento de uma ampla variedade de alimentos, como produtos gordurosos (óleos, manteigas e sorvetes), bebidas, sucos, laticínios, frutas, vegetais, carnes e peixes. Nesse estudo, o licopeno foi incorporado por meio de diferentes estratégias tecnológicas, incluindo adição direta, revestimentos comestíveis, embalagens ativas, emulsões e microencapsulamento, com o objetivo de prolongar a vida útil dos alimentos, reduzir a oxidação lipídica e agregar valor funcional, superando limitações relacionadas à estabilidade e biodisponibilidade do composto.

Dessa forma, o enriquecimento de alimentos com carotenoides configura-se como uma estratégia promissora para melhorar a qualidade nutricional e funcional de produtos alimentícios, contribuindo tanto para a inovação tecnológica quanto para o atendimento à crescente demanda do mercado por alimentos mais saudáveis e naturais (Pateiro et al., 2021). Entretanto, apesar dos avanços observados em diversas matrizes alimentares, não foram identificados estudos que abordem a fortificação da xima com carotenoides, especialmente com licopeno e β -caroteno. Essa ausência de pesquisas evidencia uma lacuna científica relevante e sustenta a importância do presente trabalho, que propõe a xima como uma nova matriz

alimentar para a incorporação de carotenoides, visando à melhoria de seu valor nutricional e ao fortalecimento da segurança alimentar.

2.5. Extração por maceração e percolação

A maceração é descrita como um método tradicional de extração sólido-líquido, baseado na imersão do material vegetal em solventes orgânicos sob condições controladas, sendo especialmente eficiente para carotenoides devido à sua natureza lipofílica. Misturas de solventes podem elevar o rendimento, alcançando taxas superiores a 90% de recuperação de licopeno em cascas de tomate (Kehili et al., 2019).

A percolação, por sua vez, consiste na passagem contínua do solvente através da matriz vegetal, promovendo extração uniforme e completa. A combinação de maceração e percolação maximiza o contato solvente-matriz, melhora o rendimento e reduz perdas por degradação, configurando uma alternativa simples e viável para obtenção de carotenoides aplicáveis em alimentos fortificados e produtos funcionais (Kehili et al., 2019).

Por outro lado, estudos realizados por Rahmatika, Purwoko e Hakim (2022) utilizaram maceração com acetona e etil acetato, mostrando que a escolha do solvente influencia o rendimento e a pureza do licopeno extraído. A maceração foi realizada por 120 horas, seguida de extração líquido-líquido para purificação. A extração foi feita com cascas e sementes de jabuticaba, previamente maceradas por 12 h em etanol 60%. Depois, o material foi percolado por 72 h com fluxo de 30 gotas/min, usando 4 L do mesmo solvente e camadas de algodão e papel-filtro para evitar canais preferenciais, sempre protegido da luz. O percolado foi então concentrado a 45 °C e homogeneizado em ultrassom. A percolação permitiu extrato mais rico e estável em polifenóis, com maior eficiência e menor degradação que a maceração isolada (Mendes et al., 2021).

De modo semelhante Widiputri et al. (2020) explica que, na maceração, a planta é simplesmente deixada em contato com um solvente apropriado (como água ou etanol) por um tempo determinado, permitindo que os compostos se dissolvam de forma lenta por difusão. Já na percolação, o material vegetal previamente umedecido é colocado em um percolador e o solvente passa continuamente através dele por gravidade, retirando os princípios ativos de maneira mais rápida e completa. Widiputri et al. (2020) destaca que a escolha do solvente depende da natureza química dos compostos desejados, sendo mais comuns água, etanol ou misturas hidroalcoólicas. O mesmo autor mostra que a maceração é um método simples e econômico, enquanto a percolação é mais eficiente por renovar constantemente o solvente e

extrair maior quantidade de compostos.

Por fim, a maceração e percolação são métodos clássicos aplicados à extração de drogas vegetais, sem foco em uma matéria-prima específica, pois o estudo aborda apenas os princípios gerais dessas técnicas. A maceração baseia-se na imersão estática do material vegetal, adequada para compostos termossensíveis; a percolação utiliza fluxo contínuo do solvente para maior rendimento; e a decocção emprega fervura, indicada para estruturas rígidas como raízes e cascas. O artigo enfatiza que a escolha do método varia conforme a estrutura da planta e a estabilidade dos compostos, destacando a percolação como mais eficiente, a maceração como mais delicada e a decocção como ideal para materiais vegetais duros (Hidayat; Wulandari, 2021).

2.6. Aplicabilidade na indústria de alimentos

Estudos recentes demonstram o potencial tecnológico dos carotenoides na indústria de alimentos, Savescu et al. (2025) desenvolveram sucos funcionais de Cenoura enriquecido com β -caroteno obtidos a partir de resíduos agroindustriais. Os autores observaram aumento da estabilidade térmica, maior atividade antioxidante e melhoria na qualidade do produto do produto evidenciado e estabilidade da incorporação do carotenoide. A finalidade do estudo é aumentar o rendimento de extração, a estabilidade química, a atividade antioxidante e a segurança microbiológica do produto, por meio da Extração por Fluido Supercrítico associada a campos físicos, visando a aplicação em alimentos funcionais com maior valor nutricional e vida útil prolongada.

Estudo feito por Viktorova et al. (2025) usa o carotenoide β -caroteno e Licopeno, uma pró-vitamina A com elevada atividade antioxidante, utilizado na produção e fortificação de alimentos funcionais como farinhas, produtos de confeitaria, laticínios (leite e iogurtes) e produtos gordurosos como maionese. A finalidade do estudo é sistematizar o uso do β -caroteno e Licopeno nas tecnologias alimentares, destacando sua aplicação como corante natural, antioxidante e nutracêutico, bem como avaliar sistemas modernos de proteção, como a microencapsulação, para aumentar sua estabilidade, biodisponibilidade e valor funcional nos alimentos.

A pesquisa feita por Li, (2023) utiliza o carotenoide licopeno, um potente antioxidante natural presente principalmente no tomate e em frutas vermelhas, aplicado na produção e enriquecimento de alimentos gordurosos (óleos, manteiga, sorvetes), bebidas, sucos, laticínios, frutas, vegetais, carnes e peixes, por meio de adição direta, revestimentos comestíveis,

embalagens ativas, emulsões e microencapsulamento. A finalidade do estudo é avaliar o licopeno como alternativa natural aos antioxidantes artificiais, visando prolongar a vida útil dos alimentos, reduzir a oxidação lipídica e agregar valor funcional, superando limitações de estabilidade e biodisponibilidade por meio de tecnologias de encapsulamento.

Assim, o enriquecimento de alimentos com carotenoides representa uma estratégia promissora para melhorar a qualidade nutricional e funcional de produtos alimentícios, contribuindo tanto para a inovação tecnológica quanto para o atendimento às demandas do mercado por alimentos mais saudáveis e naturais (Pateiro et al., 2021).

3. OBJETIVO

3.1. Objetivo Geral

- Avaliar a incorporação de carotenoides (licopeno e β -caroteno) extraídos do tomate na Xima, visando ao enriquecimento de seu valor nutricional e aumento de seu potencial antioxidante.

3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar as farinhas de milho branco (macerada e não macerada) e a Xima quanto aos parâmetros físico-químicos, microbiológicos, granulométricos e à atividade antioxidante;
- Analisar a incorporação das farinhas maceradas e não maceradas na Xima em termos de composição nutricional;
- Avaliar as características químicas, físico-químicas, estruturais, térmicas e antioxidantes do produto desenvolvido, visando à compreensão de seu comportamento funcional e tecnológico.
- Otimizar a extração de carotenoides (licopeno e β -caroteno) do tomate, pelos métodos de maceração e percolação, visando à obtenção de extratos carotenoides adequados para aplicação em Xima;
- Aplicar os extratos carotenoides na Xima e analisar seus efeitos no valor nutricional, na atividade antioxidante e nas propriedades tecnológicas da preparação.

4. REFERÊNCIAS

- ALESSI, M. O.; RAUPP, D. S.; GARDINGO, J. R. Caracterização do processamento da farinha de milho biju para o aproveitamento dos subprodutos. **Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, v. 9, n. 2, p. 31–39, 2003.
- AMÉRICO, S.; MANJATE JÚNIOR, J.; ERNESTO, A. Mercados da região sul de Moçambique no período entre 2015 e 2019. **Revista X**, v. 10, n. 2, p. 127–137, 2022.
- AMIRI-RIGI, A.; ABBASI, S. Extraction of lycopene using a lecithin-based olive oil microemulsion. **Food Chemistry**, 2018.
- ANNOR, B. et al. Alto teor proteico (*Zea mays* L.) linhagens endogâmicas para produção de híbridos resistentes à seca e a solos com baixo teor de nitrogênio: materiais e métodos. 2025.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Alegações de propriedades funcionais. Brasília: Ministério da Saúde, 2008.
- ERENSTEIN, O. et al. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. **Eureka Herba Indonesia**, v. 2, n. 1, p. 68–74, 2021.
- GUZEK, D.; JÍLKOVÁ, A.; KOŁOTA-BURDZY, A. Influence of lycopene intake on mental health: a systematic review of randomized controlled trials (RCTs). 2025.
- HABER, L. L. et al. Horticultura em Moçambique: características, tecnologias de produção e pós-colheita. Brasília: Embrapa, 2015.
- HIDAYAT, R.; WULANDARI, P. Methods of extraction: maceration, percolation and decoction.
- HIGBY, K. Method for determination of some aspects of the carotenoid distribution in natural and orange juice. 1961.
- IZZO, L. et al. Bioaccessibility and antioxidant capacity of bioactive compounds from various typologies of canned tomatoes, 2022.
- JAFARI, M. et al. Mechanistic insights on lycopene usage against diabetes and associated complications. 2025.
- KAPAŁA, A.; SZLENDAK, M.; MOTACKA, E. The anti-cancer activity of lycopene: a systematic review of human and animal studies. **Nutrients**, v. 14, n. 23, p. 5152, 3 dez. 2022. DOI: 10.3390/nu14235152.
- KATOUKAM, M. et al. Evaluation of the cross-pollination in maize (*Zea mays* L.) synthetic varieties grown in the High Guinean savannah zone conditions, 2022.
- KHONGTHAW, B. et al. Lycopene: extraction, microencapsulation, and therapeutic properties. **Bioresource Technology Reports**, v. 25, 2024.
- KULAWIK, A.; CIELECKA-PIONTEK, J.; ZALEWSKI, P. The importance of antioxidant activity for the health-promoting effect of lycopene. **Nutrients**, v. 15, n. 17, p. 1–25, 2023.
- LUO, H.; BAO, Y.; ZHU, P. Enhancing the functionality of plant-based yogurt: integration of lycopene through dual-stage fermentation of soymilk. **Food Chemistry**, v. 434, 2024.
- MIRAHMADI, M. et al. Potential inhibitory effect of lycopene on prostate cancer. **Biomedicine &**

Pharmacotherapy, v. 129, p. 110459, 2020.

MOHRI, S. et al. Integration of bioassay and non-target metabolite analysis of tomato reveals that β -carotene and lycopene activate the adiponectin signaling pathway, including AMPK phosphorylation, 2022.

MUKITI, H. M. Optimizing breeding strategies for early-maturing white maize through genetic diversity and population structure. 2025.

OLIVEIRA, M. et al. Evaluating the nutritional and bioactive composition of grape, jaboticaba, and hibiscus by-product flours as potential ingredients for the food industry. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 19, p. 3725–3740, 2025.

PRASANNA, G. S. S. et al. Nutritional profiling: prebreeding initiatives for biofortification in tomatoes (*Solanum lycopersicum*). [**Periódico não informado**], v. 12, n. 2, p. 1–7, 2025.

QING, H. S. et al. Carotenoid analysis and functional characterization of lycopene cyclases in *Zinnia elegans* L. **Industrial Crops and Products**, v. 188, p. 115724, 2022.

SAVESCU, P.; TITA, O.; POENARU, M. M.; NISTOR, C. Synergistic effects produced by certain antioxidants in valuable functional foods from the Romanian markets. **Frontiers in Nutrition**, v. 12, 2025.

SECA, D. A. M. et al. Avaliação de híbridos de milho obtidos do cruzamento entre linhagens com diferentes níveis de degradabilidade. 2022. p. 285–297.

SHAFE, M. O. et al. Lycopene: a potent antioxidant with multiple health benefits. 2024.

SITOIE, C. L.; SANTOS, G. M. dos. Difusões de vegetais em Moçambique: dinâmicas locais, regionais e transcontinentais, com ênfase em plantas amazônicas no contexto do Brasil colônia. **Revista Canoa do Tempo**, v. 14, n. FC, p. 1–30, 2022.

SOUSA, A. K. de et al. Sinergismo do licopeno e outras drogas contra o câncer: uma prospecção tecnológica. **Cadernos de Prospecção**, v. 15, n. 3, p. 993–1006, 2022.

SURYAM, D. Studies on variation in milk production and its constituents in Gir cows during different seasons, lactation stages and parity. 2017.

TAO, A.; WANG, X.; LI, C. Effect of lycopene on oral squamous cell carcinoma cell growth by inhibiting IGF1 pathway. **Cancer Management and Research**, v. 13, p. 723–732, 2021.

TUFAIL, T. et al. Nutritional benefits of lycopene and beta-carotene: a comprehensive overview. **Food Science and Nutrition**, v. 12, n. 11, p. 8715–8741, 2024.

WIDIPUTRI, D. I. et al. Upscaling the *Cymbopogon citratus* (lemongrass) extraction process to obtain optimum alpha-glucosidase inhibitor (AGI) levels. , v. 11, n. February, p. 532–543, 2020.

CAPÍTULO 2

ARTIGO 1- Efeito da maceração nas propriedades químicas, estruturais, térmicas, antioxidantes e microbiológicas de farinhas de milho branco produzidas em Moçambique

Oswaldo Pereira Carlos Muhala^{1*}, Aline Gomes de Moura e Silva², Flávio Silva¹, Raimundo Rafael Gamela³ e Eduardo Ramirez Asquiere²

¹Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 74690-900, Brasil.

²Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 74605-170, Brasil.

³Instituto Superior Politécnico de Quissico, Zavala, Inhambane.

*Email: asquiere@ufg.br

RESUMO

Este estudo investigou o impacto da maceração nas propriedades químicas, físico-químicas, estruturais, térmicas, funcionais, antioxidantes e microbiológicas de farinhas de milho branco dos distritos de Macate e Vanduzi, Moçambique. A farinha não macerada (FNM) apresentou maiores teores de umidade (12,59%) e cinzas (0,69%), enquanto a farinha macerada (FM) demonstrou-se maior proporção de carboidratos totais (77,22% para 80,41%) e maior proporção relativa de lipídios (2,26% para 2,77%), sem alterações relevantes em proteínas, amido e amilose. Açúcares redutores (1,19%) foram detectados apenas na FNM, e a maceração elevou a atividade de água de 0,635 para 0,854. Quanto aos minerais, a FNM apresentou maiores valores de K, Fe, Mn e Zn, enquanto a FM apresentou teores superiores de N e P, com Ca e S semelhantes. A análise colorimétrica indicou FM mais clara, com aumento de luminosidade (91,19 para 92,09) e diferença de cor perceptível ($\Delta E^* = 3,13$). A FNM apresentou índice de absorção de água maior (2,36) que a FM (1,98), enquanto o índice de absorção de óleo foi superior na FM. As análises térmicas mostraram redução da entalpia de gelatinização (5,28 para 4,66 J/g) na FM, confirmada por termogravimetria (140-280°C), enquanto a FNM apresentou maior resistência térmica (150–300°C). A microscopia revelou grânulos mais íntegros na FNM, e o perfil volátil maior diversidade na FM. A atividade antioxidante foi superior na FNM

(ABTS: 1,72; FRAP: 1,065; DPPH: 0,553- $\mu\text{mol TE/g}$). As farinhas analisadas atenderam aos padrões para *Salmonella spp.* e *Escherichia coli*, mas apresentaram inconformidades em relação a *Bacillus cereus* e coliformes totais, evidenciando falhas higiênico-sanitárias no processamento em Moçambique que comprometem a segurança alimentar e favorecem a produção de toxinas.

Palavra-chave: Processamento de milho; Análise térmica; Compostos voláteis; Atividade Antioxidante; Qualidade microbiológica.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma importante fonte alimentar para humanos e animais, com ampla diversidade de produtos e consumo global devido ao seu valor nutricional (Seca et al., 2022). Entre seus derivados, a farinha se destaca como alimento semielaborado, cujas características tecnológicas e nutricionais variam conforme a variedade do grão e as condições de processamento e armazenamento (Ishartani et al., 2019).

Nesse sentido, o milho granulado especialmente o branco, é base da alimentação em Moçambique, sendo importante fonte de energia e matéria-prima para preparação de Xima e outros pratos tradicionais. O grão é processado em farinha por moinhos artesanais ou industriais, com granulometria ajustada por peneiras de até 850 μm , essa farinha contribui para a segurança alimentar, a preservação cultural e a valorização dos sistemas alimentares locais (Erenstein et al., 2022).

Apesar de sua relevância socioalimentar, ainda são escassos estudos integrados sobre o efeito da maceração nas propriedades químicas, estruturais, térmicas e funcionais da farinha de milho branco. Evidências indicam que esse processo pode favorecer o crescimento de *Bacillus cereus* devido ao aumento da atividade de água e ao tempo de exposição, representando risco à segurança alimentar, além de estar associado a maiores contagens de coliformes, bolores e leveduras em função de falhas higiênico-sanitárias (Elbehiry et al., 2024).

A farinha não macerada é obtida de milho branco, degerminado e moído, sendo amplamente utilizada em preparações tradicionais, enquanto a farinha macerada resulta de grãos previamente hidratados, o que pode alterar suas propriedades tecnológicas e funcionais (Ngandu et al., 2025). Assim, a caracterização comparativa dessas farinhas é essencial para compreender suas propriedades, aplicações e valor nutricional, bem como para orientar a melhoria da qualidade e a agregação de valor em alimentos tradicionais, como a Xima.

Os objetivos centrais deste trabalho são avaliar o impacto da maceração nas farinhas de milho branco da região centro de Moçambique, considerando suas propriedades químicas, físico-químicas, estruturais, térmicas, funcionais, antioxidantes e microbiológicas. Além disso, busca-se investigar de que forma esse processo influencia a estabilidade térmica e a integridade dos grânulos de amido, bem como caracterizar o perfil volátil das amostras, destacando compostos associados a processos fermentativos e à degradação lipídica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Materiais

O milho branco utilizado neste estudo foi comprado e processado em farinha na região centro de Moçambique, especificamente na província de Manica, nos distritos de Macate e Vanduzi. O milho branco foi adquirido em mercados informais, diretamente de produtores locais (Figura 1).



Figura 1. A) Exposição para venda de milho em sacos de rafia e recipientes de medição, B) Compra e venda de milho, C) Farinha de milho. Fonte: Autor 2025.

2.2. Processamento de milho branco em farinha macerada (FM) e farinha não macerada (FNM)

Adquiriu-se 10 kg de milho os grãos de milho cujo foram processados em duas farinhas: não macerada (FNM) 5kg, obtida após limpeza, seleção, degerminação mecânica e moagem artesanal; e macerada (FM) 5kg:10L, produzida a partir de grãos degerminados submetidos à maceração em recipiente com água potável por 24 horas, seguida de lavagem, drenagem, secagem natural por cerca de 2 horas e moagem, conforme ilustrado nas Figuras 2 e 3.



Figura 2. A) Milho debulhado, B) Separação em peneiras artesanais de palha, C) Degerminação feita em descascador: maize sheller/maize peeler + grinder, D) Farelo e casca, E) Moagem do grão em Cyclone Hammer Mill, F) Maceração em balde com água por 24h, G) Redução da umidade com exposição ao sol, H) Farinha. Fonte: Autor, (2025)

2.3. Métodos analíticos

2.3.1. Análise físico químico e Caracterização da farinha macerada (FM) e não macerada (FNM)

A composição proximal das farinhas foi determinada de acordo com metodologias padronizadas da Association of Official Analytical Chemists (AOAC 2016). O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico, por meio da secagem da amostra em estufa a 105°C até peso constante, conforme a AOAC, método 925.10. Os lipídeos totais foram quantificados pelo método de Bligh e Dyer (1959), baseado na extração com clorofórmio, metanol e água, seguida da separação das fases e determinação gravimétrica da fração lipídica após evaporação do solvente. O nitrogênio total foi determinado pelo método Micro-Kjeldahl, conforme AOAC, método 960.52, e o teor de proteína bruta foi calculado a partir do conteúdo de nitrogênio, utilizando o fator de conversão 6,25. O teor de cinzas foi obtido por incineração da amostra previamente carbonizada em mufla a 550°C, de acordo com AOAC, método 923.03. Carboidratos totais foram determinados pela diferença entre 100 e o somatório dos teores de umidade, cinzas, proteína, lipídios e expresso em porcentagem.

