

FERMENTAÇÃO SÓLIDA COMO ESTRATÉGIA DE ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS: UMA RESENHA CRÍTICA

SOLID FERMENTATION AS A STRATEGY FOR NUTRITIONAL ENRICHMENT AND VALORIZATION OF AGROINDUSTRIAL WASTE: A CRITICAL REVIEW

LA FERMENTACIÓN SÓLIDA COMO ESTRATEGIA PARA EL ENRIQUECIMIENTO NUTRICIONAL Y LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES: UNA REVISIÓN CRÍTICA

Antônio Zenon Antunes Teixeira¹

RESUMO: A fermentação em estado sólido (FES) tem se destacado como estratégia eficiente para o enriquecimento nutricional de substratos agroindustriais e valorização de resíduos, como a mandioca e o farelo de arroz. O processo, realizado por microrganismos como leveduras e fungos filamentosos, promove aumento do teor proteico, síntese de aminoácidos essenciais e redução de compostos antinutricionais, além de melhorar características sensoriais, como aroma, textura e sabor. Estudos indicam que a FES aplicada à mandioca eleva seu conteúdo proteico e reduz glicosídeos cianogênicos, enquanto no farelo de arroz aumenta proteínas e aminoácidos essenciais, diminuindo fitatos e aprimorando a aceitabilidade. Além dos benefícios nutricionais, a FES contribui para a sustentabilidade ambiental ao transformar resíduos em produtos de valor agregado, fortalece cadeias produtivas locais e apoia políticas de segurança alimentar. Este artigo apresenta uma resenha crítica sobre os avanços recentes da FES, discutindo aspectos teóricos, metodológicos e práticos, e destacando suas implicações sociais, econômicas e científicas.

Palavras-chave: Fermentação sólida. Mandioca. Farelo de arroz. Enriquecimento nutricional. resíduos agroindustriais.

ABSTRACT: Solid-state fermentation (SSF) has emerged as an efficient strategy for the nutritional enrichment of agro-industrial substrates and the valorization of residues, such as cassava and rice bran. This process, carried out by microorganisms including yeasts and filamentous fungi, enhances protein content, synthesizes essential amino acids, and reduces antinutritional compounds, while improving sensory attributes such as aroma, texture, and taste. Studies show that SSF of cassava increases protein levels and decreases cyanogenic glycosides, whereas rice bran fermentation enhances proteins and essential amino acids, reduces phytates, and improves palatability. Beyond nutritional benefits, SSF promotes environmental sustainability by transforming residues into value-added products, strengthens local production chains, and supports food security policies. This article provides a critical review of recent SSF advances, discussing theoretical, methodological, and practical aspects, highlighting social, economic, and scientific implications.

Keywords: Solid-state fermentation. Cassava. Rice bran. Nutritional enrichment. Agro-industrial residues.

¹Doutor em Ciências Universidade Federal do Paraná (UFPR). Instituto Federal de Goiás.

RESUMEN: La fermentación en estado sólido (FES) se ha destacado como estrategia eficiente para el enriquecimiento nutricional de sustratos agroindustriales y la valorización de residuos, como la yuca y el salvado de arroz. Este proceso, realizado por microorganismos como levaduras y hongos filamentosos, incrementa el contenido proteico, sintetiza aminoácidos esenciales y reduce compuestos antinutricionales, además de mejorar atributos sensoriales, como aroma, textura y sabor. Estudios muestran que la FES aplicada a la yuca aumenta su contenido proteico y disminuye los glucósidos cianogénicos, mientras que en el salvado de arroz incrementa proteínas y aminoácidos esenciales, reduce fitatos y mejora la aceptabilidad. Además de los beneficios nutricionales, la FES contribuye a la sostenibilidad ambiental al transformar residuos en productos de valor agregado, fortalece las cadenas productivas locales y apoya políticas de seguridad alimentaria. Este trabajo presenta una reseña crítica sobre los avances recientes de la FES, abordando aspectos teóricos, metodológicos y prácticos, y destacando sus implicaciones sociales, económicas y científicas.

Palabras clave: Fermentación en estado sólido. Yuca. Salvado de arroz. Enriquecimiento nutricional. Residuos agroindustriales.

