

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

CHRISTIAN RAFAEL CÂMARA DE SOUZA

**PROCESSOS FÍSICOS INDUSTRIAIS PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE COCÇÃO
DE ARROZ INTEGRAL**

**Itaqui
2022**

CHRISTIAN RAFAEL CÂMARA DE SOUZA

**PROCESSOS FÍSICOS INDUSTRIAIS PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE COCÇÃO
DE ARROZ INTEGRAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Especialização
em Tecnologia de Alimentos da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Especialista em Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr Leomar Hackbart Silva

**Itaqui
2022**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

S729p Souza, Christian Rafael Câmara
Processos físicos industriais para redução do tempo de cocção de arroz integral / Christian Rafael Câmara Souza.
38 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização)--
Universidade Federal do Pampa, ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIA DOS ALIMENTOS, 2022.
"Orientação: Leomar Hackbart Silva".

1. Tempo de cocção do arroz integral. I. Título.

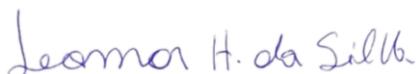
CHRISTIAN RAFAEL CÂMARA DE SOUZA

**PROCESSOS FÍSICOS INDUSTRIAIS PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE COCÇÃO
DE ARROZ INTEGRAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Especialista em Tecnologia de Alimentos.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 22 de março de 2022.

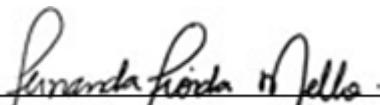
Banca examinadora:



Prof. Dr. Leomar Hackbart Silva
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr^a. Paula Fernanda Pinto da Costa
UNIPAMPA



Prof. Dr^a. Fernanda Fiorda Mello
UNIPAMPA

RESUMO

O arroz possui importância social, econômica e nutricional em diferentes países do mundo. Em sua forma integral o seu consumo confere mais benefícios à saúde. Todavia, suas características incluindo o seu tempo de cocção elevado, diminuem o seu apelo por grande parte dos consumidores. Vários métodos já foram estudados para solucionar este fator. Dentro deste contexto, realizou-se um estudo de revisão de literatura a respeito dos métodos que utilizam princípios físicos. Foram utilizados 69 estudos encontrados em diferentes bases de dados, a partir de termos descritores relacionados ao tema de estudo. Selecionou-se os estudos pela relevância e data de publicação. Compilou-se as características de processamento do arroz, suas principais formas consumidas, a superioridade nutricional do arroz integral, as causas dos seus desafios de produção e consumo e a contextualização do desenvolvimento de novos métodos de processamento. Os principais métodos de processamento físico para a redução do tempo de cocção do arroz integral encontrados foram descritos e analisados em relação às suas vias de investigação, princípios físicos e os resultados obtidos. Sendo estes métodos, os seguintes: polimento parcial; pré-hidratação, cocção e secagem; indução de fissuras; aquecimento por irradiação infravermelha; tratamento com alta pressão hidrostática; tratamento ultrassônico e tratamento com plasma frio de baixa pressão. Considerou-se o tratamento de pré-hidratação, cocção e secagem e o de indução de fissuras nos grãos de arroz integral como os mais promissores e concluiu-se que a linha de pesquisa revisada é abrangente e está em expansão.

Palavras-chaves: compostos nutricionais; farelo; cozimento; absorção de água.

ABSTRACT

Rice has social, economic, and nutritional importance in different countries of the world. In its integral form, your consumption confers more health benefits. However, its characteristics, including its high cooking time, diminish its appeal to most consumers. Several methods have already been studied to solve this factor. Within this context, a literature review study was carried out regarding the methods that use physical principles. Were used 69 studies found in different databases, from descriptors terms related to the study topic. Studies were selected by relevance and publication date. Rice processing characteristics were compiled, its main forms consumed, the nutritional superiority of brown rice, the causes of its consumption problems and the contextualization of the development of new processing methods. The main physical processing methods to reduce the cooking time of brown rice found were described and analyzed in relation to their investigation paths, physical principles and the results obtained. These methods being the following: partial polishing; pre-hydration, cooking and drying; fissure induction; heating by infrared radiation; high hydrostatic pressure treatment; ultrasonic treatment and low-pressure cold plasma treatment. The pre-hydration, cooking and drying treatment and of fissure induction was considered the most promising, and it was concluded that the line of research reviewed is comprehensive and expanding.