2.3.2. Açúcares Redutores e Sacarose

Os açúcares redutores foram determinados pelo método do ácido 3,5-dinitrossalicílico

(ADNS). A quantificação foi baseada na redução do reagente ADNS pelos grupos carbonílicos dos açúcares, em meio alcalino, formando complexo de coloração alaranjada. A absorbância foi medida em espectrofotômetro a 540 nm, utilizando curva padrão de glicose. A sacarose foi quantificada indiretamente após hidrólise da amostra usando HCl concentrado e calculada por meio da diferença entre os açúcares redutores totais após hidrólise e os açúcares redutores previamente determinados (Silva et al., 2003).

2.3.3. Acidez titulável

A acidez titulável foi determinada pelo método de acidez álcool-solúvel, conforme a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), baseado na extração dos ácidos orgânicos em etanol, seguida de titulação com solução padronizada de hidróxido de sódio 0,1N, utilizando fenolftaleína como indicador. Os resultados foram expressos em g de ácido málico/100g.

2.3.4. Minerais

Os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn nas farinhas FM e FNM foram determinados após digestão ácida de 0,5 g de amostra com HNO₃ sob aquecimento (120–150 °C) até completa mineralização. As soluções foram diluídas com água deionizada e analisadas por métodos oficiais: Ca, Mg, Fe e Zn por espectrometria de absorção atômica, K e N por espectrofotometria em chama e P por método colorimétrico, conforme protocolos do MAPA (2024) e Malavolta (1997).

2.3.5. Amido total

O teor de amido foi quantificado por digestão ácida em sistema de micro-ondas, conforme metodologia descrita por Cereda, Daiuto e Vilpoux (2004). Para a extração, utilizou-se 1g de amostra previamente homogeneizada, à qual foram adicionados 50mL de solução de HCl 1M, sendo a mistura submetida à digestão em micro-ondas sob potência máxima, promovendo a hidrólise do amido em açúcares redutores. Após o resfriamento, a solução foi neutralizada com NaOH a 10%, utilizando fenolftaleína como indicador de pH. Previamente à quantificação, realizou-se o teste qualitativo com solução de Lugol para confirmar a hidrólise do amido. A determinação quantitativa dos açúcares redutores foi realizada pelo método do ácido 3,5-

dinitrossalicílico (ADNS), com leitura espectrofotométrica, e os valores obtidos foram convertidos em teor de amido usando o fator de conversão de 0,9 (Batista et al., 2026)

2.3.6. Amilose

O teor de amilose foi determinado pelo método de Juliano (1979), com modificações, baseado na complexação da amilose com iodo após solubilização alcalina do amido. Para a análise, 0,5 g de amostra foram dispersos em 1 mL de etanol 95%, seguidos de 9 mL de NaOH 1N, e aquecidos em banho-maria a 70 °C por 9 minutos para solubilização. Após resfriamento, o volume foi completado para 100 mL, o complexo amilose-iodo foi formado e a absorbância medida a 590 nm. A quantificação foi feita por curva padrão, com resultados expressos em percentagem de amilose.

2.3.7. Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada por peneiramento seco, utilizando peneira de aço inoxidável malha 20 ($\approx 850 \mu\text{m}$), em duas repetições por farinha. Em cada ensaio, 100 g de farinha homogeneizada foram pesadas e submetidas ao peneiramento manual até a separação das partículas descritas pela AACCI 66-20.01. As frações passante e retida foram então coletadas, pesadas e expressas em percentagem da massa inicial, calculando-se posteriormente a média e o desvio-padrão para avaliação da distribuição granulométrica.

2.3.8. Compostos Fenólicos Totais

O conteúdo de compostos fenólicos totais foi determinado nos extratos das farinhas. O extrato foi preparado conforme Larrauri, Rupérez, Saura-Calixto (1997) utilizando metanol 50%, acetona 70% e água. Para quantificar os compostos fenólicos totais utilizou-se o método de Folin–Ciocalteu, conforme descrito por Obanda e Owuor (1997), baseado na reação colorimétrica de oxidação-redução dos compostos fenólicos. O ácido gálico foi utilizado para construção da curva analítica. O ensaio consistiu na adição do reagente de Folin–Ciocalteu ao extrato, seguida da adição da solução de carbonato de sódio, com posterior incubação por 30min para o desenvolvimento da cor. A absorbância foi medida em espectrofotômetro a 700 nm, e os resultados foram expressos como mg EAG/g, equivalente a ácido gálico.

2.3.9. Análise de Cor

A cor das amostras foi determinada por colorimetria refletiva em colorímetro portátil Minolta CR-400, no sistema CIELAB, previamente calibrado com bloco padrão branco, conforme recomendações do fabricante e metodologia de Cabral et al. (2025). Foram obtidos os parâmetros L^* , a^* e b^* , que representam luminosidade e variações nos eixos verde-vermelho e azul-amarelo, respectivamente. A partir desses valores, calcularam-se o croma ($C^* = \sqrt{a^2 + b^2}$), o ângulo hue ($h^\circ = \arctan(b^*/a^*)$) e o ΔE^* [$\sqrt{((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)}$], indicador de diferença perceptível entre as farinhas (Hunterlab, 2008).

2.3.10. Atividade de Água (A_w)

A atividade de água das farinhas de milho macerada (FM) e não macerada (FNM) foi determinada utilizando um medidor de atividade de água Lab Swift (Novasina, Suíça), baseado no princípio de equilíbrio da umidade relativa do ar em sistema fechado. As amostras foram introduzidas na câmara de medição do equipamento previamente calibrado com padrões salinos certificados fornecidos pelo fabricante. As leituras foram realizadas à temperatura ambiente ($27 \pm 1^\circ\text{C}$).

2.3.11. Índice de Absorção de Água (IAA) e Índice de Absorção de Óleo (IAO)

Os índices de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO) das farinhas FM e FNM foram determinados por método gravimétrico. Para isso, 1,0 g de amostra foi pesado em tubos de centrífuga, adicionando-se 10 mL de água destilada (IAA) ou 10 mL de óleo de soja (IAO). As suspensões foram agitadas, mantidas em repouso por 30 minutos com agitações intermitentes e, em seguida, centrifugadas a 3000 rpm por 10 minutos. O sobrenadante foi descartado e os tubos com o resíduo pesados novamente. Os índices de absorção foram calculados conforme ABU (2023).

2.3.12. Análise termogravimétrica (TG)

A análise termogravimétrica (TG) foi conduzida em termo balança Shimadzu TGA-50, sob atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50 mL/min. Aproximadamente 10 mg das amostras de

farinha macerada (FM) e farinha não macerada (FNM) foram acondicionados em cadinho de platina e aquecidos de 25°C a 600°C, a uma taxa de aquecimento de 10°C/min, conforme a norma ASTM E1131-20 (ASTM, 2020).

2.3.13. Análise de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A análise por calorimetria diferencial de varredura (DSC) foi realizada em um calorímetro Shimadzu DSC-60A, também sob atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50 mL/min. Cerca de 10 mg de amostra (FNM e FM) foram selados em cadinhos de alumínio herméticos, enquanto um cadinho vazio foi utilizado como referência. O procedimento seguiu a metodologia descrita na norma ASTM E537 (ASTM, 2020).

2.3.14. Atividade antioxidante

Para avaliação da atividade antioxidante foi preparado extratos da farinha conforme Larrauri, Rupérez, Saura-Calixto (1997) utilizando metanol 50%, acetona 70% e água. A atividade antioxidante foi determinada utilizando o método do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), conforme descrito por Rufino et al. (2010). Em ambiente escuro, 0,1 mL do extrato em diferentes diluições foi adicionado a 3,9 mL da solução de DPPH 0,06mM, homogeneizado e mantido em repouso por 120 min. A absorbância foi medida a 517 nm. Uma curva padrão foi preparada a partir de soluções de Trolox variando de 200 a 1000 µM, e os valores de absorbância correspondentes foram usados para obter a equação de calibração. Os resultados foram expressos µmol Trolox/g.

O ensaio ABTS (2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)) também foi conduzido de acordo com Rufino et al. (2010). O radical ABTS•⁺ foi gerado pela reação de 5 mL da solução estoque de ABTS (7 mM) com 88 µL de persulfato de potássio (140 mM), mantendo a mistura no escuro à temperatura ambiente por 16 horas. Antes da análise, a solução foi diluída em etanol até atingir absorbância de $0,70 \pm 0,05$ a 734 nm. Uma curva padrão foi preparada utilizando soluções de Trolox variando de 100 a 2000 µM, onde 30 µL de cada solução padrão foram misturados com 3,0 mL da solução de radical ABTS•⁺. Após 6 minutos de reação no escuro, a absorbância foi medida a 734 nm. Os resultados foram expressos µmol Trolox/g.

O método FRAP é um método de transferência de elétrons baseado na capacidade de um extrato ou substância isolada, de reduzir o ferro. Em meio ácido (pH 3,6), o complexo férrico

tripiridiltriazina é reduzido ao ferroso, na presença de um antioxidante, mudando sua coloração para azul (Benzie; Strain, 1996). Uma curva padrão foi preparada utilizando soluções de Trolox variando de 104 a 800 μM . A reação ocorreu com a mistura de 90 μL de extrato, 270 μL de água e 2,7mL de FRAP. Após 30 minutos de reação em banho-maria a 37°C, a absorbância foi medida a 595nm. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol Trolox/g}$ (Rufino et al., 2010; Pulido et al, 2000).

2.3.15. Análise dos Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)

Para a análise dos compostos orgânicos voláteis foi utilizado um sistema de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS, Shimadzu GCMS-QP2020 NX), equipado com coluna capilar do tipo Rtx-5MS, DB-5MS (30 m \times 0,25 mm \times 0,25 μm). O gás de arraste utilizado foi hélio, com vazão de 1,0 mL $\cdot\text{min}^{-1}$. O volume de injeção foi de 1,0 μL , no modo split (1:20). A temperatura do injetor foi mantida a 250°C. O programa de temperatura do forno iniciou em 40°C, com aquecimento de 5°C/min até 250–280°C, permanecendo nessa temperatura por 5–10 min. A ionização foi realizada por impacto eletrônico (70 eV), no modo varredura (SCAN), na faixa de massa de 40–450 m/z. A identificação dos compostos foi feita por comparação dos espectros de massas com a biblioteca NIST (Cabral et al., 2025).

2.3.16. Análises Microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos (LCQA/FF/UFG), conforme o *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods* (APHA, 2015). As amostras foram homogeneizadas, submetidas a diluições decimais e analisadas para os microrganismos de interesse. *Escherichia coli* foi determinada por contagem em placas Petrifilm™ E. coli/Coliformes, incubadas a 35 ± 1 °C por 24 h, com resultados em UFC/g. A pesquisa de *Salmonella* spp. foi realizada por método de presença/ausência em 25 g, com enriquecimento seletivo e isolamento em ágares XLD e HE. *Bacillus cereus* foi quantificado em ágar MYP após diluições seriadas, com incubação a 30 ± 1 °C por 24–48 h. Bolores e leveduras foram determinados em ágar DG-18, incubado a 25 ± 1 °C, e coliformes totais a 35 °C pelo método do Número Mais Provável em caldo LST. Os resultados foram interpretados conforme a Instrução Normativa nº 161/2022 (ANVISA, 2022).

2.3.17. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A morfologia das farinhas de milho branco macerada (FM) e não macerada (FNM) foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), utilizando um microscópio JEOL JSM-6610, equipado com sistema de microanálise por energia dispersiva de raios X (EDS, Thermo Scientific NSS Spectral Imaging). As amostras foram previamente fixadas em suportes metálicos (stubs) e metalizadas com uma fina camada de ouro. As análises foram realizadas sob alto vácuo, com tensão de aceleração de 15–20 kV e corrente do feixe ajustada automaticamente pelo equipamento. As micrografias foram obtidas em aumentos de 100× e 10.000× (Goldstein et al, 2007).

2.4. Análise Estatística

As análises foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos como média \pm desvio-padrão. Para a comparação entre duas médias aplicou-se o teste *t* de Student a um nível de significância $p \leq 0,05$. A análise estatística foi conduzida no software Statistica®, versão 12.5 (StatSoft Inc., USA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Composição físico-química e minerais

A Tabela 1 apresenta os resultados da composição físico-química obtidos em farinhas não macerada (FNM) e farinha macerada (FM). Conforme esperado para farinhas obtidas por moagem seca, ambas apresentaram predominância de carboidratos, especialmente amido, seguidos por proteínas e lipídeos, em consonância com os valores relatados por Ola; Mohamed; Omran (2024) e Hernández-Villaseñor et al. (2025).

Tabela 1. Composição físico-química da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM)

Parâmetros	FNM	FM	Farinha de milho branco ¹	Farinha de milho branco híbrido ²
Umidade (%)	12,59 ± 0,60 ^a	9,36 ± 0,60 ^b	9,24 ± 0,03	9,78 ± 0,04
Cinzas (%)	0,69 ± 0,07 ^a	0,23 ± 0,05 ^b	1,22 ± 0,03	2,29 ± 0,04
Lipídeos (%)	2,26 ± 0,26 ^b	2,77 ± 0,17 ^a	3,25 ± 0,08	3,78 ± 0,03
Proteínas (%)	7,24 ± 0,16 ^a	7,23 ± 0,03 ^a	8,72 ± 0,04	8,65 ± 0,03
Carboidratos totais (%)	77,22 ± 0,41 ^b	80,41 ± 0,56 ^a	–	76,39 ± 0,07
Açúcares redutores (%)	1,19 ± 0,02	ND	–	–
Amido (%)	67,30 ± 3,30 ^a	65,01 ± 3,85 ^a	65,72 ± 0,08	63,07 ± 0,17
Amilose (%)	27,35 ± 0,35 ^a	26,15 ± 1,06 ^a	23,13 a 27,65	–
Acidez titulável (% ácido málico)	0,19 ± 0,22 ^a	0,19 ± 0,11 ^a	–	0,43 ± 0,02
A _w	0,64 ± 0,01 ^b	0,85 ± 0,01 ^a	–	–

^{*1}Ola; Mohamed; Omran, 2024; ²Hernández-Villaseñor et al., 2025; resultados expressos como média e desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças estatística significativa pelo teste *t de Student* ($p \leq 0,05$). ND-Não detetado.

Ambas as farinhas apresentaram teores de umidade dentro da faixa típica para farinhas de milho branco (7–11%) (Hernández-Villaseñor et al., 2025). A farinha macerada apresentou menor teor de humidade e maior A_w , favorecendo maior estabilidade microbiológica e vida de prateleira (Ngandu et al., 2025). Já a farinha não macerada apresentou valor um pouco mais elevado, porém dentro do limite máximo de 15% estabelecido pela RDC nº 711/2022 da ANVISA (ANVISA, 2022b). Assim, ambas atendem aos requisitos normativos, sendo a umidade um parâmetro essencial para a estabilidade e o risco de deterioração durante o armazenamento (Ola; Mohamed; Omran, 2024).

A farinha macerada apresentou menor teor de cinzas, indicando redução do conteúdo mineral. Valores mais baixos sugerem maior pureza amilácea, já que os minerais se concentram no gérmen e nas camadas externas do grão. Essa redução pode estar associada à degerminação e à lixiviação de minerais durante a maceração, resultando em valores ligeiramente inferiores aos relatados por Hernández-Villaseñor et al., (2025).

Os teores de lipídeos apresentaram leve variação e valores um pouco inferiores aos relatados na literatura, possivelmente devido à remoção parcial do gérmen ou ao método de extração, mas ainda próximos aos cerca de 3% reportados por Ola, Mohamed e Omran (2024), indicando composição típica. O amido total foi a principal fração, com valores compatíveis aos da literatura (63,07–65,72%), confirmando o predomínio do endosperma e o potencial

tecnológico das farinhas para processos que exigem boa gelatinização, absorção de água e estabilidade térmica (Ola; Mohamed; Omran, 2024; Ding et al., 2025; Simić et al., 2024).

O teor de amilose manteve-se próximo ao valor de 25,39% relatado para farinhas de milho branco (Ola; Mohamed; Omran, 2024). Essa fração é determinante nas propriedades de gelatinização e retrogradação, influenciando textura, firmeza e estabilidade, sendo teores mais elevados associados a retrogradação mais rápida e géis mais firmes e estáveis (Tan et al., 2025; Wang et al., 2024).

Os carboidratos totais apresentaram valores elevados, típicos de farinhas de cereais, com pequenas variações atribuídas ao processamento, especialmente à maceração, que pode causar lixiviação de açúcares simples ou concentração relativa desses compostos pela redução de umidade e minerais. Essa fração contribui para as propriedades energéticas e sensoriais, influenciando sabor, fermentabilidade e reatividade térmica. Os açúcares redutores foram detectados apenas na farinha não macerada, enquanto na macerada foram inexistentes. Como os açúcares totais do milho variam entre 1 e 3% (FAO, 1995), e o processamento com remoção do gérmen e pericarpo tende a reduzir açúcares solúveis (Gallego-Castillo et al., 2021), esses resultados são compatíveis com a literatura. A sacarose não foi detectada em nenhuma das amostras.

A acidez titulável foi inferior à relatada por Hernández-Villaseñor et al. (2025), sem diferença significativa entre FNM e FM. A farinha não macerada apresentou atividade de água típica de produtos secos, associada à maior estabilidade microbiológica ($A_w < 0,70$), enquanto a macerada mostrou A_w de 0,85, indicando maior disponibilidade de água e condição favorável ao crescimento microbiano (Jay et al., 2005). Dessa forma, os resultados evidenciam que a maceração influencia significativamente a atividade de água da farinha, devendo ser considerada no controle de qualidade e nas estratégias de armazenamento do produto.

A maceração promoveu alterações significativas no perfil mineral da farinha de milho conforme a tabela 2, e reduções de K, Ca e Fe na farinha macerada (FM) em relação à farinha não macerada (FNM), além de aumento de S e Mn, enquanto N, P e Zn permaneceram estatisticamente semelhantes. A diminuição dos macrominerais na FM está associada à lixiviação de íons solúveis para a água durante o processo de maceração, fenômeno comum em cereais submetidos a tratamentos úmidos. Em contrapartida, o aumento relativo de alguns microminerais, como Mn, pode resultar da desestruturação da matriz do grão e da redução de fitatos, compostos que complexam minerais e limitam sua disponibilidade. Estudos recentes demonstram que a maceração e outros processos tradicionais em milho reduzem o teor de fitato e modificam a retenção mineral, podendo ocorrer perdas por solubilização e aumento da

biodisponibilidade de certos elementos (Oluwajuyitan et al., 2025).

Tabela 2. Teores de macro e microminerais das farinhas não macerada (FNM) e macerada (FM).

Categoria	Mineral	FNM	FM
Macrominerais (g/100 g)	Nitrogênio (N)	1,21 ± 0,01 ^a	1,25 ± 0,07 ^a
	Fósforo (P)	0,09 ± 0,01 ^a	0,11 ± 0,01 ^a
	Potássio (K)	0,18 ± 0,03 ^a	0,05 ± 0,01 ^b
	Cálcio (Ca)	0,16 ± 0,01 ^a	0,06 ± 0,01 ^b
	Enxofre (S)	0,01 ± 0,00 ^b	0,04 ± 0,00 ^a
Micronutrientes (mg/100g)	Ferro (Fe)	20,05±0,78 ^a	8,65 ± 0,21 ^b
	Manganês (Mn)	0,20 ± 0,00 ^b	0,65 ± 0,07 ^a
	Zinco (Zn)	1,60 ± 0,57 ^a	0,55 ± 0,07 ^a

Valores expressos como média ± desvio-padrão. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste t de Student ($p > 0,05$).

3.2. Cor

A análise colorimétrica (Tabela 3) mostrou que a farinha macerada apresentou maior luminosidade (L^*), parâmetro que varia de 0 (preto) a 100 (branco) e indica o quão clara ou escura é a amostra, resultando em aparência mais clara que a farinha não macerada. Houve redução dos valores de a^* e b^* , coordenadas responsáveis pelas tonalidades, em que a^* representa a variação do vermelho (+) ao verde (-) e b^* do amarelo (+) ao azul (-), indicando menor intensidade amarela e leve deslocamento para a região esverdeada. Essa redução refletiu na diminuição do croma (C^*), parâmetro que expressa a intensidade ou saturação da cor, ou seja, quanto mais alto o valor, mais viva e intensa é a coloração. O ângulo de tonalidade (h°), que indica o tipo de cor predominante no produto, manteve-se próximo de 90° , faixa associada às tonalidades amarelas, porém com menor intensidade. O valor de ΔE^* de 3,13, que representa a diferença total de cor entre as amostras, confirma que a variação é visualmente perceptível, evidenciando o efeito da maceração sobre as características cromáticas da farinha (Hunterlab, 2008; Oluwadiran et al., 2025).

Tabela 3. Parâmetros colorimétricos da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM)

Amostra	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
FNM	91,19 ± 0,01 ^b	0,16 ± 0,01 ^a	8,55 ± 0,01 ^a	8,55 ± 0,01 ^a	88,90° ± 0,07 ^b
FM	92,09 ± 0,02 ^a	-0,05 ± 0,01 ^b	5,55 ± 0,01 ^b	5,55 ± 0,01 ^b	90,53° ± 0,08 ^a

Resultados expressos como média e desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$). L = luminosidade; a* = eixo verde-vermelho; b* = eixo azul-amarelo; C* = croma (saturação da cor); h° = ângulo de tonalidade (hue).