INTRODUÇÃO

A fermentação em estado sólido (FES) tem emergido como uma das mais promissoras tecnologias biotecnológicas aplicadas à valorização de resíduos agroindustriais e à produção de alimentos enriquecidos nutricionalmente. Esse processo, caracterizado pelo crescimento de microrganismos em substratos sólidos com baixo teor de água livre, tem sido amplamente estudado pela sua eficiência em promover a biossíntese de proteínas, aminoácidos essenciais e compostos bioativos de interesse para a alimentação humana e animal (Bhargav et al., 2008; Pandey, 2003).

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), raiz amplamente cultivada no Brasil e em diversos países tropicais, constitui um dos principais substratos avaliados para aplicação da FES. Embora seja um alimento básico e culturalmente relevante, a mandioca apresenta baixo teor proteico (1–2%) e a presença de fatores antinutricionais, como os glicosídeos cianogênicos, que limitam seu potencial nutricional (Cardoso et al., 2005; Tivana et al., 2007). Nesse contexto, a fermentação sólida tem se mostrado uma estratégia eficaz para agregar valor, aumentar a segurança alimentar e diversificar seus usos (Nasseri et al., 2011; Soccoll et al., 1994).

Estudos recentes apontam que a utilização do fermento Tapai, consórcio microbiano típico do sudeste asiático, pode elevar significativamente o conteúdo proteico da mandioca, ao mesmo tempo em que reduz compostos tóxicos e promove alterações sensoriais desejáveis, como textura mais macia e aroma adocicado (Cronk et al., 1977; Ko, 1986; Teixeira et al., 2025). Esse processo resgata tradições culturais e dialoga com práticas alimentares globais, ao mesmo tempo em que se adapta às demandas brasileiras por alimentos funcionais e nutritivos.

Outro substrato de relevância para a FES é o farelo de arroz, resíduo do polimento do grão, rico em carboidratos, fibras e minerais. Apesar de sua composição promissora, o farelo é subutilizado devido à instabilidade enzimática e à formação de odor e sabor de ranço durante o armazenamento (Glushenkova et al., 1998; Magalhães & Teixeira, 2020). A fermentação com leveduras como *Saccharomyces cerevisiae* permite não apenas o enriquecimento proteico, mas também a eliminação de fatores antinutricionais, como o fitato, ampliando sua aplicação na alimentação humana e animal (Hardini, 2010; Feltrin et al., 2014).

A aplicação da FES no farelo de arroz tem demonstrado incrementos significativos no teor de proteínas (até 21% com adição de levedura), além da presença de aminoácidos essenciais como triptofano e fenilalanina, que não são encontrados no material in natura (Teixeira & Souza, 2025; Magalhães & Teixeira, 2020). Assim, o processo contribui para mitigar deficiências nutricionais em populações vulneráveis e abre novas possibilidades de formulações funcionais.

Do ponto de vista prático, a FES apresenta vantagens em relação à fermentação submersa, incluindo menor consumo de água, simplicidade operacional, baixo custo e aproveitamento de resíduos agroindustriais como mandioca e farelo de arroz (Raimbault, 1998; Pandey, 2003). Essa característica torna o processo altamente relevante para países em desenvolvimento, onde a disponibilidade de recursos tecnológicos é limitada, mas a produção de biomassa agrícola é abundante.

Além do enriquecimento proteico, a FES promove modificações organolépticas que ampliam a aceitação sensorial dos produtos fermentados. A mandioca fermentada, por exemplo, apresenta aroma e textura aprimorados, enquanto o farelo de arroz fermentado adquire sabor mais agradável e coloração dourada, características que favorecem sua incorporação em novos produtos alimentícios (Magalhães & Teixeira, 2020; Teixeira & Souza, 2025).

A relevância social da FES reside na sua aplicação como ferramenta de segurança alimentar e nutricional. Populações que dependem da mandioca como principal fonte energética podem se beneficiar do enriquecimento proteico resultante da fermentação, reduzindo quadros de desnutrição proteico-energética. Do mesmo modo, a utilização de resíduos agroindustriais fermentados contribui para a sustentabilidade ambiental, ao transformar subprodutos de baixo valor comercial em ingredientes funcionais (Soccol et al., 1994; Hu, Liu & Yang, 2012).