Keywords: nutritional compounds; rice bran; cooking; water absorption

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Composição nutricional de arroz integral, arroz branco polido e farelo de arroz..... | 15 |
| Tabela 2 - Principais métodos físicos de processamento de arroz integral..... | 21 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 2 METODOLOGIA..... | 12 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 13 |
| 3.1 Processamento e características físico-químicas do arroz integral..... | 13 |
| 3.2 Desafios de produção e consumo do arroz integral | 17 |
| 3.3 Tempo de cocção do arroz integral | 18 |
| 3.4 Métodos de redução do tempo de cocção do arroz integral | 19 |
| 3.5 Métodos de processamento físico para a redução do tempo de cocção do arroz integral..... | 20 |
| 3.5.1. Polimento parcial..... | 22 |
| 3.5.2 Pré-hidratação, gelatinização e secagem | 25 |
| 3.5.3 Indução de fissuras..... | 26 |
| 3.5.4 Aquecimento por irradiação infravermelha..... | 27 |
| 3.5.5 Tratamento com alta pressão hidrostática..... | 27 |
| 3.5.6 Tratamento ultrassônico..... | 28 |
| 3.5.7 Tratamento com plasma frio de baixa pressão | 28 |
| 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 30 |
| REFERÊNCIAS..... | 30 |

APRESENTAÇÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) está apresentado na forma de artigo científico, conforme as normas do Manual de Normalização de Trabalhos Acadêmicos da Unipampa, e será submetido para a publicação na revista científica Research, Society and Development.

PROCESSOS FÍSICOS INDUSTRIAIS PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE COCÇÃO DE ARROZ INTEGRAL

INDUSTRIAL PHYSICAL PROCESSES TO REDUCE BROWN RICE COOKING TIME

Christian Rafael Câmara de Souza*

Leomar Hackbart Silva**

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais de maior importância socioeconômica. Em âmbito mundial, sua produção atual ocupa o terceiro lugar no ranking de grãos mais produzidos e seu consumo é feito por cerca de metade da população global. Em muitos países, principalmente nos que estão em desenvolvimento, o arroz caracteriza-se como o principal alimento da dieta dos seus habitantes, sendo o consumo do mesmo a fonte de grande parte da energia alimentar e de importantes nutrientes, que conferem ao arroz um papel relevante na garantia da segurança alimentar nestes países (KENNEDY; BURLINGAME; NGUYEN, 2003; RATHNA *et al.*, 2019).

Além disso, a principal forma de consumo do arroz, comumente feita na forma de grão e muito pouco na forma de ingrediente de produtos processados, faz com que seu processo de industrialização seja quase mínimo e que sua aquisição e consumo atenda a populações de diferentes poderes aquisitivos (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008; SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO, 2018).

Para ser consumido, é fundamental que os grãos de arroz sejam submetidos a processos de beneficiamento, nos quais são obtidas as suas formas adequadas que os tornam aptos para o consumo humano. Estes processos envolvem a remoção da casca e das camadas do farelo e o polimento do grão (STORCK, 2004; ATUNGULU; PAN, 2014), dando origem a quatro subgrupos de arroz beneficiado: o arroz integral,

arroz polido, arroz parboilizado integral e arroz parboilizado polido (BRASIL, 2009; RUNGE *et al.*, 2019).