3.3. Índice de absorção de água (IAA) e Índice de absorção de óleo (IAO)

Os resultados da Tabela 4 mostram que a farinha não macerada apresentou maior índice de absorção de água (IAA), enquanto a macerada apresentou maior índice de absorção de óleo (IAO), indicando alterações estruturais causadas pela maceração. O IAA expressa a capacidade da farinha de reter água, relacionada à presença de grupos hidrofílicos do amido, enquanto o IAO indica a afinidade por lipídios, associada à exposição de regiões hidrofóbicas e ao aumento da porosidade da matriz. Assim, a maceração pode ter desorganizado a estrutura amilácea, reduzindo a retenção de água e favorecendo a absorção de óleo (Zhang et al., 2023; Oliveira et al., 2024).

Do ponto de vista tecnológico, a farinha não macerada, com maiores valores de IAA, e a farinha macerada apresenta maior capacidade de retenção de água e óleo, sendo indicado com potencial aplicação em produtos como panificados e extrusados, nos quais a hidratação e a interação com lipídios influenciam diretamente o volume e a textura. Esses valores indicam maior disponibilidade de grupos hidrofílicos e hidrofóbicos na matriz. Por outro lado, a farinha macerada, com menor absorção, apresenta comportamento funcional mais estável e previsível, sendo indicada para formulações que exigem menor retenção de líquidos e textura mais controlada, confirmando a maceração como estratégia de modificação funcional (Zhu et al., 2024).

Tabela 4. Índice de absorção de água (IAA) e óleo (IAO) da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM)

Amostra	IAA	IAO
FNM	2,36 ± 0,08 ^a	2,04 ± 0,01 ^a
FM	1,98 ± 0,40 ^b	2,51 ± 0,20 ^a

Resultados expressos como média e desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

3.4. Análise térmica por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A análise por DSC permite caracterizar a gelatinização do amido, desnaturação de proteínas

e fusão de lipídeos, sendo útil para controle de qualidade (Mothé, 2005). A Tabela 5 mostra que a farinha não macerada apresentou maior temperatura de pico ($\approx 81,2$ °C) e entalpia de gelatinização ($\Delta H = 5,28$ J/g), indicando maior estabilidade térmica e cristalinidade, enquanto a macerada exibiu menores valores de T_p (78,46 °C) e ΔH (4,66 J/g), sugerindo redução da cristalinidade e maior desorganização estrutural. Essas mudanças podem resultar da lixiviação de amilose e hidrólise de regiões amorfas durante a maceração, comportamento semelhante ao observado em farinhas submetidas a tratamentos úmidos (Dominguez-Hernandez et al., 2025; Mu et al., 2025; Hernández-Villaseñor et al., 2025; Ola; Mohamed; Omran, 2024).

Tabela 5. Parâmetros térmicos do amido da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM) obtidos por DSC.

Amostra	T_o (°C)	T_p (°C)	T_f (°C)	ΔH * (J/g)	Interpretação
FNM	72,12	81,25	92,46	$5,28 \pm 0,13^a$	Maior estabilidade térmica e cristalinidade dos grânulos de amido.
FM	68,33	78,46	89,05	$4,66 \pm 0,11^b$	Redução na cristalinidade e na energia de gelatinização, indicando estrutura parcialmente desorganizada.

* T_o = temperatura de início da gelatinização; T_p = temperatura de pico; T_f = temperatura final; ΔH = entalpia de gelatinização. *Resultado expresso como média e desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

Esses resultados indicam que a maceração altera a estrutura física e térmica do amido, tornando-o mais suscetível à gelatinização e pode favorecer o cozimento rápido, extrusão e fermentação controlada. A redução da entalpia e temperatura de pico na DSC, associada com o início de degradação em temperatura mais baixas na TG, surge que a maceração promoveu alteração na organização térmica de amido, as duas técnicas complementam e reforçam a interpretação da menor estabilidade térmica da farinha macerada (Simić et al., 2024; Toyi; Fassinou; Olum, 2025; Yan et al., 2024).

3.5. Análise Termogravimétrica (TG)

Os dados termogravimétricos (TG) das farinhas FNM e FM, apresentados na Tabela 6 mostram dois principais eventos de perda de massa. O primeiro, até cerca de 120 °C, corresponde à eliminação de água adsorvida e umidade estrutural, além de possíveis efeitos da maceração. O segundo, entre 150 °C e 300 °C, relaciona-se à degradação térmica das cadeias

de amilose e amilopectina, caracterizando a decomposição do material orgânico (Both et al., 2019; Singh et al., 2003; Wijesinghe et al., 2015).

Tabela 6. Parâmetros termogravimétricos do amido da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM) obtidos por TG

Amostra	Faixa de Degradação (°C)	Estabilidade Térmica	Interpretação
FNM	150–300	Alta	Estrutura mais ordenada e resistente à degradação.
FM	140–280	Moderada/Baixa	Estrutura menos organizada e maior sensibilidade térmica.

A FNM iniciou a degradação em temperaturas mais elevadas e apresentou menor perda de massa, sugerindo maior estabilidade térmica e possível maior organização molecular, enquanto a FM se decompôs em temperaturas inferiores, evidenciando menor resistência térmica e maior desorganização estrutural, resultado da desestruturação parcial das cadeias poliméricas pela maceração (Singh et al., 2003). Assim, a FNM é pode ser mais indicada para aplicações que exigem alta estabilidade térmica, enquanto a FM se mostra mais indicada para processos que demandam gelatinização ou modificação rápida em temperaturas moderadas (Both et al., 2019; Singh et al., 2003).

3.5. Atividade Antioxidante

Os resultados da Tabela 7 indicam maior atividade antioxidante da farinha de milho branco não macerada nos ensaios ABTS, FRAP e DPPH em comparação à macerada, com diferenças significativas para ABTS e DPPH ($p \leq 0,05$); a atividade redutora (FRAP) foi detetada apenas na farinha não macerada, evidenciando redução da capacidade antioxidante após a maceração. Embora o teor de fenólicos totais tenha sido numericamente superior na farinha não macerada ($0,16 \pm 0,03$ mg EAG/g) em relação à macerada ($0,09 \pm 0,01$ mg EAG/g), havendo diferença significativa ($p > 0,05$), sugerindo que a redução da atividade antioxidante decorre de alterações na disponibilidade e reatividade dos compostos fenólicos, e não de seu conteúdo total, destacando o impacto da maceração sobre a funcionalidade antioxidante da farinha.

Tabela 7. Atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais (CFT) da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM)

Amostra	CFT (mg EAG/g)	ABTS (μmol TE/g)	FRAP (μmol TE/g)	DPPH (μmol TE/g)
FM	0,09 \pm 0,01 ^b	1,32 \pm 0,02 ^b	ND*	0,04 \pm 0,04 ^b
FNM	0,16 \pm 0,03 ^a	1,72 \pm 0,14 ^a	1,07 \pm 0,18 ^a	0,55 \pm 0,15 ^a

*ND: não detectado Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

Essas diferenças têm implicações tecnológicas, pois farinhas com maior atividade antioxidante apresentam maior estabilidade oxidativa e potencial nutracêutico; assim, a redução observada na farinha macerada indica perda desses atributos, possivelmente por degradação térmica e fotoxidação (Oluwadiran et al., 2025). Esse comportamento é consistente com a literatura, que relata diminuição da capacidade antioxidante após hidrólise, imersão e maceração, devido à solubilização e oxidação de compostos fenólicos, com redução de FRAP e DPPH, sendo a ausência de atividade FRAP indicativa de perda de compostos redutores, como flavonoides e ácidos fenólicos (Martins et al., 2025; Gomes & Andrade, 2024; Silva et al., 2023).

3.6. Caracterização dos compostos orgânicos voláteis (COVs) por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS)

A caracterização dos compostos voláteis (Tabela 8) revelou diferenças significativas entre FNM e FM, indicando distintos níveis de oxidação e fermentação. A FNM apresentou perfil simples, com predominância de etanol (70,65%) e hexanal (17,46%), enquanto a FM mostrou maior diversidade, dominada por 1-butanol, 3-metil-(47,27%), hexanal (28,93%) e pentanal (9,27%). O etanol em FNM indica fermentação leve, e o hexanal, presente em ambas, está associado à oxidação de ácidos graxos insaturados (Frankel, 2012; Shahidi; Zhong, 2010).

Na FM, a presença de álcoois de cadeia ramificada e ácido isovalérico indica intensificação de processos fermentativos e proteolíticos, possivelmente associada a maior umidade ou tempo de estocagem, gerando notas frutadas, alcoólicas e pungentes (Cabral et al., 2025; Cai et al., 2024; Frankel, 2012). O aumento de aldeídos, como hexanal e pentanal, reforça a ocorrência de oxidação lipídica mais pronunciada, comum em farinhas com maior teor de lipídios ou maior exposição ao oxigênio e à luz (Shahidi; Zhong, 2010; Singh et al., 2003; Tronchoni et al., 2021).

Tabela 8. Compostos orgânicos voláteis identificados na farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM)

Composto volátil	RT* (min)	Área (%) FNM	Área (%) FM	Fórmula química	Grupo funcional	Contribuição sensorial principal
Etanol	3,30	70,65	—	C ₂ H ₆ O	Álcool	Doce, fermentado, alcoólico
Triclorometano	4,79	11,90	3,69	CHCl ₃	Halogenado	Resíduo solvente, sem contribuição sensorial significativa
Pentanal	—	—	9,27	C ₅ H ₁₀ O	Aldeído	Frutado, verde, rançoso
Hexanal	6,58	17,46	28,93	C ₆ H ₁₂ O	Aldeído	Gramíneo, verde, oxidado
1-Propanol, 2-metil-	—	—	4,62	C ₄ H ₁₀ O	Álcool	Frutado, doce, fermentativo
1-Butanol, 3-metil- (isobutanol)	—	—	47,27	C ₅ H ₁₂ O	Álcool	Frutado, alcoólico, fermentado
Ácido butanoico, 3-metil- (isovalérico)	—	—	6,23	C ₅ H ₁₀ O ₂	Ácido carboxílico	Pungente, queijo, fermentado

*RT: tempo de retenção; Área (%): área relativa do pico cromatográfico; fórmula e grupo funcional conforme espectro de massas (GC-MS).

De modo geral, a farinha não macerada (FNM) apresentou perfil químico mais simples e estável, indicando menor degradação oxidativa, enquanto a FM mostrou maior complexidade, refletindo reações mais intensas de oxidação e fermentação. Esse comportamento, semelhante ao relatado por Ekpa (2020), evidencia que a estabilidade química e o potencial sensorial das farinhas dependem das condições de processamento e armazenamento, tornando a análise de voláteis uma ferramenta eficaz para avaliar a qualidade tecnológica e sensorial.

3.7. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) das farinhas FNM e FM revelou diferenças morfológicas discretas, porém relevantes, nos grânulos de amido (Figura 3). Ambas apresentaram grânulos esféricos ou ovalados, com tamanhos entre 2 e 50 µm, típicos de cereais (Singh et al., 2003). A FNM mostrou superfícies mais lisas e contornos definidos, com pequenas fissuras associadas ao processamento mecânico, enquanto a FM apresentou maior heterogeneidade, rugosidade e porosidade superficial, possivelmente devido a reorganização

estrutural induzida por maceração. Essas diferenças podem influenciar a gelatinização e a absorção de água, afetando o comportamento reológico e funcional das farinhas (Bello-Pérez & Flores-Silva, 2020; Both et al., 2019; Yu; Chang; Ma, 2010).

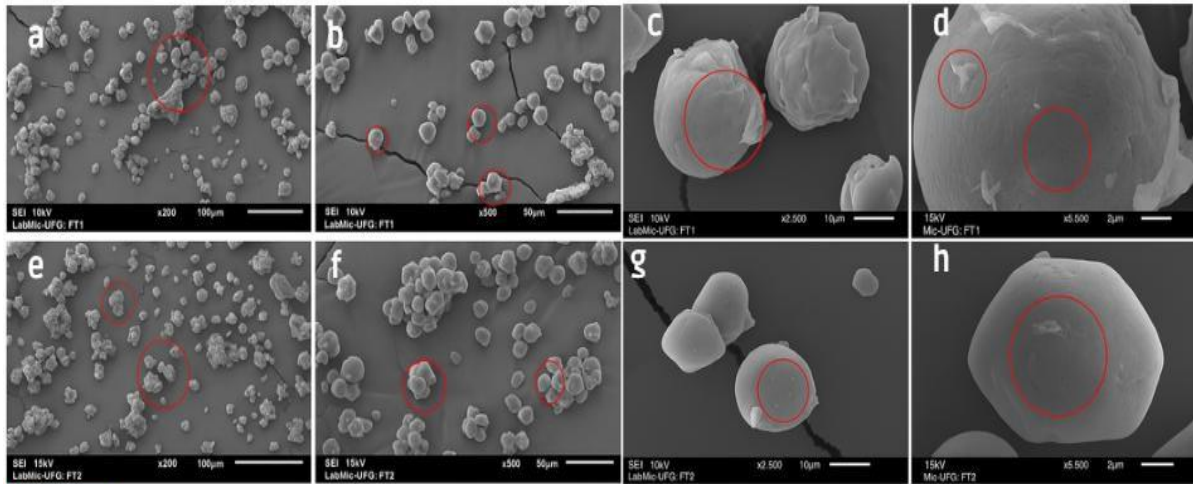


Figura 3. As marcações em vermelho destacam os principais grânulos representativos em cada amostra, evidenciando as diferenças de tamanho, forma e textura superficial entre FNM (a; b; c; d) e FM (e; f; g; h).

De modo geral, a morfologia observada mostra que a integridade dos grânulos de amido influencia as propriedades tecnológicas e térmicas dos produtos amiláceos. A amostra FNM apresentou estrutura mais preservada e compacta, enquanto FM revelou alterações superficiais associadas a possíveis modificações estruturais.

3.8. Granulometria

A farinha não macerada apresentou fração passante média de 77,50% e retida de 22,50%, enquanto a macerada mostrou 82,00% passante e 18,00% retida, indicando maior proporção de partículas finas. Esse resultado observou-se tendência de maior proporção de partículas finas maceradas, porém sem diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 9. Distribuição granulométrica da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM) determinada por peneiramento em malha 20

Amostra	Fração passante (%)	Fração retida (%)
FNM	77,50 ± 2,12 ^a	22,50 ± 2,12 ^a
FM	82,00 ± 2,83 ^a	18,00 ± 2,83 ^a

Resultados expressos como média e desvio padrão. Letras diferentes na mesma

coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

3.9. Análise microbiológica

A Tabela 10 mostra que as farinhas macerada e não macerada atenderam aos critérios para *Salmonella spp.* e *Escherichia coli*, porém apresentaram não conformidade devido às elevadas contagens de *Bacillus cereus*, acima do limite da Instrução Normativa nº 161/2022 (ANVISA, 2022). Esse resultado é relevante, pois *B. cereus* é um patógeno esporulado comum em produtos farináceos, capaz de produzir toxinas termoestáveis e causar surtos de toxinfecção alimentar.

Tabela 10. Avaliação microbiológica da farinha de milho branco não macerada (FNM) e macerada (FM)

Parâmetro microbiológico	Unidade	FNM	FM	IN 161/2022	Conformidade
<i>Escherichia coli</i>	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$	$< 1,0 \times 10^1$	$\leq 1,0 \times 10^1$	Conforme
<i>Salmonella spp.</i>	Presença/25 g	Ausência	Ausência	Ausência	Conforme
<i>Bacillus cereus</i>	UFC/g	$3,5 \times 10^2$	$2,0 \times 10^3$	$\leq 1,0 \times 10^2$	Não conforme
Bolores e leveduras	UFC/g	$4,8 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	Não especificado	Indicativo de deterioração
Coliformes totais (35 °C)	NMP/g	$> 1,1 \times 10^3$	$> 1,1 \times 10^3$	$\leq 1,0 \times 10^2$	Não conforme

A farinha macerada apresentou maior carga de *Bacillus cereus*, indicando que a maceração pode favorecer a germinação de esporos devido ao aumento da atividade de água e ao tempo de exposição, com contagens acima de 10^2 UFC/g associadas ao risco de produção de toxinas (; Messelhäusser & Ehling-Schulz, 2024; Yang et al., 2023; Abdul & Pavoni, 2025). Embora os indicadores de contaminação fecal estejam dentro dos limites, as altas contagens de coliformes totais sugerem falhas higiênico-sanitárias, e os níveis elevados de bolores e leveduras indicam risco de deterioração e possível produção de micotoxinas, especialmente na farinha não macerada sob armazenamento inadequado (Karanth et al., 2023; Wason et al., 2024). Assim, ambas as farinhas apresentam limitações microbiológicas, com *B. cereus* como principal fator crítico, reforçando a necessidade de controle rigoroso do processamento, armazenamento e monitoramento microbiológico contínuo (Elbehiry et al., 2024).

4. CONCLUSÃO

O estudo evidencia que a maceração exerce influência determinante nas propriedades químicas, estruturais, térmicas, antioxidantes e funcionais das farinhas de milho branco, modulando diretamente sua aplicabilidade tecnológica. A farinha macerada apresenta maior suscetibilidade à gelatinização, maior reatividade térmica e elevada capacidade de absorção de água e óleo, favorecendo sua utilização em processos como extrusão, fermentação e cocção rápida. Em contraste, a farinha não macerada demonstra maior estabilidade térmica e maior resistência a processos que exigem temperaturas elevadas.

Adicionalmente, a análise por microscopia eletrônica de varredura confirma essas diferenças, evidenciando grânulos de amido mais íntegros e compactos na farinha não macerada, enquanto a farinha macerada apresenta alterações superficiais e sinais de desestruturação, corroborando a relação entre integridade estrutural e desempenho tecnológico. No que se refere às propriedades bioativas, observa-se que a maceração reduz a capacidade antioxidante, sendo a farinha não macerada superior nos ensaios ABTS, DPPH e FRAP, indicando maior preservação de compostos fenólicos.

Por outro lado, a análise de compostos voláteis revela um perfil mais simples e estável na farinha não macerada, ao passo que a farinha macerada apresenta maior diversidade de compostos associados a processos de oxidação e fermentação, com implicações sensoriais e químicas relevantes. Assim, a maceração configura-se como um fator crítico na modulação das propriedades físico-químicas e tecnológicas das farinhas, exigindo controle rigoroso do processo para assegurar qualidade e estabilidade do produto final.

Entretanto, sob as condições reais de processamento observadas em Moçambique, verificou-se contaminação microbiológica significativa, com predominância de *Bacillus cereus*, evidenciando deficiências nas condições higiênico-sanitárias. Nesse contexto, fatores como o uso de água não potável, a presença de maquinaria oxidada, práticas inadequadas de higiene e a proximidade entre a criação de aves e o armazenamento de cereais constituem potenciais fontes de contaminação. Conseqüentemente, tais condições favorecem a proliferação microbiana, aumentam o risco de deterioração e possibilitam a produção de toxinas, comprometendo a inocuidade alimentar e reforçando a necessidade de implementação rigorosa de boas práticas de fabricação e monitoramento microbiológico contínuo.

6. REFERÊNCIAS

- AACCI. *Approved Methods of Analysis*. 11th ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists International, 2010.
- ABDUL, R. S., & PAVONI, E. *Bacillus cereus* as an emerging foodborne pathogen: prevalence, toxigenic potential and control strategies. **Food Microbiology**, 114, 104322, 2025
- ABU, M. S. Comparative evaluation of cassava composite flour and bread. **Asian Journal of Natural Product Biochemistry**, v. 21, n. 1, 25 jun. 2023
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 161, de 1º de julho de 2022. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2022a.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 711, de 1º de julho de 2022. Atualiza o regulamento técnico de farinhas e produtos de cereais. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2022b.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. *Official methods of analysis of AOAC International*. 21. ed. Rockville: AOAC International, 2016.
- ASIEDU, E. et al. Influence of milling processing on mineral and proximate composition of maize products. **Future Postharvest and Food**, v. 1, p. 428–434, 2024.
- ASTM. Standard test method for compositional analysis by thermogravimetry. West Conshohocken: ASTM International, 2020.
- BATISTA, RAYSSA DIAS; Asquieri, Eduardo Ramirez; DE MOURA E SILVA, ALINE GOMES; BATISTA, RYHÁRA DIAS; DE ABREU, DANILO JOSÉ MACHADO. Physicochemical Characterization of Potato Peel Flour (*Solanum tuberosum* L.) and Optimization of the Ultrasound-Assisted Extraction Process (UAE) of the Phenolic Compounds Using Response Surface Methodology. **Potato research JCR**, v. 69, p. 1-29, 2026.
- BELLO-PÉREZ, L. A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; FLORES-SILVA, P. C. Starch and its fractions: a review. **Food Hydrocolloids**, v. 103, p. 105–117, 2020.
- BLIGH, E. G. & DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**. v. 37, n. 08, p. 911-917, 1959.
- BOTH, J. et al. Development of a cassava starch-based foam incorporated with grape stalks using an experimental design. **Journal of Polymers and the Environment**, p.13, 2019.
- CABRAL, D. V. et al. Influence of cultivation region on color, volatile compounds, phenolics and antioxidant activity of *Coffea arabica* Catuaí cultivar in Brazil. **Food Science and Technology**, v. 45, e00464, 2025.
- CAI, W. et al. Produção de milho integral. **Food Bioscience**, v. 59, p. 104207, 2024.
- CEREDA, M. P.; DAIUTO, E. R.; VILPOUX, O. Methodology for determination of starch by acid digestion in microwave. **Revista da Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca – ABAM**, n. 8, p. 29, 2004.
- DING, L. et al. Characterizing maize starch gelatinization by low-field NMR spectroscopy. **Carbohydrate Polymers**, v. 369, p. 124292, 2025.