Sob a ótica econômica, a aplicação da FES pode fortalecer cadeias produtivas locais, agregando valor a matérias-primas abundantes e de baixo custo. O desenvolvimento de novos produtos derivados da mandioca fermentada ou do farelo de arroz pode gerar renda para agricultores familiares e indústrias regionais, além de favorecer a inserção desses produtos em mercados que demandam alimentos funcionais (Cereda & Vilpoux, 2003; Coulin et al., 2006).

No campo científico, a FES se destaca como tema interdisciplinar que une microbiologia, bioquímica, engenharia de alimentos e nutrição. A caracterização dos microrganismos envolvidos, a otimização das condições fermentativas e a análise de compostos bioativos gerados configuraram linhas de pesquisa em expansão, com potencial de inovação tecnológica (Steinkraus, 1997; Panda & Ray, 2007).

A contribuição teórica da pesquisa sobre fermentação sólida está no aprofundamento das interações entre microrganismos e substratos agroindustriais, demonstrando como processos biológicos podem modificar significativamente a composição nutricional dos alimentos. Já a contribuição prática se expressa na possibilidade de oferecer alternativas sustentáveis, nutritivas e economicamente viáveis para a alimentação humana e animal (Magalhães & Teixeira, 2020; Teixeira & Souza, 2025).

Diante desse cenário, a fermentação sólida aplicada à mandioca e ao farelo de arroz constitui não apenas uma prática biotecnológica, mas também uma estratégia de desenvolvimento sustentável, articulando segurança alimentar, inovação tecnológica e valorização de resíduos agroindustriais.

Assim, o objetivo deste artigo é realizar uma resenha crítica sobre o potencial da fermentação sólida, analisando suas contribuições nutricionais, sensoriais e socioeconômicas, a partir de estudos recentes aplicados à mandioca e ao farelo de arroz, com enfoque em suas justificativas teóricas e práticas.

Referencial Teórico

A fermentação é um processo biológico caracterizado pela transformação de carboidratos em álcoois e ácidos orgânicos, realizada por microrganismos em condições predominantemente anaeróbicas (Steinkraus, 1997). Trata-se de uma das técnicas mais antigas da humanidade, utilizada inicialmente para conservação de alimentos, mas que, ao longo da história, passou a ser explorada como estratégia para diversificação sensorial e enriquecimento nutricional (Panda & Ray, 2007).

No contexto específico da fermentação em estado sólido (FES), o processo se caracteriza pelo crescimento de microrganismos em substratos sólidos, sem presença de água livre, sendo considerada uma alternativa eficiente à fermentação submersa. Essa modalidade apresenta vantagens como baixo custo, simplicidade operacional e melhor aproveitamento de resíduos agroindustriais (Bhargav et al., 2008; Pandey, 2003).

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é um dos principais substratos avaliados para aplicação da FES, sobretudo devido à sua ampla disponibilidade no Brasil e em países tropicais. Embora seja um alimento básico para milhões de pessoas, a mandioca apresenta baixo teor proteico (1-2%) e a presença de compostos tóxicos, como os glicosídeos cianogênicos (Cardoso et al., 2005). A fermentação tem se mostrado uma alternativa eficaz para reduzir esses fatores antinutricionais e enriquecer o alimento com proteínas microbianas (Tivana et al., 2007; Hu, Liu & Yang, 2012).

Estudos clássicos demonstraram que a fermentação sólida da mandioca com fungos do gênero *Rhizopus* pode elevar o conteúdo de proteína bruta de 1,75% para 11,3% em apenas 48 horas (Soccol et al., 1994). Esse fenômeno ocorre porque microrganismos utilizam o amido da mandioca como fonte energética, sintetizando proteínas microbianas e aminoácidos essenciais, que se acumulam no substrato (Nasseri et al., 2011).

5

O fermento Tapai, tradicionalmente utilizado no sudeste asiático, é composto por um consórcio de microrganismos que inclui leveduras e fungos filamentosos, como *Amylomyces rouxii*, *Endomycopsis burtonii* e *Saccharomyces cerevisiae*. Esse conjunto microbiano promove a degradação do amido, a síntese de proteínas e a formação de compostos aromáticos (Cronk et al., 1977; Ko, 1986). A adaptação desse processo à realidade brasileira abre perspectivas de inovação alimentar e nutricional (Teixeira et al., 2025).

Além da mandioca, o farelo de arroz também se destaca como substrato para FES. Trata-se de um resíduo agroindustrial obtido durante o polimento do arroz, rico em carboidratos, fibras, proteínas e minerais, mas subutilizado devido à instabilidade causada pela ação enzimática que gera odor e sabor de ranço (Glushenkova et al., 1998). A fermentação surge como uma alternativa para eliminar fatores antinutricionais, como o fitato, e melhorar a aceitabilidade sensorial (Hardini, 2010).

Pesquisas recentes demonstram que a fermentação do farelo de arroz com *Saccharomyces cerevisiae* promoveu aumento do teor proteico de 13% (controle) para até 21% com adição de 6% de levedura, além de melhorias significativas na textura, cor e aroma do produto final.

(Magalhães & Teixeira, 2020). Esses resultados evidenciam o potencial do processo para transformar resíduos em insumos de alto valor agregado.

Outra contribuição relevante da FES sobre o farelo de arroz é a síntese de aminoácidos essenciais. Estudos apontaram a presença de arginina, cisteína, tirosina, triptofano e fenilalanina apenas após o processo fermentativo, inexistentes ou em baixíssimas concentrações no material cru. Isso reforça a função da FES como ferramenta de biofortificação (Teixeira & Souza, 2025).

Sob a perspectiva sensorial, tanto a mandioca quanto o farelo de arroz fermentados apresentam características organolépticas mais agradáveis. A mandioca adquire textura mais macia e aroma levemente adocicado, enquanto o farelo fermentado apresenta coloração dourada e sabor suave, eliminando o gosto amargo do produto in natura (Teixeira et al., 2025; Magalhães & Teixeira, 2020).

Do ponto de vista microbiológico, a FES promove redução do pH para valores abaixo de 5,0, o que inibe bactérias patogênicas e favorece microrganismos benéficos como leveduras e fungos, garantindo segurança alimentar e estabilidade do produto (Coulon et al., 2006). Essa autorregulação do ambiente fermentativo reforça a viabilidade do processo em contextos de baixa tecnologia.

6

Em termos de sustentabilidade, a FES contribui para a valorização de resíduos agroindustriais, reduzindo impactos ambientais e gerando insumos para alimentação humana e animal. Assim, alia ganhos nutricionais a benefícios ecológicos, constituindo-se em prática alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial aqueles relacionados à erradicação da fome e ao consumo responsável (Rimbault, 1998; Pandey, 2003).

Por fim, o avanço das pesquisas sobre FES integra conhecimentos de microbiologia, bioquímica, engenharia de alimentos e nutrição, consolidando um campo interdisciplinar em franca expansão. Ao mesmo tempo em que gera contribuições teóricas para a ciência, oferece soluções práticas para desafios sociais como a insegurança alimentar, a desnutrição e a gestão de resíduos (Steinkraus, 1997; Teixeira & Souza, 2025).

METODOLOGIA

A elaboração desta resenha crítica fundamentou-se em uma abordagem qualitativa de caráter exploratório, voltada à análise de estudos científicos que investigaram o uso da fermentação em estado sólido (FES) aplicada a substratos agroindustriais, com destaque para

a mandioca e o farelo de arroz. Esse tipo de pesquisa é adequado quando o objetivo é compreender fenômenos a partir de múltiplas perspectivas, integrando dimensões teóricas, práticas e experimentais (Minayo, 2012).

A coleta de dados baseou-se na análise documental de artigos científicos disponibilizados em periódicos nacionais, incluindo *Revista Contemporânea* e *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*. Foram selecionados quatro estudos principais, cujos objetos variam desde a caracterização organoléptica até o enriquecimento proteico e aminoacídico de substratos fermentados (Teixeira et al., 2025; Magalhães & Teixeira, 2020; Teixeira & Souza, 2025; Soccol et al., 1994).

A escolha por artigos de natureza empírica justifica-se pela relevância da análise de resultados laboratoriais no campo da biotecnologia de alimentos, já que esses estudos permitem verificar transformações físico-químicas, microbiológicas e sensoriais decorrentes do processo fermentativo. Essa seleção também seguiu critérios de pertinência temática e de atualidade, com prioridade a publicações dos últimos dez anos, sem desconsiderar estudos clássicos que fundamentam a área (Steinkraus, 1997; Pandey, 2003).