DOMINGUEZ-HERNANDEZ, E. et al. Ohmic heating nixtamalization modifies maize starch and affects the structural and physicochemical characteristics of instant masa flours. **Macromol**, v. 5, n. 1, 2025.

EKPA, O.; FOGLIANO, V.; LINNEMANN, A. Identification of the volatile profiles of 22 traditional and newly bred maize varieties and their porridges by PTR-QiTOF-MS and HS-SPME GC-MS. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 4, p. 1618–1628, 2021.

ELBEHIRY, A., AL-DUBAIB, M., MARZOUK, E., & AL-GHAREEB, W. Antimicrobial resistance and virulence profiling of foodborne *Bacillus cereus*: implications for public health. **Journal of Food Safety**, 44(2), e13105. <https://doi.org/10.1111/jfs.13105>. 2024

ERENSTEIN, O. et al. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. **Food Security**, p. 1295–1319, 2022.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Maize in human nutrition**. Rome: FAO, 1995

FASSINO, F. T. K.; OLUM, S.; ONGENG, D. Effect of optimized heat-moisture treatment conditions on physicochemical and techno-functional properties of flour from four maize varieties commonly consumed in East African countries. **Discover Food**, v. 5, n. 1, p. 379, 2025.

FELLOWS, P. J. Food processing technology: principles and practice. 5. ed. Oxford: Woodhead Publishing/Elsevier, 2017.

FRANKEL, E. N. **Lipid oxidation**. 2. ed. Cambridge: Woodhead Publishing / The Oily Press, 2012.

GALLEGO-CASTILLO, S. et al. Effect of maize processing methods on the retention of minerals, phytic acid and amino acids when using high kernel-zinc maize. **Current Research in Food Science**, v. 4, p. 279–286, 2021.

GOLDSTEIN, J. I. et al. **Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis**. 3. ed. New York: Springer, 2007.

GOMES, T. H.; ANDRADE, J. K. Impact of maceration and fermentation on antioxidant profile of corn flour. **Journal of Food Biochemistry**, v. 48, n. 2, p. e14235, 2024.

HERNÁNDEZ-VILLASEÑOR, L. A.; HERNÁNDEZ-ESTRADA, S.; GÓMEZ-RODRÍGUEZ, V. M.; RAMÍREZ-VEGA, H.; VILLAGRÁN, Z.; ORTEGA-MARTÍNEZ, A.; MONTALVO-GONZÁLEZ, E.; RUVALCABA-GÓMEZ, J. M.; GONZÁLEZ-SILVA, N.; ANAYA-ESPARZA, L. M. Comparison of the nutritional, physicochemical, technological–functional and structural properties and antioxidant compounds of corn kernel flours from native Mexican maize cultivated in Jalisco Highlands. **Crops, Basel**, v. 5, n. 3, p. 26, 2025.

HUNTER, R. S. The measurement of appearance. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, p. 118–145, 1975.

HUNTERLAB. Hunter L, a, b color scale. **Applications Note**, v. 8, n. 7, p. 1–4, 2008. Reston: Hunter Associates Laboratory Inc. Disponível em: <https://www.hunterlab.com>. Acesso em: 25 set. 2025.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 1. ed. digital. São Paulo, 2008.

ISHARTANI, D.; SAGITA, R.; PRASEPTIANGGA, D. Chemical characteristics of composite flour based on white corn and okara. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 633,

n. 1, 2019.

JAY, J. M.; LOESSNER, M. J.; GOLDEN, D. A.. 7. ed. New York: Springer, **Modern food microbiology**, 2005.

JULIANO, B. O. Amylose analysis in rice – A review. In: **Proceedings of the Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality**. International Rice Research Institute. Los Baños, Laguna. p. 251-260, 1979.

KARANTH, S., NAYAK, B., & RAGHAVARAO, K. S. M. S. Microbial quality indicators in cereal-based flours: relationship with processing and storage conditions. **LWT – Food Science and Technology**, 181, 114873, 2023.

LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 1390-1393, 1997.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MAPA. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília: MAPA, 2024.

MARTINS, F. B.; SOUZA, R. A.; PRADO, M. A. Comparative evaluation of antioxidant assays (ABTS, DPPH, FRAP) in functional flours from cereals and legumes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 73, n. 7, p. 1605–1613, 2025.

MESSELHÄUSSER, U.; EHLING-SCHULZ, M. *Bacillus cereus* in food: virulence mechanisms and food safety challenges. **Current Opinion in Food Science**, v. 56, p. 101120, 2024.

MOTHÉ, C. G.; DAMICO, A.; MACHADO, G. S. Estudo termoanalítico, CLAE e fracionamento físico e químico do subproduto industrial do milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 1–7, 2005.

Song J, Song Q, Wang D, Liu Y. Mitigation strategies for excessive cadmium in rice. *Compr Rev Food Sci Food Saf* [Internet]. 2023;22(5):3847–69. Available from: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13210>

OBANDA, M.; OWUOR, P. O. Flavanol Composition and caffeine content of green leaf as quality potential indicators of Kenyan black teas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 74, p. 209-215, 1997.

Okolie, P. I., Daramola, F. B., Ogunjobi, O. B., Coker, M. T., Okolie, E. C., Agboola, K. A., Okorie, O., & Abayomi, S. O. Chemical composition, functional and pasting properties of yellow maize, fermented African yam bean seeds and rice bran composite flour blends. **Journal of Agricultural Science and Environment**, 23(1). 2023

OLA, Z. E.; MOHAMED, M.; OMRAN, A. Comparative study of physicochemical and technological characteristics in some white and yellow corn hybrids. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 6, n. 1, p. 1–13, 2024.

OLIVEIRA, M. E. G.; SILVA, R. M.; SANTOS, D. C.; PACHECO, M. T. B. Structural changes and oil-binding capacity of physically modified cereal flours and their technological implications. **LWT – Food Science and Technology**, v. 191, p. 115876, 2024.

OLUWADIRAN, O. O.; SOBUKOLA, O. P.; HENSHAW, F. O.; AFOLABI, W. A. O. Effect of

processing methods on quality characteristics of maize flour. **Proceedings**, v. 118, n. 1, p. 3, 2025.

OLUWADIRAN, O. O.; SOBUKOLA, O. P.; HENSHAW, F. O.; AFOLABI, W. A. O. Effect of processing methods on quality characteristics of maize flour. **Proceedings**, v. 118, n. 1, p. 3, 2025. DOI: 10.3390/proceedings2025118003.

QAMAR, S.; ASLAM, M.; HUYOP, F.; JAVED, M. A. Comparative study for the determination of nutritional composition in commercial and noncommercial maize flours. **Pakistan Journal of Botany**, v. 49, n. 2, p. 519–523, 2017.

RUFINO, M. S. M., ALVES, R. E., BRITO, E. S., PÉREZ-JIMÉNEZ, J., SAURA-CALIXTO, F., & MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, 121 (4), 996-1002, 2010.

SANTOS, J. P.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; TEIXEIRA, A. A. Fungal contamination and mycotoxin risk in plant-based flours: a global perspective. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 24, n. 1, p. 112–130, 2025.

SECA, D. A. M. et al. Avaliação de híbridos de milho obtidos do cruzamento entre linhagens com diferentes níveis de degradabilidade. **Bragantia, Campinas**, p. 285–297. 2022

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Lipid oxidation and improving the oxidative stability. In: **Food lipids: chemistry, nutrition, and biotechnology**. Boca Raton: CRC Press, 2010. p. 4067–4079.

SILVA, P. R.; OLIVEIRA, A. L.; COSTA, M. L. Effect of hydration and processing on phenolic compounds and antioxidant capacity of cereal flours. **Food Chemistry**, v. 410, p. 135329, 2023.

SILVA, R. do N. et al. Comparação de métodos para determinação de açúcares redutores e totais em mel. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 3, p. 337–341, 2003.

SIMIĆ, M. et al. Changes in nutritional and techno-functional properties of whole grain maize flours induced by dry-heat treatment. **Foods**, v. 13, n. 20, 2024.

SINGH, N. et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, p. 219–231, 2003.

SITEPU, M. R. Utilization of corn in making flour as an alternative availability of food commodities in restaurants in Sitinjo Village, Dairi District. **Tourism, Hospitality and Culture Insights Journal**, p. 54, 2022.

TAN, X. et al. Amylose content controls the structures and digestibility of starch-lipid complexes during microwave postprocessing. **Carbohydrate Polymers**, v. 358, p. 123530, 2025.

TOYI, F.; FASSINOU, K.; OLUM, S. Effect of optimized heat-moisture treatment conditions on physicochemical and techno-functional properties of flour from four maize varieties commonly consumed in East African countries. **Discover Food**, 2025.

TRONCHONI, J. Canselo; Understanding fermentation dynamics and its impact on phenolic profiles and antioxidant activity: **implications for food functionality**. P.8-10, 2021.

WANG, Y. et al. Evaluation of amylose content: structural and functional properties, analytical techniques, and future prospects. **Food Chemistry**, v. 24, p. 101830, 2024.

WIJESINGHE, J. A. A. C.; WICRAMASINGHE, I.; SARANANDHA, K. Kithul flour (*Caryota urens*) as a potential flour source for food industry. **American Journal of Food Science and Technology**, v.

3, n. 1, p. 10–18, 2015., 2015.

YAN, X. et al. Recent advances in the impact of gelatinization degree on starch: structure, properties and applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 340, p. 122273, 2024.

YANG, Y.; ZHANG, L.; CHEN, J.; LIU, H. Toxigenic potential of *Bacillus cereus* isolated from cereal-based foods and its public health significance. **Food Control**, v. 148, p. 109640, 2023.

YU, J.; CHANG, P. R.; MA, X. The preparation and properties of dialdehyde starch and thermoplastic dialdehyde starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, n. 2, p. 296–300, 2010.

ZHANG, Y.; LIU, X.; WANG, L.; CHEN, Z. Effects of hydration and physical modification on functional properties of cereal and legume flours. **Food Chemistry**, v. 405, p. 134812, 2023.

ZHU, *et al.* Improving functional and nutritional profiles of barley flours with diverse starch types through pearling. **Food Chemistry**, v. 460, Part 2, p. 140611, 2024

CAPÍTULO 3

ARTIGO 2 - Extração de Licopeno e β -caroteno do tomate por maceração e percolação e sua aplicação tecnológica na fortificação da Xima, alimento originário da África Oriental

Oswaldo Pereira Carlos Muhala¹, Aline Gomes de Moura e Silva², Flor de Maria Moncada Reyes¹, Roberto Braz da Silva Filho¹ e Eduardo Ramirez Asquieri^{2*}

¹Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 74690-900, Brasil.

²Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 74605-170, Brasil.

*Email: asquieri@ufg.br

RESUMO

Este estudo avaliou a extração de licopeno e β -caroteno de tomate por maceração e percolação e sua aplicação na fortificação da Xima, alimento tradicional da África Oriental, originando duas formulações: Xima fortificada não macerada (XFNM) e Xima fortificada macerada (XFM). O extrato hidroalcoólico apresentou rendimento de 48,8% (base seca), contendo 0,190 mg·g⁻¹ de β -caroteno, 0,128 mg·g⁻¹ de licopeno e 0,317 mg·g⁻¹ de carotenoides totais, fornecendo 10 mg de licopeno e 15,3 mg de β -caroteno por 100 g de Xima. O extrato exibiu elevada capacidade antioxidante (ABTS: 49,29 μ mol TE·g⁻¹; FRAP: 63,72 μ mol Fe²⁺·g⁻¹; DPPH: 24,80 μ mol TE·g⁻¹), refletida no aumento da atividade antioxidante das amostras fortificadas. As Ximas apresentaram composição predominantemente amilácea, com a XFM exibindo menor umidade (57,57% vs. 65,10%) e maiores carboidratos e valor energético (38,42% e 175,00 kcal/g⁻¹) que a XFNM. Proteínas, lipídeos e cinzas foram superiores na XFNM, enquanto a XFM apresentou maior acidez (2,50% vs. 2,00%) e açúcares totais, com atividade de água semelhante (0,89–0,91). No perfil mineral, a XFM destacou-se em nitrogênio e ferro, enquanto a XFNM apresentou maiores teores de K, Ca, Mg e Mn. Colorimetricamente, a XFM exibiu maior intensidade cromática, embora os carotenoides tenham sido estatisticamente semelhantes entre as formulações. A XFM também apresentou maior teor fenólico e atividade antioxidante por DPPH, enquanto ABTS foi semelhante e FRAP superior

na XFNM. As análises térmicas indicaram perdas de massa de 77,27–78,46% até 600 °C, com maior estabilidade térmica na XFNM. A microscopia eletrônica revelou desorganização granular após a maceração, consistente com a maior firmeza da XFM. O perfil volátil foi dominado por etanol, seguido por álcoois superiores, conferindo notas alcoólicas e fermentadas. Os resultados demonstram o potencial da fortificação com extrato de tomate para agregar valor nutricional e funcional à Xima.

Palavras-chave: fortificação alimentar; carotenoides; atividade antioxidante; estabilidade térmica.

1. INTRODUÇÃO

A Xima é um alimento básico amplamente consumido em Moçambique, obtido pela cocção da farinha de milho branco em água até a formação de uma massa espessa e homogênea. É equivalente a preparações africanas como Ugali (Quênia/Tanzânia), Nsima ou Nshima (Malawi/Zâmbia), Sadza (Zimbábue) e Fungi (Angola), apresentando elevado valor sociocultural. (Barros; Calado, 2014).

No contexto moçambicano, a Xima constitui a principal fonte energética diária da dieta, desempenhando papel estratégico na segurança alimentar. Entretanto, sua composição predominantemente amilácea e o reduzido teor de compostos bioativos antioxidantes limitam seu potencial funcional, o que reforça a necessidade de estratégias de fortificação que agreguem valor nutricional sem comprometer suas propriedades tecnológicas (Ndhleve et al., 2022; Awuchi, 2023).

Entre as alternativas de fortificação, o tomate (*Solanum lycopersicum* L.) destaca-se como importante fonte de carotenoides dietéticos, especialmente licopeno e β -caroteno, compostos lipofílicos associados à elevada capacidade antioxidante e à redução do risco de doenças crônicas relacionadas ao estresse oxidativo. Evidências recentes indicam que esses carotenoides atuam como eficientes sequestrantes de radicais livres e contribuem para a proteção contra distúrbios cardiovasculares, inflamatórios e processos degenerativos associados ao envelhecimento precoce (Collins et al., 2022; Tufail et al., 2024).

A incorporação de compostos bioativos em matrizes cerealíferas tem emergido como abordagem tecnológica promissora para o desenvolvimento de alimentos funcionais acessíveis, particularmente em regiões onde produtos à base de milho constituem a base da dieta. A fortificação com carotenoides tem sido apontada como estratégia eficaz para melhorar a qualidade nutricional de alimentos amplamente consumidos sem alterar significativamente sua

aceitabilidade tecnológica (Gebregziabher et al., 2023). Apesar desse potencial, estudos sobre a fortificação da Xima com carotenoides ainda são escassos, evidenciando uma lacuna científica importante na interface entre tecnologia de cereais e nutrição funcional.

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo extrair licopeno e β -caroteno do tomate por meio de maceração e percolação e avaliar sua aplicação tecnológica na fortificação da Xima, investigando os efeitos nas propriedades antioxidantes, nutricionais, térmicas e estruturais do produto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

As farinhas de milho branco utilizadas na elaboração da Xima foram transportadas de Moçambique para o Brasil e foram denominadas de farinha macerada (FM) e não macerada (FNM). Para obtenção de FNM, o milho branco passou pelas etapas de limpeza, seleção, degerminação mecânica e moagem artesanal. Já para FM, os grãos degerminados foram submetidos à maceração em recipiente com água potável por 24 horas, seguida de lavagem, drenagem, secagem natural por cerca de 2 horas e moagem.

Tomates *in natura* da variedade Cereja (20 kg) foram adquiridos no mercado atacadista Central de Abastecimento de Goiás (CEASA), em Goiânia, Brasil, e transportados em caixas plásticas ao Laboratório de Química e Bioquímica da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Goiás (UFG).

No laboratório, os frutos foram lavados em água corrente e sanitizados em solução de hipoclorito de sódio (200 ppm) por 10 min. Após a higienização, os tomates foram fatiados manualmente em rodela com espessura média de 5mm, distribuídos em bandejas de alumínio e submetidos à secagem em estufa (Nova Ética, aço inoxidável, 64 L) a 60°C por 24h, até completa desidratação.

O material seco foi então triturado em multiprocessador (Arno, 127 V) para obtenção da farinha de tomate, acondicionada em recipientes de vidro, envoltos com papel alumínio e armazenada sob congelamento até as etapas subsequentes de extração hidroalcoólica e análises.

2.2. Obtenção do extrato hidroalcoólico concentrado de tomate por maceração e percolação

O extrato hidroalcoólico concentrado foi obtido a partir da farinha do tomate seguindo as metodologias descritas por Mendes et al. (2021) e Borges, Martins, Conceição (2017).

Antes de iniciar o processo de extração foi realizada a análise do índice de intumescência segundo a Farmacopeia brasileira (Brasil, 2019), que consiste no uso de uma proveta graduada de 25 mL contendo 1,0 g da amostra e adição de álcool etílico 70% até que o volume esteja completo. A suspensão é agitada por 30 minutos para obter a hidratação completa da amostra. Após repouso de aproximadamente 4 horas, observa-se o volume final ocupado pela amostra (Figura 1). O índice de intumescência (II) tem como finalidade prever o inchaço que o extrato terá, quando acondicionado no percolador junto ao solvente, para que não haja vazamento na parte superior do percolador.

$$II \text{ (m}^3\text{/kg)} = \frac{\text{Volume final} - \text{volume inicial}}{\text{massa}}$$

O processo de maceração como demonstrado na Figura 1 iniciou-se com o umedecimento de 200g da farinha de tomate com 2 litros de álcool etílico 95% em um béquer envolvido com papel alumínio, deixado em agitação por um período de 4 horas, em seguida foram adicionados mais 2 L de álcool etílico 95% e agitou-se por 20 horas.

Após este procedimento, o produto macerado foi vertido em um percolador preparado com 3 camadas de algodão e papel filtro com porosidade de 14µm. Estas camadas foram colocadas de forma intercalada com o extrato macerado. Após a adição do primeiro litro de extrato, a segunda camada de algodão e papel de filtro foi colocada acima do resíduo sólido já lixiviado. Uma vez preparada esta segunda camada de algodão e papel de filtro, o segundo litro de extrato foi vertido e cuidadosamente colocado para evitar a formação de redemoinhos e canais preferenciais. Este procedimento foi feito até que os 4 litros fossem finalizados. Todo o procedimento foi repetido quatro vezes para a extração completa dos compostos bioativos. O percolador e o frasco coletor foram revestidos com folha de alumínio, para evitar a exposição do extrato à luz. O processo de percolação durou 72 horas, com gotejamento de 30 gotas/minuto.

Os extratos percolados foram concentrados em rota evaporador à 45°C, até a remoção de 95% do solvente extrator. O concentrado final foi transferido para frascos de vidro âmbar, devidamente identificados e novamente protegidos com papel alumínio para reduzir riscos de

oxidação e armazenados em freezer.