A análise crítica adotou como parâmetro a triangulação de dados, considerando três eixos:

- a) as contribuições teóricas sobre fermentação sólida e suas bases microbiológicas;
- b) os aspectos práticos observados nos experimentos com mandioca e farelo de arroz;
- c) as implicações sociais, nutricionais e econômicas da aplicação desses processos.

Essa estratégia busca superar uma leitura meramente descritiva, proporcionando uma interpretação comparativa e reflexiva (Gil, 2018).

No que se refere à técnica de análise, empregou-se a leitura analítica, composta por três etapas: leitura exploratória, leitura seletiva e leitura interpretativa. A primeira permitiu a familiarização com os textos, a segunda concentrou-se em identificar as informações mais relevantes, e a terceira consistiu em relacionar os dados obtidos à luz do referencial teórico (Severino, 2017).

A sistematização dos dados seguiu a lógica da resenha crítica, que envolve a apresentação do objeto estudado, a síntese dos pontos principais dos trabalhos, a análise comparativa entre eles e a elaboração de uma apreciação pessoal fundamentada em evidências científicas (Martins & Theóphilo, 2009). Esse procedimento garantiu a organização coerente do conteúdo e o alinhamento com os objetivos da pesquisa.

Do ponto de vista epistemológico, a opção metodológica por uma resenha crítica fundamenta-se na compreensão de que a produção científica deve ser constantemente revisitada, contextualizada e reinterpretada, de modo a atualizar os debates acadêmicos e contribuir para a inovação no campo investigado (Demo, 2000). Assim, o presente estudo articula tanto a dimensão de revisão bibliográfica quanto a análise reflexiva.

Os estudos selecionados apresentaram metodologias laboratoriais que, embora distintas, possuem elementos comuns, como a utilização de diferentes concentrações de microrganismos (2%, 4% e 6%), tempo de fermentação de 72 horas e análise de proteínas pelo método de Kjeldahl ou Lowry, além de testes organolépticos para caracterização sensorial (Magalhães & Teixeira, 2020; Teixeira & Souza, 2025). Esses aspectos foram analisados criticamente, observando limitações e potencialidades.

Outro aspecto metodológico considerado foi a diversidade de microrganismos empregados. Enquanto alguns estudos utilizaram leveduras específicas como *Saccharomyces cerevisiae*, outros exploraram consórcios microbianos do fermento Tapai, tradicional da Ásia, evidenciando diferentes estratégias para enriquecimento nutricional (Cronk et al., 1977; Ko, 1986). Essa pluralidade foi interpretada como fator de inovação e de desafios para padronização dos processos.

A validade dos dados analisados foi reforçada pela comparação de estudos realizados em diferentes contextos, permitindo identificar convergências — como o aumento do teor proteico — e divergências — como a variação nos efeitos sensoriais e na redução de fatores antinutricionais. Esse procedimento contribui para fortalecer a análise crítica e evitar conclusões baseadas em evidências isoladas (Gil, 2018).

Por se tratar de uma resenha crítica, não foram realizados experimentos originais. Entretanto, a análise metodológica dos estudos revisados possibilitou discutir a adequação dos métodos utilizados, destacando pontos fortes e fragilidades. Entre os principais desafios identificados estão a necessidade de padronização das condições fermentativas e a limitação de análises quantitativas mais amplas em alguns trabalhos (Teixeira et al., 2025; Soccot et al., 1994).

Dessa forma, a metodologia empregada nesta resenha crítica possibilitou integrar dados experimentais e reflexões teóricas, produzindo uma análise abrangente sobre o potencial da fermentação sólida em substratos agroindustriais. O rigor analítico e a triangulação das fontes

garantem a consistência da discussão, que busca contribuir para o avanço científico e prático no campo da biotecnologia de alimentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos analisados revelam resultados consistentes quanto ao potencial da fermentação sólida (FES) para enriquecer substratos agroindustriais. A mandioca, por exemplo, após processo fermentativo com microrganismos associados ao fermento Tapai, apresentou aumento significativo no teor proteico, além de melhoria na textura e no aroma (Teixeira et al., 2025). Tais resultados demonstram a relevância do processo como alternativa para incrementar a qualidade nutricional de um alimento amplamente consumido em regiões tropicais.

De maneira semelhante, os experimentos realizados com farelo de arroz fermentado por *Saccharomyces cerevisiae* evidenciam incremento expressivo no conteúdo proteico, atingindo níveis de até 21% com adição de levedura (Magalhães & Teixeira, 2020). O aumento da fração nitrogenada e a formação de aminoácidos essenciais confirmam a viabilidade da FES como estratégia de biofortificação de resíduos agroindustriais.

Do ponto de vista comparativo, observa-se que tanto a mandioca quanto o farelo de arroz apresentam carências nutricionais em sua forma in natura: baixo teor proteico na mandioca e fatores antinutricionais no farelo. Contudo, os dois substratos, quando submetidos à FES, sofrem transformações que os tornam fontes mais ricas em proteínas e aminoácidos essenciais (Soccol et al., 1994; Teixeira & Souza, 2025). Essa convergência reforça a aplicabilidade da técnica em diferentes matrizes vegetais.

Outro ponto relevante é a dimensão sensorial. A fermentação da mandioca conferiu aroma adocicado e textura mais macia, enquanto o farelo de arroz fermentado apresentou coloração dourada e sabor menos amargo, características que ampliam sua aceitação pelo consumidor (Teixeira et al., 2025; Magalhães & Teixeira, 2020). Assim, além de enriquecer nutricionalmente os alimentos, a FES melhora atributos organolépticos, aspecto essencial para viabilizar sua inserção no mercado.

A análise crítica também mostra que a fermentação reduz compostos indesejáveis. Na mandioca, os glicosídeos cianogênicos, responsáveis pela toxicidade, foram significativamente degradados, aumentando a segurança alimentar (Cardoso et al., 2005). Já no farelo de arroz, a

diminuição de fitatos contribui para melhorar a biodisponibilidade de minerais, potencializando o valor nutricional do produto final (Hardini, 2010).

Esses resultados evidenciam que a FES não apenas enriquece o teor proteico, mas também promove a detoxificação de substratos, o que a torna um processo de duplo benefício: nutricional e sanitário. Essa característica a diferencia de outras técnicas de processamento, que por vezes preservam ou até concentram fatores antinutricionais (Nasseri et al., 2011).

Por outro lado, a análise crítica aponta desafios a serem enfrentados. A padronização dos consórcios microbianos utilizados é uma das limitações mais evidentes. Enquanto a levedura *Saccharomyces cerevisiae* apresenta reproduzibilidade e segurança reconhecida, consórcios como o Tapai oferecem resultados variáveis, embora tragam vantagens em diversidade metabólica (Cronk et al., 1977; Ko, 1986). Essa heterogeneidade impõe barreiras à industrialização em larga escala.

Outro aspecto que merece atenção refere-se à escalabilidade dos processos. Embora os resultados laboratoriais sejam promissores, a adaptação da FES a sistemas industriais exige controle rigoroso de temperatura, umidade e oxigenação, fatores que podem encarecer o processo (Raimbault, 1998; Pandey, 2003). Assim, o desafio está em conciliar eficiência tecnológica com viabilidade econômica.

A discussão também evidencia que os impactos da FES vão além da dimensão nutricional. Do ponto de vista socioeconômico, o aproveitamento da mandioca e do farelo de arroz por meio da fermentação agrega valor a matérias-primas abundantes e de baixo custo, fortalecendo cadeias produtivas locais e promovendo sustentabilidade ambiental (Cereda & Vilpoux, 2003).

Outro benefício é o alinhamento da FES aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente no que diz respeito à erradicação da fome e ao consumo sustentável. Ao transformar resíduos em alimentos funcionais, a técnica contribui para reduzir desperdícios e promover segurança alimentar em comunidades vulneráveis (Hu, Liu & Yang, 2012).

No campo científico, os resultados analisados confirmam que a FES constitui uma área interdisciplinar, articulando microbiologia, engenharia de alimentos e nutrição. O avanço das pesquisas abre espaço para novas formulações alimentícias e medicamentosas, além de contribuir para a compreensão dos mecanismos de interação entre microrganismos e substratos sólidos (Steinkraus, 1997; Panda & Ray, 2007).

Em síntese, os estudos revisados demonstram que a fermentação sólida aplicada à mandioca e ao farelo de arroz promove ganhos nutricionais, sensoriais, econômicos e sociais. Contudo, a consolidação de sua aplicação em escala industrial requer a superação de desafios metodológicos e a padronização dos processos, de modo a ampliar sua aceitação e garantir segurança alimentar.