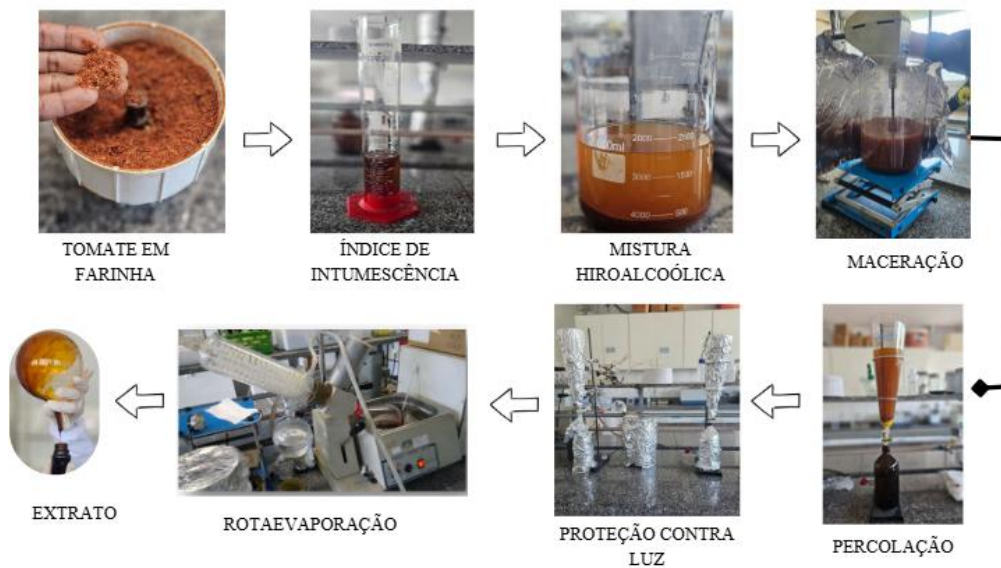


Figura 1. Etapas da extração hidroalcoólica de compostos bioativos da farinha de tomate

No processo de extração por maceração e percolação, o solvente ou a mistura de solventes é aplicada de forma contínua ou intermitente sobre a amostra pulverizada, percolando por gravidade através do leito sólido, promovendo a solubilização dos compostos de interesse, os quais são coletados na forma de extrato líquido. Trata-se de um método eficiente, econômico e de extração suave, amplamente utilizado nas indústrias farmacêutica, alimentícia e cosmética para a obtenção de extratos naturais, por preservar as propriedades dos compostos bioativos (Pandey & Tripathi, 2014).

2.3. Quantidade de extrato hidroalcoólico concentrado de tomate a ser utilizada na fortificação da Xima

A quantidade de extrato hidroalcoólico concentrado de tomate incorporado a Xima foi definida com base em valores de ingestão diária de carotenoides descritos na literatura científica. Evidências indicam que a ingestão de aproximadamente 5–10 mg/dia de licopeno está associada a efeitos fisiológicos benéficos, enquanto a ingestão de carotenoides provitamina A, como o β -caroteno, na faixa de 3–6 mg/dia é considerada adequada para adultos (Collins et al., 2022; Gebregziabher et al., 2023; Tufail et al., 2024). Com base nesses referenciais, estabeleceu-se a incorporação de 80g de extrato para 300g de Xima, de modo a fornecer aproximadamente 10 mg de licopeno e 15,3 mg de β -caroteno por porção comumente consumida

por um adulto em Moçambique, assegurando aporte nutricional relevante desses compostos bioativos.

2.3.1. Elaboração da Xima

Foram elaborados quatro tipos de Xima. A Xima fortificada macerada (XFM) foi preparada a partir da farinha macerada de milho branco (FM), enquanto a Xima fortificada não macerada (XFNM) foi obtida da farinha não macerada (FNM). Além disso, foram produzidas Ximas padrão utilizando, respectivamente, as farinhas macerada (FM) e não macerada (FNM).

Para a formulação da Xima utilizou-se uma proporção de 1:5:1 para farinha : água : extrato. O processamento ocorreu conforme ilustrado na Figura 3 e consistiu na adição de 1/3 da farinha em água à temperatura ambiente, aquecimento da mistura sob agitação contínua durante 5 minutos até atingir a ebulição ($\approx 88^{\circ}\text{C}$), mantendo em fervura por 5 minutos sem agitação e com a panela tampada (Figura 2).

Após esse período, procedeu-se à adição gradual de 2/3 restantes da farinha, seguida de adição do extrato hidroalcoólico concentrado de tomate, com agitação contínua durante 5 minutos até completa homogeneização da massa e obtenção da consistência característica da Xima. Após essa etapa, finalizou-se o cozimento a fogo brando por 3 minutos.

Para as análises, foram preparadas porções de 300 g de cada Xima fortificada, utilizando 80 g de farinha, 400 mL de água e 80 g de extrato hidroalcoólico concentrado de tomate. Para a Xima padrão, utilizaram-se 40 g de farinha e 200 mL de água.



Figura 2. Etapas de preparação da Xima controle e fortificada. Fonte: Autor, (2025)

2.4. Métodos Analíticos

2.4.1. Análise do extrato hidroalcoólico concentrado de tomate

2.4.1.1. Quantificação de licopeno e β -caroteno

As concentrações de licopeno e β -caroteno foram determinadas conforme a metodologia de Rodriguez-Amaya; Kimura, (2004) e Rodriguez-Amaya, (2001). Foram pesados 0,1g de extrato, adicionados 40 mL de acetona e agitados por 15 minutos. Em funil de separação, envolvido em papel alumínio para evitar a foto-oxidação dos pigmentos, foram adicionados 20 mL de éter de petróleo e a solução de extrato. Para a remoção total da acetona e transferência dos carotenoides para o éter de petróleo, foram feitas 3 lavagens com aproximadamente 100 mL de água destilada seguida de separação de fases, sendo a fase inferior descartada. A solução dos pigmentos em éter de petróleo foi filtrada para balão de 50mL com algodão e sulfato de sódio e o volume completado com éter de petróleo. Para determinação do licopeno, foi utilizada a absorvância lida em 470 nm e, para o β -caroteno, a absorvância lida em 450 nm.

2.4.1.2. Carotenoides Totais

O teor de carotenoides totais foi obtido por análise espectrofotométrica. Pesou-se

aproximadamente 0,2g do extrato, adicionou-se 30mL de álcool isopropílico e 10mL de hexano. Realizou-se agitação da solução e em seguida sua transferência para funil de separação. Todo o procedimento foi realizado com a devida proteção contra a luz, a fim de evitar a perda de compostos por fotoxidação. Foram feitas 3 lavagens com 60mL de água destilada e com intervalo de 30 minutos entre elas, seguida de separação de fases, sendo a fase inferior descartada. O extrato de carotenoides foi transferido para um balão volumétrico de 50mL, filtrando o conteúdo com algodão e sulfato de sódio. Completou-se o volume do balão com hexano e fez-se a leitura da absorbância a 450 nm (Higby, 1962).

2.4.1.3. Atividade antioxidante

Para avaliação da atividade antioxidante foram preparados extratos conforme Larrauri, Rupérez, Saura-Calixto (1997) utilizando metanol 50%, acetona 70% e água. A atividade antioxidante foi determinada utilizando o método do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), conforme descrito por Rufino et al. (2010). Em ambiente escuro, 0,1 mL do extrato em diferentes diluições foi adicionado a 3,9 mL da solução de DPPH 0,06mM, homogeneizado e mantido em repouso por 120 min. A absorbância foi medida a 517 nm. Uma curva padrão foi preparada a partir de soluções de trolox variando de 200 a 1000 μ M, e os valores de absorbância correspondentes foram usados para obter a equação de calibração. Os resultados foram expressos μ mol Trolox/g.

O ensaio ABTS (2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)) também foi conduzido de acordo com Rufino et al. (2010). O radical ABTS \bullet^+ foi gerado pela reação de 5 mL da solução estoque de ABTS (7 mM) com 88 μ L de persulfato de potássio (140 mM), mantendo a mistura no escuro à temperatura ambiente por 16 horas. Antes da análise, a solução foi diluída em etanol até atingir absorbância de $0,70 \pm 0,05$ a 734 nm. Uma curva padrão foi preparada utilizando soluções de Trolox variando de 100 a 2000 μ M, sendo que 30 μ L de cada solução padrão foram misturados com 3,0 mL da solução de radical ABTS \bullet^+ . Após 6 minutos de reação no escuro, a absorbância foi medida a 734 nm. Os resultados foram expressos μ mol Trolox/g.

Para o método FRAP foi preparada uma curva padrão utilizando soluções de Trolox variando de 104 a 800 μ M. A reação ocorreu com a mistura de 90 μ L de extrato, 270 μ L de água e 2,7mL de FRAP. Após 30 minutos de reação em banho-maria a 37°C, a absorbância foi medida a 595nm. Os resultados foram expressos em μ mol Trolox/g (Rufino et al., 2010; Pulido et al, 2000).

2.4.2. Análises da Xima

2.4.2.1. Curva de Cozimento

O perfil térmico de cozimento das Ximas com e sem extrato foi monitorado em condições controladas de laboratório. As formulações foram preparadas em painéis metálicas, com massas e volumes previamente medidos em balança analítica e buretas graduadas, respectivamente. A temperatura foi acompanhada continuamente com termômetro ao longo de todo o processo. A mistura (farinha e água) foi inicialmente introduzida à temperatura ambiente ($\approx 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) e aquecida sob agitação contínua, registrando-se os valores de temperatura em função do tempo até a etapa final de resfriamento adequado para consumo.

2.4.2.2. Composição Proximal

O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico, por meio da secagem da amostra em estufa a 105°C até peso constante, conforme a AOAC (2016), método 925.10. Os lipídeos totais foram quantificados pelo método de Bligh e Dyer (1959), baseado na extração com clorofórmio, metanol e água, seguida da separação das fases e determinação gravimétrica da fração lipídica após evaporação do solvente. O nitrogênio total foi determinado pelo método Micro-Kjeldahl, conforme AOAC (2016), método 960.52, e o teor de proteína bruta foi calculado a partir do conteúdo de nitrogênio, utilizando o fator de conversão 6,25. O teor de cinzas foi obtido por incineração da amostra previamente carbonizada em mufla a 550°C , de acordo com AOAC (2016), método 923.03. Carboidratos totais foram determinados pela diferença entre 100 e o somatório dos teores de umidade, cinzas, proteína, lipídios e expresso em porcentagem. O valor energético foi calculado pelo sistema de fatores gerais de Atwater, considerando 4 kcal/g para proteínas e para carboidratos e 9 kcal/g para lipídeos.

2.4.2.3. Açúcares Redutores e Sacarose

Os açúcares redutores foram determinados pelo método do ácido 3,5-dinitrossalicílico (ADNS). A quantificação foi baseada na redução do reagente ADNS pelos grupos carbonílicos dos açúcares, em meio alcalino, formando complexo de coloração alaranjada. A absorvância

foi medida em espectrofotômetro a 540 nm, utilizando curva padrão de glicose. A sacarose foi quantificada indiretamente após hidrólise da amostra usando HCl concentrado e calculada por meio da diferença entre os açúcares redutores totais após hidrólise e os açúcares redutores previamente determinados (Silva et al., 2003).

2.4.2.4. Amido total

O teor de amido foi quantificado por digestão ácida em sistema de micro-ondas, conforme metodologia descrita por Cereda, Daiuto e Vilpoux (2004). Para a extração, utilizou-se 1g de amostra previamente homogeneizada, à qual foram adicionados 50mL de solução de HCl 1M, sendo a mistura submetida à digestão em micro-ondas sob potência máxima, promovendo a hidrólise do amido em açúcares redutores. Após o resfriamento, a solução foi neutralizada com NaOH a 10%, utilizando fenolftaleína como indicador de pH. Previamente à quantificação, realizou-se o teste qualitativo com solução de Lugol para confirmar a hidrólise do amido. A determinação quantitativa dos açúcares redutores foi realizada pelo método do ácido 3,5-dinitrossalicílico (ADNS), com leitura espectrofotométrica, e os valores obtidos foram convertidos em teor de amido usando o fator de conversão de 0,9.

2.4.2.5. Amilose

O teor de amilose foi determinado pelo método de Juliano (1979) com modificações. Este método baseia-se na complexação da amilose com iodo após a solubilização do amido em meio alcalino. Para a análise, pesou-se 0,5g da amostra, à qual foi adicionado 1mL de etanol a 95%, seguido de agitação para dispersão do material. Em seguida, adicionaram-se 9mL de NaOH 1N, e a mistura foi submetida a aquecimento em banho-maria a 70°C por 9 minutos, visando à completa solubilização do amido. Após o aquecimento, a solução foi resfriada em água fria e o volume completado para 100mL em balão volumétrico. A formação do complexo amilose-iodo foi então promovida, e a absorbância foi medida em espectrofotômetro a 590 nm. A quantificação foi realizada por meio de curva padrão de amilose, e os resultados foram expressos em porcentagem de amilose.

2.4.2.6. Acidez titulável

A acidez titulável foi determinada conforme a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008) por meio de titulação com solução padronizada de hidróxido de sódio 0,1N, utilizando fenolftaleína como indicador. Os resultados foram expressos em g de ácido láctico/100g.

2.4.2.7. *Atividade de Água*

A atividade de água foi determinada utilizando um medidor de atividade de água Lab Swift (Novasina, Suíça), baseado no princípio de equilíbrio da umidade relativa do ar em sistema fechado. As amostras foram introduzidas na câmara de medição do equipamento previamente calibrado com padrões salinos certificados fornecidos pelo fabricante. As leituras foram realizadas à temperatura ambiente ($27 \pm 1^\circ\text{C}$).

2.4.2.8. *Minerais*

Os teores de macro e microminerais como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram determinados em 0,5 g de amostra previamente homogeneizada e submetida à digestão ácida com ácido nítrico concentrado (HNO_3), sob aquecimento controlado entre 120°C e 150°C , até completa mineralização da matéria orgânica. Após a digestão, os extratos minerais foram diluídos com água deionizada e analisados conforme metodologias oficiais para tecidos vegetais, sendo as concentrações de Ca, Mg, Fe e Zn determinadas por espectrometria de absorção atômica (AAS), enquanto K e N foram quantificados por espectrofotometria em chama e o P determinado por método colorimétrico. Todos os procedimentos seguiram os métodos descritos no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes, Corretivos, Substratos e Remineralizadores do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA, 2024), e na metodologia de avaliação do estado nutricional de plantas proposta por Malavolta (1997).

2.4.2.9. *Análise de Cor*

A determinação da cor das amostras foi realizada por colorimetria refletiva utilizando um colorímetro portátil Minolta CR-400 (Konica Minolta, Japão), operando no sistema CIELAB. O equipamento foi previamente calibrado com bloco padrão branco ($L^* = 97,79$; $a^* = -0,38$; $b^* = +2,05$), conforme recomendações do fabricante. O procedimento experimental seguiu a

metodologia descrita por Cabral et al. (2025). Foram determinados os parâmetros colorimétricos L^* , a^* e b^* , em que L^* representa a luminosidade da amostra, variando de 0 (preto) a 100 (branco), a^* indica a variação cromática no eixo verde (-) a vermelho (+) e b^* expressa a variação no eixo azul (-) a amarelo (+). A partir dos valores de a^* e b^* , foram calculados: o croma (C^*), que expressa a intensidade ou saturação da cor, obtido pela equação $C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})}$, e o ângulo hue (h°), que indica a tonalidade da cor percebida, calculado pela fórmula $h^\circ = \arctan(b^*/a^*)$. O ΔE^* é calculado por $\sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]}$ e indica se a diferença entre as amostras é perceptível ao olho humano (Hunterlab. Hunter, 2008; Note, 1976)

2.4.2.10. *Atividade antioxidante e teores de licopeno, beta caroteno e carotenoides totais*

Estas análises foram realizadas como descritas anteriormente para o extrato hidroalcoólico concentrado de tomate.

2.4.2.11. *Compostos Fenólicos Totais*

O conteúdo de compostos fenólicos totais foi determinado nos extratos das Ximas. O extrato foi preparado conforme Larrauri, Rupérez, Saura-Calixto (1997) utilizando metanol 50%, acetona 70% e água. Para quantificar os compostos fenólicos totais utilizou-se o método de Folin-Ciocalteu, conforme descrito por Obanda e Owuor (1997), baseado na reação colorimétrica de oxidação-redução dos compostos fenólicos. O ácido gálico foi utilizado para construção da curva analítica. O ensaio consistiu na adição do reagente de Folin–Ciocalteu ao extrato, seguida da adição da solução de carbonato de sódio, com posterior incubação por 30min para o desenvolvimento da cor. A absorbância foi medida em espectrofotômetro a 700 nm, e os resultados foram expressos como mg EAG/g.

2.4.2.12. *Análise termogravimétrica (TG)*

A análise termogravimétrica (TG) foi conduzida em termo balança Shimadzu TGA-50, sob atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50 mL/min. Aproximadamente 10 mg das amostras foram acondicionados em cadinho de platina e aquecidos de 25°C a 600°C, a uma taxa de aquecimento de 10°C/min, conforme a norma ASTM E1131-20 (ASTM, 2020).

2.4.2.13. *Análise de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)*

A análise por calorimetria diferencial de varredura (DSC) foi realizada em um calorímetro Shimadzu DSC-60A, também sob atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50 mL/min. Cerca de 10 mg de amostra foram seladas em cadinhos de alumínio herméticos, enquanto um cadinho vazio foi utilizado como referência. O procedimento seguiu a metodologia descrita na norma ASTM E537 (ASTM, 2020).

2.4.2.14. *Análise dos Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)*

Para a análise dos compostos orgânicos voláteis foi utilizado um sistema de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS, Shimadzu GCMS-QP2020 NX), equipado com coluna capilar do tipo Rtx-5MS, DB-5MS (30 m × 0,25 mm × 0,25 μm). O gás de arraste utilizado foi hélio, com vazão de 1,0 mL·min⁻¹. O volume de injeção foi de 1,0 μL, no modo split (1:20). A temperatura do injetor foi mantida a 250°C. O programa de temperatura do forno iniciou em 40°C, com aquecimento de 5°C/min até 250–280°C, permanecendo nessa temperatura por 5–10 min. A ionização foi realizada por impacto eletrônico (70 eV), no modo varredura (SCAN), na faixa de massa de 40–450 m/z. A identificação dos compostos foi feita por comparação dos espectros de massas com a biblioteca NIST (Cabral et al., 2025).

2.4.2.15. *Microscopia eletrônica de varredura (MEV)*

Para a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) utilizou-se um microscópio JEOL JSM-6610, equipado com sistema de microanálise por energia dispersiva de raios X (EDS, Thermo Scientific NSS Spectral Imaging). As amostras foram previamente fixadas em suportes metálicos (stubs) e metalizadas com uma fina camada de ouro. As análises foram realizadas sob alto vácuo, com tensão de aceleração de 15–20 kV e corrente do feixe ajustada automaticamente pelo equipamento. As micrografias foram obtidas em aumentos de 100× e 10.000× (Goldstein et al, 2007).

2.4.2.16. *Análise de dureza*

As amostras de Xima foram analisadas em temperatura ambiente por ensaio de compressão utilizando um texturômetro (Texture Analyser TA-XT Plus, Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra). As porções foram acondicionadas em recipientes cilíndricos e submetidas à compressão por uma sonda cilíndrica metálica, posicionada perpendicularmente à superfície da amostra. A dureza foi definida como a força máXima registrada durante a penetração da sonda, sendo os dados obtidos pelo software do equipamento. As medições foram realizadas em replicata e expressas como média \pm desvio padrão, segundo a metodologia descrita por (MabroukI et al., 2024).

2.4.3. Análise Estatística

As análises foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos como média \pm desvio-padrão. Para a comparação entre duas médias aplicou-se o teste *t* de Student a um nível de significância $p \leq 0,05$. Para a comparação da atividade antioxidante entre as Ximas fortificadas e as Ximas controle aplicou-se ANOVA e o teste de Tukey a um nível de significância $p \leq 0,05$. A análise estatística foi conduzida no software Statistica®, versão 12.5 (StatSoft Inc., USA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise do extrato hidroalcoólico concentrado de tomate

3.1.1. Rendimento

O rendimento do extrato, calculado em base de matéria seca, foi de 48,8%, indicando recuperação significativa dos sólidos do tomate seco após o processo de extração. Esse valor demonstra eficiência do método empregado, uma vez que aproximadamente metade da matéria seca inicial foi transferida para o extrato final. Rendimentos nessa faixa são considerados adequados em processos de extração de compostos bioativos de matrizes vegetais desidratadas, nos quais parte da matéria seca permanece como resíduo insolúvel, constituído principalmente por fibras estruturais e frações não extraíveis (Shi; Le Maguer, 2000; Saini et al., 2020).

3.1.2. Quantificação de Licopeno, betacaroteno e carotenoides totais

Os resultados do extrato hidroalcoólico concentrado de tomate (Tabela 1) indicaram teores de $0,276 \pm 0,01 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de β -caroteno, $0,182 \pm 0,01 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de licopeno e $0,469 \pm 0,01 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de carotenoides totais. Oboulbiga et al. (2018) relataram faixas de $0,008$ – $0,268 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ para β -caroteno e $0,024$ – $0,835 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ para licopeno em produtos de tomate. Assim, o teor de β -caroteno obtido neste estudo situa-se ligeiramente acima do limite superior reportado, enquanto o licopeno permanece dentro da faixa descrita, evidenciando boa eficiência do processo de extração.

Tabela 1. Composição Composição carotenóidica (em base seca) do extrato hidroalcoólico concentrado de tomate e de estudos comparativos

Parâmetros*	Extrato	(Oboulbiga et al., 2018) ¹	(Szabó et al., 2022) ²
β -caroteno (mg/g)	$0,276 \pm 0,01$	0,008 a 0,268	0,073
Licopeno (mg/g)	$0,182 \pm 0,01$	0,024 a 0,835	0,284
Carotenoides totais (mg/g)	$0,469 \pm 0,01$	-----	0,375

*Resultados expressos como média e desvio padrão.

¹ Estudo com 45 variedades de tomate. ² Extrato de subprodutos de tomate liofilizados usando acetato de etila como solvente e extração por ultrassom

Por sua vez, Szabó et al. (2022) observaram valores de $0,073 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ para β -caroteno, $0,284 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ para licopeno e $0,375 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ para carotenoides totais. Comparativamente, o presente estudo apresentou maior teor de β -caroteno e de carotenoides totais, porém menor concentração de licopeno. Essas diferenças podem estar relacionadas à polaridade do sistema hidroalcoólico, às condições de extração empregadas e à variabilidade da matéria-prima utilizada.

De modo geral, as comparações indicam que o extrato hidroalcoólico de tomate apresentou níveis compatíveis ou superiores aos reportados na literatura para β -caroteno e carotenoides totais, embora o teor de licopeno tenha sido relativamente menor que alguns valores de referência. A variabilidade entre os estudos reforça a influência de fatores como origem e maturação do tomate, composição da matriz, condições de processamento e metodologia analítica sobre o rendimento final de carotenoides (Bolaño et al., 2024; Maria; Steckelberg, 2025).

3.1.3. Atividade Antioxidante

Conforme apresentado na Tabela 2, o extrato hidroalcoólico concentrado de tomate exibiu elevada atividade antioxidante nos ensaios ABTS ($49,29 \pm 3,1 \mu\text{mol TE}\cdot\text{g}^{-1}$), FRAP ($63,72 \pm 1,4 \mu\text{mol Fe}^{2+}\cdot\text{g}^{-1}$) e DPPH ($24,80 \pm 2,5 \mu\text{mol TE}\cdot\text{g}^{-1}$), evidenciando forte capacidade redutora e sequestradora de radicais. Em comparação com dados reportados para cultivares pigmentados (Oboulbiga et al., 2018), tomate maduro (Szabó et al., 2022) e polpa de tomate (Martí et al., 2023), o extrato deste estudo apresentou desempenho antioxidante superior ou comparável, sugerindo maior eficiência do sistema extrativo na recuperação de compostos bioativos.

A resposta mais pronunciada no ensaio FRAP ($63,72 \pm 1,4 \mu\text{mol Fe}^{2+}\cdot\text{g}^{-1}$) indica predominância de mecanismos de transferência de elétrons, frequentemente associados à presença de carotenoides e compostos fenólicos coextraídos pelo sistema hidroalcoólico. Esse comportamento é consistente com matrizes ricas em licopeno, nas quais o poder redutor tende a se destacar em relação aos mecanismos baseados exclusivamente na neutralização direta de radicais livres, conforme discutido por Li et al. (2025) e Zhang et al. (2024). A menor variabilidade observada no FRAP, em comparação com ABTS ($49,29 \pm 3,1 \mu\text{mol TE}\cdot\text{g}^{-1}$) e DPPH ($24,80 \pm 2,5 \mu\text{mol TE}\cdot\text{g}^{-1}$), reforça a elevada reprodutibilidade do método e sugere predominância de compostos com forte capacidade de transferência de elétrons no extrato, indicando maior estabilidade dos constituintes redutores, especialmente carotenoides e fenólicos.

Tabela 2. Atividade Antioxidante expressa em $\mu\text{mol TE/g}$ do extrato hidroalcoólico concentrado de tomate e estudos comparativos

Amostra / Matriz	Solvente de extração	ABTS	FRAP	DPPH
Extrato	mistura de metanol 50%, acetona 70% e água	$49,29 \pm 3,1$	$63,72 \pm 1,4$	$24,80 \pm 2,5$
Tomate (cultivares pigmentados) ¹	metanol 50% e água	$42,6 \pm 2,8$	$58,4 \pm 3,1$	$19,7 \pm 1,9$
Tomate maduro ²	etanol 70%	$46,8 \pm 3,5$	$61,2 \pm 2,4$	$21,3 \pm 2,2$
Polpa de tomate ³	acetona e etanol 70%	$38,9 \pm 2,1$	$55,7 \pm 2,9$	$17,5 \pm 1,6$

¹Li et al. (2025); ²Zhang et al. (2024); ³Martí et al. (2023); Valores expressos como média \pm desvio padrão. TE: equivalente de Trolox.

Os valores intermediários obtidos no ABTS refletem a contribuição conjunta de antioxidantes hidrofílicos e parcialmente lipofílicos, evidenciando a natureza multipolar do extrato. Por outro lado, a resposta relativamente menor no DPPH é compatível com limitações cinéticas e estéricas típicas de sistemas ricos em carotenoides, nos quais a interação com o radical DPPH pode ser parcialmente restringida (Martí et al., 2023). Em conjunto, o perfil multimetodológico confirma que o extrato apresenta elevada capacidade antioxidante e reforça seu potencial como ingrediente funcional para aplicações em alimentos fortificados.

3.2. Análises da Xima

3.2.1. Curva de cozimento

A Xima fortificada macerada (XFM) apresentou aquecimento gradual, atingindo 40°C aos 3 min, 60°C aos 5 min e ebulição aos 10 min ($\approx 88^\circ\text{C}$), mantendo-se em torno de 90°C até 15 min, quando se iniciou o resfriamento, alcançando 30°C aos 20 min (Figura 4).

Em contraste, a Xima controle macerada (XCM) apresentou aquecimento mais rápido, atingindo a ebulição em aproximadamente 7 min ($\approx 85^\circ\text{C}$), mantendo-se estável até 14 min, quando teve início a etapa de resfriamento. Esses resultados indicam que as fortificações influenciaram a cinética térmica do sistema, promovendo aquecimento mais gradual e maior tempo de manutenção em temperatura elevada na XFM.

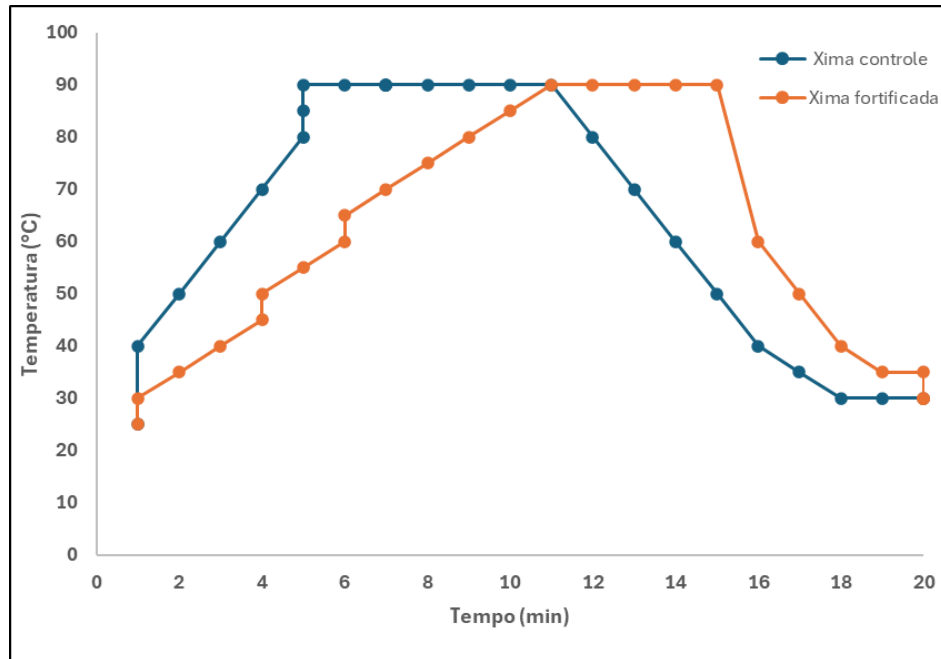


Figura 3. Curvas de cozimento das Ximas com extrato (Xima fortificada) e sem extrato (Xima controle) preparadas a partir da farinha macerada

3.2.2. Caracterização nutricional e físico-química

A Tabela 3 apresenta a caracterização nutricional e físico-química das Ximas fortificadas preparadas a partir da farinha macerada (XFM) e da farinha não macerada (XFNM). Observam-se diferenças significativas evidenciando o impacto da maceração sobre a matriz amilácea e a distribuição dos constituintes.

O teor de umidade de 65,10% (XFNM) e 57,57% (XFM), indicam maior concentração de sólidos na amostra macerada, possivelmente em função da reorganização estrutural do amido e da menor capacidade de retenção de água após o tratamento. Resultados semelhantes têm sido reportados para produtos análogos do tipo ugali, um mingau espesso (stiff porridge) comumente consumido no Quênia e também a shameta, alimento fermentado preparado a base de cereais e consumido pelas lactantes na Etiópia. Chemutai et al. (2024), ao avaliarem ugali fortificado com chia, também relataram elevada umidade no produto final, atribuída ao comportamento higroscópico da matriz amilácea durante o cozimento.

Amwoma (2023) reportou valor de 67,5% para ugali elaborado com mistura milho-milheto, destacando a influência da composição e do processamento na retenção hídrica. E Kitessa et al. (2023) relatou umidade de 61,34% para shameta preparada com mistura de milho-fava-cevada. Esses estudos estão em consonância aos dados obtidos no presente trabalho,

confirmando que os valores observados para XFNM e XFM situam-se dentro da faixa esperada para alimentos amiláceos cozidos, ao mesmo tempo em que evidenciam o efeito modulador da maceração sobre a dinâmica de água na Xima.

Tabela 3. Caracterização nutricional e físico-química das Ximas XFNM e XFM

Parâmetros*	XFNM	XFM	Shameta ¹	Ugali ²
Umidade (%)	65,10 ± 3,10 ^a	57,57 ± 3,58 ^b	61,34±0,34	67,5±1,99
Cinzas (%)	0,50 ± 0,15 ^a	0,27 ± 0,06 ^b	0,95± 0,01	0,55±0,2
Lipídeos (%)	1,45 ± 0,22 ^a	1,28 ± 0,23 ^b	4,82± 0,05	1,85±0,5
Proteínas (%)	3,93 ± 0,67 ^a	2,46 ± 0,32 ^b	4,72± 0,02	2,93±0,6
Carboidratos (%)	29,02 ± 3,18 ^b	38,42 ± 3,60 ^a	29,85±0,82	26,39±0,6
Valor energético (kcal/100 g)	145,00 ± 1,54 ^b	175,00 ± 1.84 ^a	–	–
Açúcar redutor (%)	13,11 ± 0,82 ^b	14,38 ± 1,23 ^a	–	–
Sacarose (%)	0,92 ± 1,20 ^a	1,29 ± 1,17 ^a	–	–
Açúcares totais (%)	14,03 ± 0,38 ^b	15,67 ± 0,06 ^a	–	–
Amido (%)	10,7 ± 0,34 ^b	10,1 ± 0,34 ^a	–	–
Amilose (%)	5,41±0,83 ^a	5,95±0,86 ^a	–	–
Acidez titulável (% em ácido láctico)	2,00 ± 0,03 ^b	2,50 ± 0,06 ^a	0,37±0,01	–
Aw	0,91 ±0,01 ^a	0,89±0,01 ^a	-	--

¹Kitessa et al (2024); ² Amwoma (2023).

* Resultados expressos como média e desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

Os teores de cinzas, lipídeos e proteínas foram superiores na XFNM em comparação à XFM. Essa diferença pode ser atribuída à lixiviação de constituintes solúveis durante a maceração, fenômeno recorrente em cereais submetidos a tratamentos hidrotérmicos. Amwoma et al. (2024) observaram em Ugali teor mais elevado de lipídeos. Já Kitessa et al (2023) relataram valores superiores para cinzas, lipídeos e de proteínas para shameta preparada sem fermentação.

Os carboidratos, calculados por diferença, foram mais elevados na XFM (38,42%) do que em XFNM (29,02%), efeito associado principalmente à menor umidade e consequente maior concentração de sólidos na amostra macerada. De modo geral, produtos derivados de milho apresentam elevado teor de carboidratos. Amwoma et al. (2024) relataram 26,39% em ugali enquanto Kitessa et al. (2023) reportaram 29,85% para shameta.

Os teores de açúcares redutores e totais foram maiores para XFM (14,38% e 15,67%), respectivamente, indicando hidrólise parcial do amido e maior liberação de açúcares simples durante a maceração. A sacarose permaneceu praticamente constante. Esse comportamento é consistente com observações de Kitessa et al. (2024), que demonstraram que processos de hidratação em cereais ativam enzimas endógenas capazes de degradar polissacarídeos, aumentando a fração de açúcares disponíveis.

A acidez titulável foi significativamente superior na XFM ($2,50 \pm 0,06\%$ de ácido láctico) em comparação à XFNM ($2,00 \pm 0,03\%$), possivelmente em decorrência da formação de ácidos orgânicos durante a etapa de maceração. Resultados semelhantes foram reportados por Kitessa et al. (2024), que observaram valores de acidez titulável em produtos de milho na faixa de aproximadamente 1,1–1,8% de ácido láctico, associados a modificações bioquímicas da matriz durante o processamento. Nesse contexto, os valores obtidos no presente estudo, especialmente para a XFM, situam-se acima dessa faixa, indicando maior acidificação do sistema.

O teor de amido foi significativamente maior na XFM (14,35%) em comparação à XFNM (12,17%), enquanto a fração de amilose não apresentou diferença significativa.

O teor de amido foi ligeiramente superior na XFNM ($10,7 \pm 0,34\%$) em relação à XFM ($10,1 \pm 0,34\%$), sugerindo que a maceração promoveu solubilização parcial ou redistribuição da fração amilácea durante o processamento. A hidratação prolongada pode induzir alterações estruturais no endosperma e favorecer a lixiviação de sólidos solúveis, resultando em reduções discretas no amido quantificado. Resultados semelhantes foram descritos por Adebo e Medina-Meza (2020), com variações de $\approx 9,8$ –11,5%, e por Bello et al. (2021), que reportaram valores de 10–12% em produtos de milho processados por via úmida, indicando que a maceração promove rearranjos físico-químicos sem comprometer significativamente a fração amilácea da Xima.

A similaridade do teor de amilose entre as Ximas fortificadas indica que a maceração não promoveu degradação relevante das cadeias lineares, preservando a razão amilose/amilopectina. Okolie et al. (2023) destacam que essa proporção é majoritariamente determinada pelo genótipo do milho e tende a permanecer constante após tratamentos de hidratação moderada.

A atividade de água não diferiu significativamente entre as amostras, com valores de $0,91 \pm 0,01$ para a XFNM e $0,89 \pm 0,01$ para a XFM, indicando que a maceração não alterou de forma relevante a disponibilidade de água livre na matriz. Esse comportamento sugere que, apesar das modificações estruturais induzidas pela hidratação, o sistema atingiu equilíbrio hídrico semelhante após o cozimento, em concordância com observações em produtos amiláceos processados (Zhang et al., 2023).

De forma geral, a maceração promoveu modificações relevantes na composição da Xima, reduzindo alguns constituintes por lixiviação, mas aumentando açúcares disponíveis, acidez, teor relativo de carboidratos. Em comparação com produtos africanos à base de milho, Chemutai et al. (2024) e Ogbonna (2024) ressaltam que ingredientes ricos em macronutrientes elevam proteínas e lipídeos, ao passo que o extrato de tomate contribui predominantemente para o enriquecimento funcional. Assim, os resultados obtidos reforçam o potencial da Xima fortificada como alimento básico com valor agregado por carotenoides antioxidantes.

3.2.3. Minerais

A Tabela 4 demonstra que a maceração associada à incorporação do extrato rico em carotenoides do tomate, modulou seletivamente o perfil mineral das Ximas fortificadas. A XFM apresentou maiores teores de N e Fe, enquanto a XFNM manteve concentrações superiores de K, Ca, Mg e Mn, indicando que o processamento hidrotérmico promoveu simultaneamente concentração relativa de alguns elementos e lixiviação de minerais mais solúveis. Estudos recentes mostram que a hidratação e maceração de matrizes de cereais podem aumentar a acessibilidade de certos minerais por desestruturação da matriz, embora favoreçam perdas difusionais de elementos iônicos (Adebo et al., 2022; Okolie et al., 2023).

O aumento expressivo de Fe na XFM é particularmente relevante no contexto da fortificação funcional. Li et al. (2023) demonstraram que o processamento úmido pode romper complexos mineral-fitato, elevando a detectabilidade e potencial bioacessibilidade do ferro. Além disso, carotenoides do tomate, como licopeno e β -caroteno, têm sido associados à melhoria do ambiente antioxidante da matriz alimentar, podendo favorecer a estabilidade e a biodisponibilidade de micronutrientes sensíveis à oxidação (Nkhata et al., 2023; Tufail et al., 2024). Assim, a combinação entre maceração e fortificação com carotenoides pode ter contribuído sinergicamente para o maior teor de Fe observado na XFM.

Tabela 4. Teores de macro e microminerais da XFNM e XFM

Categoria	Míneral	XFNM	XFM
Macrominerais (g/100g)	Nitrogênio (N)	0,90 ± 0,00 ^b	1,35 ± 0,07 ^a
	Fósforo (P)	0,10 ± 0,00 ^a	0,10 ± 0,03 ^a
	Potássio (K)	0,41 ± 0,01 ^a	0,31 ± 0,01 ^b
	Cálcio (Ca)	0,30 ± 0,01 ^a	0,17 ± 0,01 ^b
	Magnésio (Mg)	0,09 ± 0,00 ^a	0,05 ± 0,01 ^b
	Enxofre (S)	0,01 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,01 ^a
Microminerais (mg/100g)	Cobre (Cu)	1,5 ± 0,14 ^a	1,25 ± 0,07 ^a
	Ferro (Fe)	97,35 ± 4,03 ^b	195,55 ± 1,49 ^a
	Manganês (Mn)	0,55 ± 0,07 ^a	0,35 ± 0,07 ^b
	Zinco (Zn)	1,40 ± 0,01 ^a	1,45 ± 0,07 ^a

Resultados expressos como média ± desvio padrão. Letras iguais na mesma linha indicam ausência de diferença significativa pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

Por outro lado, a redução de K, Ca, Mg e Mn na XFM confirma a ocorrência de lixiviação durante a maceração, fenômeno amplamente descrito em sistemas de cereais hidratados (Adebo et al., 2022). Mesmo com essas reduções, a fortificação com extrato hidroalcoólico concentrado de tomate agregou valor funcional ao produto, elevando o potencial antioxidante previamente demonstrado e introduzindo compostos bioativos de reconhecido papel na mitigação do estresse oxidativo.

Nesse contexto, a XFM destaca-se com teor elevado de Fe, enquanto a XFNM preserva melhor o conteúdo mineral global. Esses dados indicam que a fortificação com carotenoides da Xima combinada à maceração pode ser uma estratégia para melhoria nutricional de alimentos à base de milho.

3.2.4. Análise de cor

Os parâmetros colorimétricos (Tabela 5) evidenciaram diferenças significativas na cromaticidade entre as Ximas fortificadas, embora os teores de carotenoides não tenham diferido estatisticamente. A XFM apresentou maiores valores de a^* , b^* e C^* , indicando coloração mais intensa e saturada, enquanto L^* permaneceu semelhante entre as amostras. Esse comportamento ocorreu mesmo sem aumento significativo de β -caroteno ($0,073 \pm 0,002$ vs. $0,083 \pm 0,006$ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), licopeno ($0,047 \pm 0,001$ vs. $0,054 \pm 0,005$ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) e carotenoides totais ($0,121 \pm 0,005$ vs. $0,139 \pm 0,036$ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), sugerindo que a maceração e fortificação pode ter favorecido a dispersão e a disponibilidade óptica dos pigmentos na matriz.

Tabela 5. Parâmetros colorimétricos das Ximas

Amostra	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
XFM	$45,19 \pm 0,02^b$	$15,35 \pm 0,01^a$	$26,71 \pm 0,03^a$	$30,81 \pm 0,03^a$	$60,11 \pm 0,03^a$
XFNM	$45,29 \pm 0,04^a$	$14,48 \pm 0,01^b$	$22,61 \pm 0,06^b$	$26,85 \pm 0,05^b$	$57,20 \pm 0,10^b$

* Resultados expressos como média \pm desvio padrão. Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

A maior intensidade avermelhada da XFM está associada a efeitos estruturais induzidos pela hidratação, como possíveis alterações microestruturais e redistribuição de cromóforos, conforme relatado por Liao, Zhang e Huang et al. (2025) e Wei (2023). O ângulo de tonalidade (h°) manteve-se na região amarelo-alaranjada, com leve deslocamento na XFM, enquanto a diferença total de cor (ΔE^*) indica variação perceptível entre as formulações. Estudos recentes em produtos de milho processados (Rojas et al., 2025; Ungureanu-Iuga et al., 2025) confirmam que modificações físico-químicas durante a hidratação e o aquecimento podem intensificar a saturação e alterar a tonalidade sem elevar a concentração total de carotenoides, confirmando o papel da maceração como moduladora da expressão cromática na Xima fortificada.

3.2.5. Licopeno, β -caroteno e carotenoides totais

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da determinação de licopeno, β -caroteno e carotenoides totais das Ximas fortificadas. Observa-se que a Xima fortificada não macerada (XFNM) e a Xima fortificada macerada (XFM) apresentaram conteúdos expressivos de β -caroteno, licopeno e carotenoides totais, com valores numericamente superiores na XFM. Esse

perfil é coerente com o fato de ambas as formulações terem sido fortificadas com extrato hidroalcoólico concentrado de tomate, reconhecido como fonte rica desses pigmentos. Estudos recentes confirmam que o tomate e seus derivados são importantes reservatórios de carotenoides especialmente licopeno e β -caroteno amplamente utilizados para enriquecimento de alimentos funcionais (Boulaajine & Hajjaj, 2024; Collins et al., 2022). Assim, a incorporação direta de fontes concentradas constitui estratégia eficaz para aumentar o conteúdo de carotenoides em matrizes cerealíferas.