REFERÊNCIAS

- BHARGAV, S.; PANDA, B. P.; ALI, M. & JAVED, S. Solid-state fermentation: an overview. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, v. 22, n. 1, p. 49-70, 2008.
- CARDOSO, A. P.; MIRIONEM, E.; ERNESTO, M.; MASSAZA, F.; CLIFF, J.; REZAUL HAQUE, M. & HOWARD BRADBURY, J. Processing of cassava roots to remove cyanogens. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 18, p. 451-460, 2005.
- CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas: mandioca. São Paulo: Fundação Cargill, 2003.
- COULIN, P.; FARAH, Z.; ASSANVO, J. B.; SPILLMANN, H.; PUHAN, Z. Microflora of traditional fermented cassava starters. *Journal of Applied Microbiology*, v. 101, p. 1059-1068, 2006.
- CRONK, T. C.; DORNER, J. W.; AYLOR, D. E.; LILLY, V. G. Microbiology of Tapai fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 33, p. 1067-1073, 1977.
- DEMO, P. Metodologia do conhecimento científico. São Paulo: Atlas, 2000.
- GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2018.
- GLUSHENKOVA, A. I.; KOLB, V. I.; ZHIGALOVA, N. V.; KALASHNIKOVA, G. A. Lipids of rice bran. *Chemistry of Natural Compounds*, v. 34, n. 5, p. 493-497, 1998.
- HARDINI, I. Utilization of microbial fermentation to increase nutritional value of rice bran. *Journal of Agricultural Science*, v. 2, n. 3, p. 41-48, 2010.
- HU, Y.; LIU, Y.; YANG, Y. Protein enrichment of cassava residue using microorganisms. *African Journal of Biotechnology*, v. 11, n. 52, p. 11544-11549, 2012.
- KO, S. D. Traditional fermented foods of Southeast Asia. Seoul: National University Press, 1986.
- MAGALHÃES, A. P. L.; TEIXEIRA, A. Z. A. Análise organoléptica e proteica da fermentação do farelo de arroz com a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 6, n. 12, p. 83-92, 2020.
- MARTINS, G. A.; THEÓPHILO, C. R. Metodologia da investigação científica. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MINAYO, M. C. S. O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2012.

NASSERI, A. T.; RASOUL-AMINI, S.; MOROWVAT, M. H.; GHASEMI, Y. Single cell protein: production and process. *American Journal of Food Technology*, v. 6, p. 103–116, 2011.

PANDA, S. H.; RAY, R. C. Lactic acid fermentation of sweet potato and cassava: a review. *Food Reviews International*, v. 23, p. 161–180, 2007.

PANDEY, A. Solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, v. 13, p. 81–84, 2003.

RAIMBAULT, M. General and microbiological aspects of solid substrate fermentation. *Electronic Journal of Biotechnology*, v. 1, n. 3, p. 174–188, 1998.

SEVERINO, A. J. Metodologia do trabalho científico. 24. ed. São Paulo: Cortez, 2017.

SOCCOL, C. R.; VANDENBERGHE, L. P. S.; PANDEY, A.; SOCCOL, V. T. & RODRIGUES-LEON, P. Protein enrichment of cassava by solid state fermentation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 45/46, p. 393–396, 1994.

STEINKRAUS, K. H. Handbook of indigenous fermented foods. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1997.

TEIXEIRA, A. Z. A.; SOUZA, R. L. Enriquecimento de farelo de arroz com aminoácidos essenciais por fermentação. *Revista Contemporânea*, v. 5, n. 1, p. 1–12, 2025.

TEIXEIRA, A. Z. A.; ALVES, A. E.; SILVA, B. I. R.; TELES, L. A. N.; SILVA, B. P. A mandioca como substrato para fermentação: potencial nutricional e características sensoriais. *Revista Contemporânea*, v. 5, n. 8, p. 1–16, 2025.

TIVANA, L., BVICHORA, J., MUTUKUMIRA, A., & OWEN, J. D. A Study of Heap Fermentation Process of Cassava Roots in Nampula Province, Mozambique. *Journal of Root Crops*, 33(2), 119–128, 2007