Tabela 6. Conteúdo de carotenoides (mg/g) das Ximas fortificadas

Parâmetro	XFNM	XFM
β -caroteno	0,073 \pm 0,002 ^a	0,083 \pm 0,006 ^a
Licopeno	0,047 \pm 0,001 ^a	0,054 \pm 0,005 ^a
Carotenoides totais	0,121 \pm 0,005 ^a	0,139 \pm 0,036 ^a

Valores expressos como média \pm desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

Embora as diferenças entre XFNM e XFM não tenham sido estatisticamente significativas ($p > 0,05$), a tendência de maiores teores na XFM sugere que a maceração pode ter influenciado a distribuição de matriz dos carotenoides por meio da hidratação e da desorganização parcial da matriz amilácea. Esse efeito tem sido amplamente descrito para sistemas alimentares processados, nos quais modificações estruturais favorecem a liberação e a extração de pigmentos lipofílicos. De acordo com Rodriguez-Amaya e Kimura (2004), a ruptura de estruturas celulares e a alteração da matriz durante o processamento térmico ou hidrotérmico podem aumentar a disponibilidade de carotenoides previamente aprisionados. De forma convergente, Fennema (2008) descreve que a gelatinização do amido e a desestabilização da rede amido-proteína promovem maior difusão de compostos hidrofóbicos. Evidências mais recentes também confirmam esse mecanismo: Colle et al. (2023) e Knockaert et al. (2022) demonstraram que a hidratação e o aquecimento de matrizes vegetais podem aumentar a bioacessibilidade e a extraibilidade de carotenoides sem necessariamente elevar seu teor total. Assim, os resultados sugerem que a maceração atuou principalmente na modulação da microestrutura da Xima, favorecendo a expressão dos pigmentos, ainda que sem produzir diferenças estatísticas nos teores quantificados.

De acordo com a Instrução Normativa nº 75/2020 da ANVISA, para que um alimento seja

declarado como de alto conteúdo de vitamina A, deve fornecer no mínimo 30% do Valor Diário de Referência (VDR), estabelecido em 800 μg RAE (Brasil, 2020). Considerando o fator de conversão adotado pela ANVISA (1 μg RAE = 12 μg de β -caroteno), uma porção de 100 g de Xima deve conter pelo menos 2,88 mg de β -caroteno para atender a esse critério. Os teores determinados analiticamente foram de 7,3 mg/100 g para a XFNM e 8,3 mg/100 g para a XFM, confirmando que ambas as formulações satisfazem os requisitos para alegação de alto conteúdo de vitamina A.

De acordo com as recomendações do International Life Sciences Institute Brasil (Cominetti; Cozzolino, 2023), a ingestão diária recomendada de vitamina A é de 700 μg RAE para mulheres e 900 μg RAE para homens acima de 14 anos. Considerando os níveis de β -caroteno observados, o consumo aproximado de 100 a 150 g de Xima fortificada é suficiente para atingir a ingestão diária recomendada, evidenciando o potencial do produto como estratégia alimentar para contribuir com a adequação do consumo de vitamina A.

O ponto de vista funcional e de saúde pública, os teores de carotenoides nas Ximas fortificadas β -caroteno de 7,3 mg/100 g (XFNM) e 8,3 mg/100 g (XFM) reforçam a fortificação como estratégia nutricional eficaz. Segundo HarvestPlus (2014), produtos de milho enriquecidos são veículos promissores para aumentar a ingestão desses compostos em populações dependentes do cereal. Considerando a reconhecida ação antioxidante do β -caroteno e do licopeno na neutralização de radicais livres e na redução do risco de doenças crônicas, os resultados, em concordância com Taleon et al. (2017), indicam que tanto XFNM quanto XFM apresentam potencial para aplicação em programas alimentares voltados à promoção da saúde.

3.2.6. Atividade antioxidante

Para efeito de comparação da atividade antioxidante entre Xima com fortificação e sem fortificação, prepararam-se formulações denominadas Controle, ou seja, sem adição do extrato hidroalcoólico de tomate, sendo a XCNM preparada com farinha não macerada (FNM) e XCM preparada com farinha macerada (FM).

A tabela 7 ilustra os resultados de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante que demonstraram diferenças claras entre as XFM e XFNM e suas respectivas Ximas Controle, evidenciando o impacto da fortificação e da maceração no potencial antioxidante do produto.

Tabela 7. Compostos fenólicos totais (CFT) e atividade antioxidante das Ximas

Amostra	CFT (mg EAG/g)	ABTS ($\mu\text{mol TE/g}$)	FRAP ($\mu\text{mol TE/g}$)	DPPH ($\mu\text{mol TE/g}$)
XFNM	0,68 \pm 0,00 ^b	9,15 \pm 0,23 ^a	13,08 \pm 0,74 ^a	4,10 \pm 0,06 ^b
XFM	0,74 \pm 0,04 ^a	9,28 \pm 0,58 ^a	11,23 \pm 0,62 ^b	5,48 \pm 0,69 ^a
XCNM	–	1,28 \pm 0,11 ^b	ND	0,39 \pm 0,11 ^c
XCM	–	0,80 \pm 0,15 ^c	ND	0,22 \pm 0,04 ^d

* ND: não detectado. Resultados expressos como média \pm desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Ao se comparar as Ximas fortificadas com as Ximas controle, as Ximas fortificadas apresentaram valores significativamente superior de atividade antioxidante em todos os métodos avaliados, evidenciando o efeito positivo da incorporação do extrato no potencial funcional do produto. Adebo et al. (2020) demonstraram que a fortificação de alimentos a base de cereais com fontes vegetais ricas em bioativos aumenta significativamente o teor de fenólicos e a capacidade antioxidante.

Ao se comparar as Ximas fortificadas, a XFM apresentou o maior teor de fenólicos totais e maior atividade pelo método DPPH, enquanto a XFNM apresentou maior atividade pelo método FRAP. Já ao se comparar as Ximas controles, observa-se que a atividade antioxidante foi detectável apenas pelos ensaios ABTS e DPPH.

A ausência de resposta pelo método FRAP pode ser explicada por Adebo et al. (2024) que relataram que produtos de cereais submetidos a intenso processamento térmico e com baixo teor de compostos fenólicos apresentam resposta limitada em ensaios baseados em transferência de elétrons, como o FRAP. Concordando com Zhang et al. (2023) que demonstraram que a predominância de amido e a diluição de antioxidantes após o cozimento reduzem significativamente o poder redutor mensurável em alimentos à base de cereais. Observa-se que isto não ocorreu quando se tem a adição do extrato que agregou compostos altamente detectáveis pelo método FRAP, pois para as Ximas fortificadas, este método apresentou valores maiores que os encontrados para ABTS e DPPH.

A XCNM apresentou atividade antioxidante significativamente superior pelo método ABTS e DPPH em comparação à XCM, indicando que a maceração promoveu menor disponibilidade de compostos antioxidantes hidrossolúveis e parcialmente lipofílicos.

Martí et al. (2023) demonstraram que o ensaio DPPH apresenta menor sensibilidade em sistemas ricos em amido e com predominância de antioxidantes hidrofílicos, uma vez que o radical DPPH• reage preferencialmente com compostos de maior afinidade lipofílica. Isso é percebido ao se comparar com os demais métodos já que o método DPPH apresentou os menores valores comparados ao FRAP e ABTS.

Os resultados indicam que a fortificação atuou como fator primário de incremento antioxidante, enquanto a maceração exerceu efeito tecnológico complementar na modulação do sistema antioxidante da Xima.

3.2.7. Análises térmicas: Termo gravimétrica (TG) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A XFNM apresentou perda total de massa de 77,27% e resíduo final de 22,73% até 600°C, com três eventos térmicos principais (Figura 5). O primeiro, entre 36,3°C e 103,9°C (pico em 71,9°C), corresponde à evaporação de água livre e ligada, comportamento típico de matrizes amiláceas. O segundo evento endotérmico ocorreu entre 133,5°C e 201,1°C, com pico em 152,9°C e entalpia de -42,94 J/g, associado à degradação inicial de frações orgânicas e regiões amorfas do amido. O terceiro evento, exotérmico, entre 255,6°C e 305,5°C (pico em 284,2°C), apresentou elevada entalpia (59,13 J/g), indicando decomposição mais energética dos polissacarídeos estruturais.

Esse comportamento sugere maior estabilidade térmica e organização estrutural da XFNM. Dai et al. (2025) demonstraram que o aumento da ordem molecular em sistemas amiláceos eleva a energia requerida para a degradação térmica. De forma complementar, Liu et al. (2024) relataram que amidos com maior cristalinidade apresentam transições térmicas mais intensas em DSC e maior resistência à gelatinização e decomposição. Esses estudos coincidem com os resultados obtidos, indicando que a XFNM apresenta matriz amilácea relativamente mais organizada e termicamente estável.

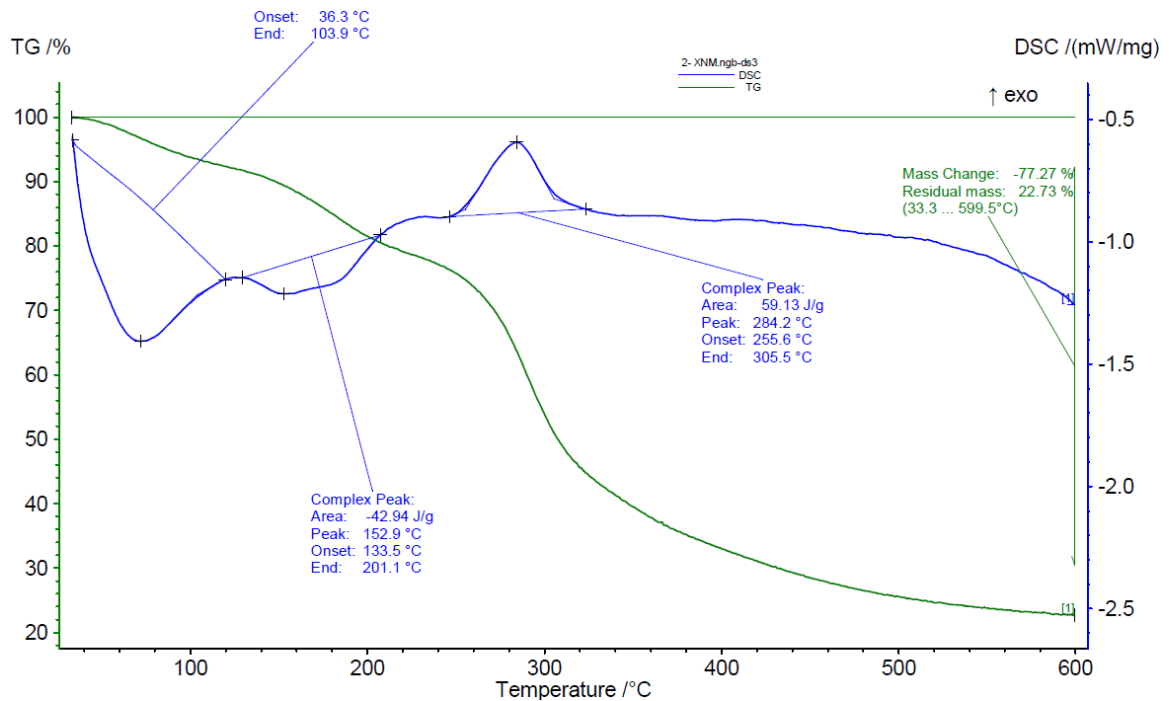


Figura 4. Termogramas de XFNM em função da temperatura (eixo x, °C), curva de TG em % (cor verde e eixo y à esquerda), curva de DSC em mW/mg (cor azul e eixo y à direita)

Conforme a figura 6, a XFM apresentou perda total de massa de 78,46% e resíduo final de 21,54% até 600°C, indicando composição global comparável à XFNM. Entretanto, os eventos endotérmicos iniciais foram mais intensos. O primeiro, entre 40,7°C e 111,6 °C (pico em 71,5°C), apresentou entalpia de $-80,06$ J/g, enquanto o segundo, entre 130,1°C e 210,7°C (pico em 149,1°C), registrou $-54,68$ J/g, ambos superiores aos observados para a XFNM.

Esses resultados indicam maior absorção de energia para remoção de água e reorganização estrutural, sugerindo matriz mais hidratada e menos ordenada após a maceração. O principal evento exotérmico ocorreu entre 250,3°C e 299,8°C (pico em 282,8°C), com entalpia de 31,13 J/g, inferior à da XFNM, confirmando menor estabilidade térmica.

Comparativamente, a maior entalpia exotérmica da XFNM (59,13 J/g) em relação à XFM (31,13 J/g) confirma maior estabilidade estrutural da matriz não macerada, enquanto as entalpias endotérmicas iniciais mais elevadas da XFM indicam sistema mais hidratado e termicamente mais reativo. Esse padrão é consistente com modificações induzidas por tratamentos aquosos em materiais amiláceos.

Ye et al. (2024) e Ungureanu-Iuga et al. (2025) demonstraram que a hidratação promove desorganização parcial das regiões cristalinas do amido e aumento da mobilidade molecular reduzindo a estabilidade térmica do amido. De forma complementar, Mao et al. (2024) relataram que processos de maceração reduzem a entalpia de transição térmica devido a danos estruturais e rearranjos moleculares na matriz amilácea.

Téllez-Morales et al. (2025) e Muratkhan et al. (2025) relataram que tratamentos como hidratação, fermentação ou extrusão aumentam a reatividade térmica e a suscetibilidade à gelatinização, favorecendo aplicações em produtos de cozimento rápido e matrizes expandidas. Esses estudos respaldam os resultados obtidos e indicam que a maceração reduz o grau de ordenamento estrutural da XFM, diminuindo sua estabilidade térmica em relação à XFNM.

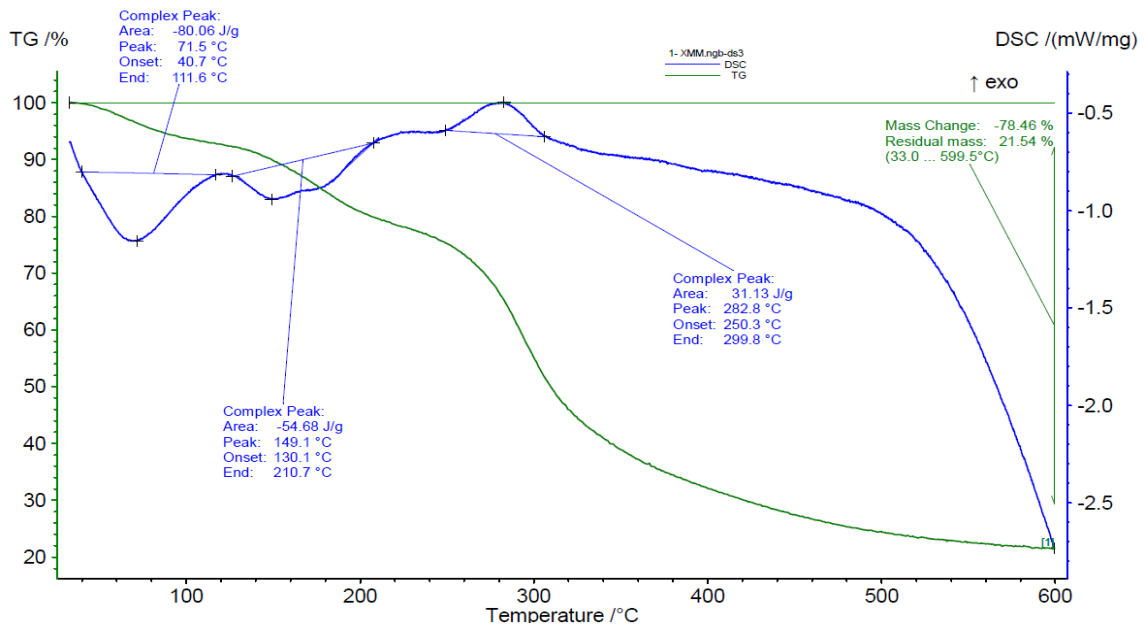


Figura 5. Termogramas de XFM em função da temperatura (eixo x, °C), curva de TG em % (cor verde e eixo y à esquerda), curva de DSC em mW/mg (cor azul e eixo y à direita)

3.2.8. Análise dos Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)

A Tabela 8 apresenta o perfil volátil de XFNM e XFM com predominância de álcoois de cadeia curta, especialmente etanol, que constituiu a maior fração relativa em ambas as amostras. Observou-se maior proporção de etanol na XFM (91,53%) em comparação à XFNM (86,83%), sugerindo intensificação de vias fermentativas durante a maceração. Adebo et al. (2020) descrevem o etanol como principal metabólito da fermentação de carboidratos em matrizes de cereais, frequentemente dominante no perfil volátil. De forma convergente, Ojokoh e Eromosele (2018) reportaram elevada formação de etanol em produtos de milho submetidos a processos fermentativos, associando-o a notas alcoólicas e levemente adocicadas. Esses estudos comprovam o aumento observado na XFM.

Além disso, álcoois superiores, como 2-metil-1-propanol e 3-metil-1-butanol, foram detectados em ambas as amostras, porém em menores proporções, com redução relativa na

XFM. Esses compostos são subprodutos típicos da via de Ehrlich a partir da degradação de aminoácidos. Adebo et al. (2020) destacam que esses álcoois contribuem para notas frutadas e fermentadas em produtos a base de cereais. Complementarmente, Pico, Bernal e Gómez (2019) demonstraram que condições de hidratação e maior disponibilidade de açúcares fermentescíveis favorecem a formação preferencial de etanol em detrimento de álcoois superiores. Portanto, a maceração direciona o metabolismo volátil da XFM para maior produção de etanol.

Tabela 8. Compostos orgânicos voláteis identificados por GC–MS nas Ximas

Composto Volátil	XFNM		XFM		Fórmula química	Grupo funcional	Contribuição sensorial principal
	RT*	Área (%)	RT	Área (%)			
Etanol	3,468	86,83	3,398	91,53	C ₂ H ₆ O	Álcool	Alcool, fermentado
2-Metil-1-propanol (isobutanol)	7,374	3,86	7,355	2,19	C ₄ H ₁₀ O	Álcool	Notas alcoólicas, solvente, frutado
3-Metil-1-butanol (álcool isoamílico)	10,815	9,31	10,723	6,27	C ₅ H ₁₂ O	Álcool	Aroma frutado, fermentado, banana

*RT = tempo de retenção; Área (%) = área relativa do pico cromatográfico

3.2.9. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As micrografias de MEV evidenciaram diferenças morfológicas evidentes entre XFNM e XFM, refletindo o efeito da maceração sobre a integridade dos grânulos de amido após o processamento térmico. Na Figura 7 estão destacados os principais grânulos representativos em cada amostra, evidenciando as diferenças de tamanho, forma e textura superficial.

Na XFNM observaram-se partículas maiores, blocos compactos e superfícies parcialmente lisas e fundidas em concordância com o resultado de DSC e coalescência granular. Tester et al. (2004) descrevem que o aquecimento direto de amidos promove rápida absorção de água, inchaço e ruptura da estrutura semicristalina. Já Zhang et al. (2023) relataram formação de

matrizes contínuas ricas em amilose lixiviada após gelatinização. Li et al. (2024) complementam que esse processo resulta em estruturas densas e compactadas, em concordância com a morfologia observada para a XFNM.

Em contraste, a XFM apresentou partículas menores, superfícies irregulares, fissuras e maior fragmentação estrutural, evidenciando a ação prévia da maceração na desorganização granular. Adebowale et al. (2022) demonstraram que a maceração promove hidratação progressiva e enfraquecimento da parede dos grânulos de amido. Corroborando esse mecanismo, Liao et al. (2023) demonstraram que a hidratação prolongada promove reorganização interna dos grânulos e redução da resistência mecânica e Okolie et al. (2023) observaram que farinhas de milho submetidas a maceração ou fermentação exibem erosão superficial, perda de integridade e maior suscetibilidade à ruptura durante o cozimento. Esses estudos reforçam que a maceração induz maior heterogeneidade estrutural na XFM, reduzindo a coesão da matriz amilácea em comparação à XFNM.

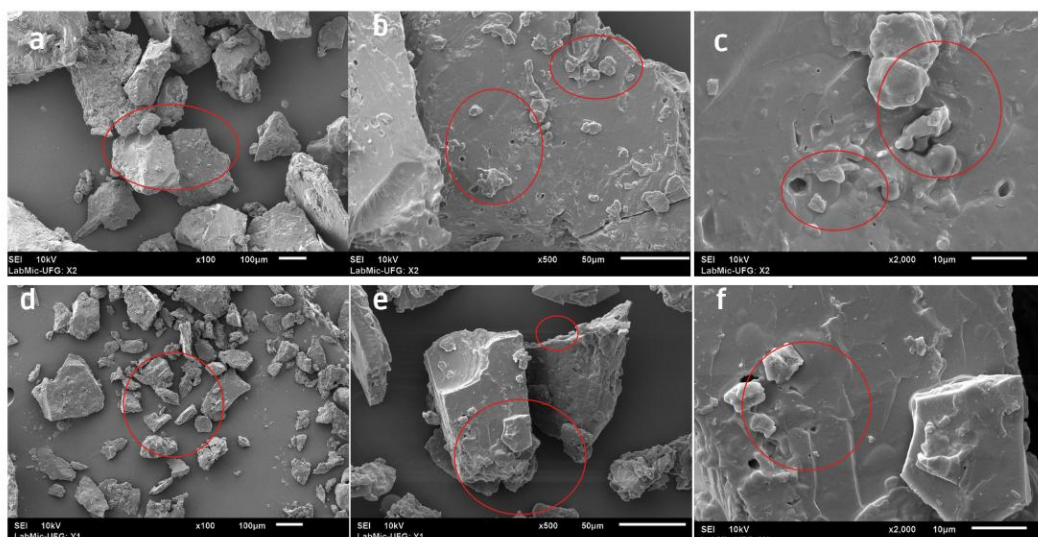


Figura 6. Microscopia das Ximas XFNM (a, b, c) e XFM (d, e, f)

De forma comparativa, a XFNM apresentou predominância de gelatinização abrupta e formação de matriz contínua e compacta, enquanto a XFM evidenciou maior fragmentação e desestruturação granular, isso sugere que a maceração pode ter enfraquecido a estrutura granular.

3.2.10. Análise de dureza

Os resultados de dureza evidenciaram diferença significativa entre as amostras (Tabela 9), sendo que a XFM apresentou maior força máxima ($40,60 \pm 5,18$ N) em comparação à XFNM ($34,61 \pm 1,89$ N).

Tabela 9. Parâmetro de dureza das Ximas

Amostra	Força máxima
XFNM	$34,61 \pm 1,89^b$
XFM	$40,60 \pm 5,18^a$

*Resultados expressos como média \pm desvio padrão.

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste t de Student ($p \leq 0,05$).

Esse comportamento indica aumento da firmeza estrutural na amostra macerada, sugerindo reorganização da matriz amilácea durante o cozimento. Adebo et al. (2020) relatam que a hidratação prévia favorece a difusão de água e aumenta a solubilização de polímeros do amido, favorecendo a retrogradação e aumentando a resistência mecânica do produto final.

De forma similar, Liao, Zhang e Wei (2023) demonstraram que a hidratação progressiva dos grânulos promove rearranjos moleculares que resultam em matrizes mais coesas após o tratamento térmico. A textura de sistemas amiláceos é altamente sensível a modificações induzidas por hidratação e reorganização molecular do amido que pós-gelatinização intensifica a formação de redes mais densas.

Tester et al. (2004) descreveram que processos de gelatinização e retrogradação governam a formação e o endurecimento de redes amiláceas após o cozimento. De modo geral, os resultados indicam que a maceração atuou como fator determinante para o aumento da firmeza da XFM.

4. CONCLUSÃO

A extração de licopeno e β -caroteno do tomate por maceração e percolação apresentou elevada eficiência, com rendimento de 48,8% (base seca) e teores expressivos de carotenoides associados à alta atividade antioxidante. Esses resultados confirmam a viabilidade do método para obtenção de extratos bioativos com potencial aplicação tecnológica. A incorporação de extrato hidroalcoólico concentrado de tomate forneceu níveis relevantes de licopeno e β -caroteno por porção, dentro de faixas associadas a efeitos benéficos à saúde, evidenciando o potencial funcional do produto.

A fortificação promoveu aumento significativo da atividade antioxidante e dos fenólicos totais em relação às amostras controle, demonstrando a eficácia da incorporação dos carotenoides. Embora mantivessem composição predominantemente amilácea, as Ximas fortificadas apresentaram perfil nutricional adequado e maior potencial funcional, sem comprometer a aplicabilidade tecnológica. As análises de cor, TG/DSC, MEV, voláteis e textura confirmaram que a fortificação e a maceração modificaram a organização estrutural, a estabilidade térmica e as propriedades sensoriais e mecânicas, destacando-se a coloração amarelo-avermelhada e o aumento da firmeza na amostra macerada.

Do ponto de vista científico e tecnológico, o estudo demonstra de forma integrada a extração, aplicação e caracterização de carotenoides do tomate na fortificação da Xima, preenchendo lacuna relevante para alimentos básicos da África Oriental. Os resultados indicam que a fortificação com carotenoides é estratégia promissora para elevar o valor funcional da Xima, contribuindo para fortificação, segurança alimentar e mitigação de efeitos associados ao estresse oxidativo em populações dependentes de dietas à base de milho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro à pesquisa; à Faculdade de Farmácia e ao Laboratório de Química e Bioquímica de Alimentos da Universidade Federal de Goiás (UFG), pelo espaço físico e pela infraestrutura disponibilizados para a realização dos experimentos; aos laboratórios LABFood-Laboratório de Controle e Análise de Alimentos da Escola de Agronomia e LAMES-Laboratório de Métodos de Extração e Separação do Instituto de Química (IQ/UFG), pela valiosa contribuição nas análises realizadas neste estudo.

5. REFERÊNCIAS

ABOUBACAR, A.; TCHIEGANG, C.; MESTRES, C. Effect of processing on the nutritional and functional properties of traditional maize-based foods in Africa. **Journal of Cereal Science**, v. 93, p. 102968, 2020.

ADEBO, O. A.; NAIR, R.; ADETUNJI, A. I. Traditional fermented foods and beverages from cereals. **Food Research International**, v. 137, 2020.

ADEBO, O. A. et al. Effect of processing on nutritional and functional properties of cereal-based foods: a review. *Food Reviews International*, v. 38, p. 1–21, 2022.

ADEBO, O. A.; NJOBEH, P. B.; KAYITESI, E. Impact of traditional processing on antioxidant properties of African cereal foods. **Food Research International**, v. 173, p. 113285, 2024.

ADEBOWALE, A. A. et al. Effect of soaking and fermentation on the microstructure and functional properties of maize starch. **Food Hydrocolloids**, 2022.

ALAMU, E. O. et al. Nutrient and aflatoxin contents of traditional complementary foods consumed by children of 6–24 months. **Food Science & Nutrition**, v. 6, n. 4, p. 834–842, 2018.

ALEKSANDRA KAPAŁA; SZLENDAK, M.; MOTACKA, E. The anti-cancer activity of lycopene: a systematic review of human and animal studies. **Nutrients**, v. 14, n. 23, p. 5152, 2022.

AMIRI-RIGI, A.; ABBASI, S. Extraction of lycopene using a lecithin-based olive oil microemulsion. **Food Chemistry**, v. 265, p. 283–292, 2018.

AMWOMA, L. M. Determination of proximate composition, energy and glycemic index of composite ugali flours. **African Journal of Health Sciences**, v. 36, n. 3, p. 1–10, 2023.

AOAC. **Official methods of analysis**. 21. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2019.

ASTM. Standard test method for compositional analysis by thermogravimetry. West Conshohocken: **ASTM International**, 2020.

AWUCHI, Chukwuebuka Godwin. Nutritional and functional properties of maize-based foods and their role in food security. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 118, p. 105177, 2023.

AZMIR, J.; ZAIDUL, I. S. M.; RAHMAN, M. M.; SHARIF, K. M.; MOHAMED, A.; SAHENA, F.; JAHURUL, M. H. A.; GHAFOOR, K.; NORULAINI, N. A. N.; OMAR, A. K. M. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: a review. *Journal of Food Engineering*, v. 117, n. 4, p. 426–436, 2013.

BATISTA, RAYSSA DIAS; Asquieri, Eduardo Ramirez; DE MOURA E SILVA, ALINE GOMES; BATISTA, RYHÁRA DIAS; DE ABREU, DANILO JOSÉ MACHADO. Physicochemical Characterization of Potato Peel Flour (*Solanum tuberosum* L.) and Optimization of the Ultrasound-Assisted Extraction Process (UAE) of the Phenolic Compounds Using Response Surface Methodology. **Potato research JCR**, v. 69, p. 1-29, 2026.

BIANCHI, A. R. et al. Antioxidant characterization of six tomato cultivars and derived products destined for human consumption. **Antioxidants**, v. 12, n. 3, p. 761, 2023.

BOEING, A. H.; LONGO, C.; KUHNEN, S. Perfil de compostos fenólicos solúveis e após processamento térmico para produção de farinhas de variedades crioulas de milho e atividade antioxidante em polenta. [S.l.: s.n.], 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Instrução Normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020**. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 09 out. 2020.

CABRAL, D. V. et al. Influence of cultivation region on color, volatile compounds, phenolics and antioxidant activity of *Coffea arabica* Catuaí cultivar in Brazil. **Food Science and Technology**, v. 45, e00464, 2025.

CECÍLIO, V.; TATSCH, O. Granulometria e amido danificado de farinhas de trigo obtidas em diferentes moinhos experimentais. [S.l.: s.n.], p. 1–5, 2015.

CEREDA, M. P.; DAIUTO, E. R.; VILPOUX, O. Methodology for determination of starch by acid digestion in microwave. **Revista da Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca (ABAM)**, n. 8, p. 29–34, 2004.

CHEMUTAI, S.; MBURU, M.; NJOROGI, D.; ZETTEL, V. Effects of ugali maize flour fortification with chia seeds (*Salvia hispanica* L.) on its physico-chemical properties and consumer acceptability. **Foods**, v. 13, n. 4, p. 543, 2024. DOI: 10.3390/foods13040543.

COLLINS, E. J.; BOWYER, C.; TSOUZA, A.; CHOPRA, M. Tomatoes: an extensive review of the associated health benefits. **Foods**, v. 11, n. 2, p. 203, 2022.

COMINETTI, CRISTIANE; COZZOLINO, S. M. E. Recomendações de nutrientes. 3. ed. São Paulo: **International Life Sciences Institute do Brasil - IL SI Brasil**, 2025.

DE CÁSSIA SOUSA MENDES, D. et al. Microencapsulation of jabuticaba extracts (*Myrciaria cauliflora*): evaluation of their bioactive and thermal properties in cassava starch biscuits. **LWT**, v. 137, p. 110460, 2021.

DESIRE, M. et al. Phenolic characterization of a purple maize (*Zea mays* cv. “Moragro”) by HPLC-QTOF-MS and study of its bioaccessibility using a simulated in vitro digestion/Caco-2 culture model. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 2024.

DIRCEU, J. S.; QUEIROZ, A. C. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. Viçosa: **Imprensa Universitária da UFV**, 1990.

DO CARMO, M. S. et al. Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura de milho doce (*Zea mays* convar. *saccharata* var. *rugosa*). **Bioscience Journal**, v. 28, supl. 1, p. 223–231, 2012.

EKPA, O. et al. Sub-Saharan African maize-based foods – processing practices, challenges and opportunities. **Food Reviews International**, v. 35, n. 7, p. 609–639, 2019.

FARINON, B. et al. Tomato pomace food waste from different variants as a high antioxidant potential resource. **Food Chemistry**, v. 452, p. 136154, 2024.

FENG, X. et al. Phthalates in food: sources, occurrence, and analytical methods. **Food Chemistry**, v. 345, 2021.

FENNEMA, O. R. **Food chemistry**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2008.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Jaboticabal, v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019. DOI: 10.28951/rbb.v37i4.450.

GANUGI, P. et al. The functional profile and antioxidant capacity of tomato fruits are modulated by the interaction between microbial biostimulants, soil properties and soil nitrogen status. **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 1–19, 2023.

GEBREGZIABHER, B. S. et al. Carotenoids: dietary sources, health functions and biofortification strategies. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 13, p. 100646, 2023.

HARVESTPLUS. **Biofortification progress brief: Maize**. Washington, DC: IFPRI, 2014.

HIGBY, K. Method for determination of some aspects of the carotenoid distribution in natural and orange juice. **Journal of Food Science**, v. 26, p. 145–152, 1961.

HOSSEINI, S. F.; REZAEI, M.; ZANDI, M.; FARAHMANDGHAVI, F. Preparation and characterization of chitosan-nanoparticles-loaded fish gelatin-based edible films. **Journal of Food Process Engineering**, v. 39, p. 521–529, 2016.

HUANG, Y. et al. High-value utilization of brewers' spent grain in extruded products: physicochemical and quality evaluation. **Foods**, 2025.

JULIANO, B. O. A simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal Science Today**, v. 16, p. 334–338, 1971. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:102504549>.

KITESSA, D. A.; BELETE, T.; GIRMA, B.; ABERA, S. Effect of fermentation time and blending ratio on the nutritional quality of cereal-based fermented porridge. **Fermentation**, v. 10, n. 3, p. 118, 2024. DOI: 10.3390/fermentation10030118.

LARISSA LEANDRO DA CRUZ GLÓRIA et al. Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity in a super-sweet corn hybrid. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 109, p. 104480, 2022.

LI, J. et al. Phenolic compounds and antioxidant activities in cereals and cereal products: recent advances. **Food Chemistry**, 2023.

LI, X. et al. Influence of soaking and wet processing on mineral bioaccessibility in cereal matrices. *Food Chemistry*, v. 405, p. 134814, 2023.

LI, J. et al. Thermal and structural transformations of cereal starches during cooking. **LWT – Food Science and Technology**, 2024.

LI, J.; WANG, X.; ZHANG, Y. et al. Influence of pigment composition on antioxidant capacity of different tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. **LWT – Food Science and Technology**, v. 196, p. 117871, 2025. DOI: 10.1016/j.lwt.2025.117871.

LI, J.; WANG, X.; ZHANG, Y. et al. Release of bound phenolics and antioxidant response in processed cereal-based foods. **LWT – Food Science and Technology**, v. 186, p. 115201, 2024.

LIAO, H.; ZHANG, B.; WEI, C. Structural changes of starch during thermal processing: a review. **Carbohydrate Polymers**, 2023.

MABROUKI, S. et al. Assessing texture profile analysis in natural state versus texture profile analysis with back extrusion post-homogenization of cooked pea protein-based and meat patties: a comparative study. **Future Foods**, v. 9, p. 1–8, 2024.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. **Piracicaba: POTAFOS**, 1997.

MAPA. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. Brasília: MAPA, 2024.

MARTÍ, A.; CALIGIANI, A.; CIRLINI, M. Limitations of DPPH assay in starch-rich food matrices. **Antioxidants**, v. 12, n. 4, p. 812, 2023.

MARTÍ, R.; ROSELLÓ, S.; CEBOLLA-CORNEJO, J. Tomato antioxidants: chemical characterization and contribution to total antioxidant capacity. **Food Chemistry**, v. 404, p. 134570, 2023. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134570.

MUZHINGI, T. et al. Yellow maize with high β -carotene is an effective source of vitamin A in healthy Zimbabwean men. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 94, n. 2, p. 510–519, 2011.

NDHLEVE, S. et al. Nutritional quality and consumption patterns of maize-based staple foods in sub-Saharan Africa. *Food Security*, v. 14, p. 1321–1334, 2022.

NKHATA, S. G.; AYUA, E. H.; KAMAU, E. H.; SHINGIRO, J. B. Fermentation and cooking effects on nutritional quality of maize-based foods. **International Journal of Food Science & Nutrition**, v. 73, n. 3, p. 321–334, 2022.

NKHATA, S. G. et al. Fermentation and soaking effects on mineral bioavailability of cereal-based foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 115, p. 104931, 2023.

NKHATA, S. G.; AYUA, E. O.; SHINGIRO, J. B. Processing effects on phenolic bioaccessibility and antioxidant activity of traditional maize foods. **Journal of Cereal Science**, v. 109, p. 103582, 2023.

OBOULBIGA, E. B. et al. Assessment of the content of β -carotene, lycopene and total phenolic of 45 varieties of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). **International Journal of Nutrition and Food Sciences**, v. 6, n. 3, p. 82–89, 2018.

OGBONNA, A. C.; AKPABOT, G. S.; UDOH, I. E. Quality assessment of pulverized fermented yellow maize ogi fortified with flour blends of banana and date palm fruits. **Research Journal of Food Science and Quality Control**, v. 10, n. 5, p. 81–98, 2024.

OJOKOH, A. O.; EROMOSELE, O. E. Effect of fermentation on nutrient and anti-nutrient composition of maize products. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, 2018.

OKOLIE, P. I. et al. Physicochemical and microstructural properties of maize flours as affected by processing. **Journal of Cereal Science**, 2023.

OKOLIE, C. L. et al. Impact of hydrothermal processing on physicochemical and nutritional properties of maize products. *Foods*, v. 12, 2023.

ONYANGO, C.; MUTUNGI, C.; UNBEHEND, G. Physicochemical and nutritional characteristics of maize-based stiff porridges consumed in Eastern and Southern Africa. **Food Research International**, v. 140, p. 109874, 2021.

PIAYURA, S. et al. Effects of feed moisture and coconut meal on properties of extruded cereal products. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, 2023.

PICO, J.; BERNAL, J.; GÓMEZ, M. Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: a review. **Food Research International**, v. 75, 2019.

PORRINI, M.; RISO, P.; TESTOLIN, G. Absorption of lycopene from tomato products. **British Journal of Nutrition**, v. 80, p. 353–361, 1998.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; ESQUIVEL, P.; MELÉNDEZ, A. J. Comprehensive update on carotenoid colorants from plants and microalgae: challenges and advances from research laboratories to industry. *Trends in Food Science & Technology*, v. 132, p. 146–170, 2023

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; INSTITUTE, I. L. S.; (PROJECT), O. A guide to carotenoid analysis in foods. **Washington, DC: ILSI Press**, 2001.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **HarvestPlus handbook for carotenoid analysis**. Washington, DC: IFPRI/CIAT, 2004.

ROESLER, R. et al. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 53–60, 2007.

ROJAS, M. L. et al. Flow properties, texture, stability, and bioactive compounds of cereal porridges. **Journal of Food Engineering**, 2025.

ROMDHANE, A. et al. Comparative nutrient and antioxidant profile of high lycopene variety with *hygenes* and ordinary variety of tomato under organic conditions. **Agronomy**, v. 13, n. 3, p. 740, 2023.

SAINI, R. K. et al. Carotenoid bioaccessibility and bioavailability in foods. **Food Research International**, v. 132, 2020.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: antioxidant activity and health effects. **Journal of Functional Foods**, v. 18, 2015.

SHAHIDI, F.; YEO, J. Bioactivities of phenolics by focusing on suppression of chronic diseases: a review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, 2018.

SHI, J.; LE MAGUER, M. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 40, 2000.

SILVA, R. do N. et al. Comparação de métodos para a determinação de açúcares redutores e totais em mel. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 3, p. 337–341, 2003.

SITOIE, C. L.; SANTOS, G. M. dos. Difusões de vegetais em Moçambique: dinâmicas locais, regionais e transcontinentais, com ênfase em plantas amazônicas no contexto do Brasil colônia. **Revista Canoa do Tempo**, v. 14, n. FC, p. 1–30, 2022.

SOLABERRIETA, I.; MELLINAS, C.; JIMÉNEZ, A.; GARRIGÓS, M. C. Recovery of antioxidants from tomato seed industrial wastes by microwave-assisted and ultrasound-assisted extraction. **Foods**, v. 11, n. 19, p. 3068, 2022. DOI: 10.3390/foods1119306

SONG, Y.; CHEN, Z.; LIU, D. Influence of cooking and hydration on antioxidant properties of cereal-based foods. **Food Research International**, v. 173, p. 113210, 2024.

SOXHLET, F. Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes. **Dingler's Polytechnisches Journal**, 1879.

SZABO, K. et al. Carotenoid recovery from tomato processing by-products through green chemistry. **Antioxidants**, v. 11, n. 2, p. 313, 2022.

- SZYDŁOWSKA-CZERNIAK, A. et al. Determination of antioxidant capacities of vegetable oils by ferric-ion spectrophotometric methods. **Talanta**, v. 76, n. 4, p. 899–905, 2008.
- TALEON, V. et al. Retention of carotenoids in biofortified maize foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017.
- TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch—composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 2, p. 151–165, 2004. DOI: 10.1016/j.jcs.2003.12.001.
- TUFAIL, T. et al. Nutritional benefits of lycopene and beta-carotene. **Nutrients**, 2024
- UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura C211A5CCE4C6B76454CF. **UNESCO**, 2019.
- UNGUREANU-IUGA, M. et al. Assessing changes in grape pomace–maize flour mixtures and extruded products. **Food Hydrocolloids**, 2025. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2025.112281.
- ZHANG, H.; LIU, R.; CHEN, Q. et al. Antioxidant activity and phytochemical profile of tomato cultivars with different pigmentation. **Antioxidants**, v. 13, n. 2, p. 215, 2024. DOI: 10.3390/antiox13020215.
- ZHANG, Y.; LIU, H.; WANG, X. Effect of thermal processing on phenolic compounds and antioxidant capacity of maize-based foods. **Food Chemistry**, v. 405, p. 134856, 2023.