Dentre estes subgrupos de arroz beneficiado, o arroz integral destaca-se por apresentar compostos nutricionais em concentrações superiores, que lhe propiciam propriedades benéficas a saúde. Estes compostos são superiores no arroz integral pois este ao contrário do arroz branco polido, é apenas descascado mantendo a camada de farelo e o gérmen, os quais correspondem as frações do grão de arroz onde estão localizados os nutrientes de maior interesse nutricional. O gérmen e o farelo são ricos em fibras dietéticas, proteínas, vitamina E e do complexo B, minerais, ácidos graxos essenciais e compostos fenólicos (MONKS *et al.*, 2013; CHEN; BERGMAN; MCCLUNG, 2019; KHALUA; TEWARI; MONDAL, 2019; RATHNA *et al.*, 2019; SHRAIM *et al.*, 2022).

Estudos associam a presença destes componentes no arroz integral à capacidade de seu consumo regular atuar na redução do risco de diversas doenças como câncer, diabetes tipo 2, obesidade e doenças cardiovasculares (ZHANG *et al.*, 2010; LI; CHOU; SHIH, 2011; RATTANAMECHAISKUL; SOPONRONNARIT; PRACHAYAWARAKORNLI, 2014). Portanto, o consumo de arroz em sua forma integral caracteriza-se como uma alternativa de consumo mais saudável.

Apesar disso, a forma de consumo de arroz preferida pelos consumidores é na forma de arroz branco polido (RATHNA *et al.*, 2019). No Brasil por exemplo, o dado mais atual referente ao consumo de arroz integral, indica que este representa apenas 5,2% do total do arroz consumido no país (IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019).

Isto deve-se à algumas características desfavoráveis apresentadas pelo arroz integral, tais como seu longo tempo de cocção, sua textura mais firme e o odor de farelo (LI *et al.*, 2021). O tempo de cocção do arroz integral é demorado devido à presença de ceras e fibras na camada de farelo, as quais reduzem a hidratação do grão, influenciando diretamente na velocidade com que o amido gelatiniza (MOHORIC *et al.*, 2004; LI *et al.*, 2021).

Constituindo-se como um alimento de grande importância social, o desenvolvimento de métodos de melhoramento das características do arroz em sua forma mais nutritiva, a forma integral, constitui-se em uma tendência na área da Ciência e Tecnologia de Cereais que visa atender à necessidade dos consumidores

por alimentos nutritivos, de fácil preparo e com características sensoriais e de qualidade aceitáveis.

Estes métodos utilizam princípios físicos, químicos e biológicos para investigar possíveis soluções dos desafios de produção e consumo do arroz integral (KANG; HE; WANG, 2007; YU *et al.*, 2017; DANG; THERDTHAI; RATPHITAGSANTI, 2018; DANG; THERDTHAI; RATPHITAGSANTI, 2018; CACERES *et al.*, 2019; LUO *et al.*, 2019; YODPITAK *et al.*, 2019; YAN, *et al.*, 2020; SOUZA; SILVA; COSTA, 2020).

Dentro deste contexto, o objetivo do presente estudo foi elaborar uma revisão de literatura a respeito dos métodos de processamento baseados em processos físicos industriais utilizados para este fim, reunindo-se e explanando-se assim os principais avanços já obtidos nesta área de pesquisa emergente.

2 METODOLOGIA

A abordagem metodológica do presente estudo consistiu na realização de uma revisão de literatura realizada a partir da consulta de estudos científicos relacionados ao tema da pesquisa em questão, publicados no período de 2000 a 2022, nas seguintes bases de dados: Science Direct, Scielo, Pubmed, Google Acadêmico, Periódicos Capes e Scopus. Também foram consultadas revistas científicas, de livre acesso, relacionadas a área da Ciência e Tecnologia de Cereais, Ciências Agrárias, Ciências da Saúde e da área da Tecnologia de Alimentos em geral.

A busca pelos estudos científicos nas bases de dados foi realizada utilizando-se os seguintes termos descritores: “arroz integral”, “cozimento rápido”, “tempo de cocção”, “compostos nutricionais”, “farelo de arroz”, “consumo de arroz” e “propriedades físico-químicas de arroz integral”, traduzidos para a língua inglesa, para expandir a abrangência dos resultados da busca.

Por meio dos resultados encontrados com os termos descritores supracitados, analisou-se os estudos para verificar quais os principais métodos de processamento físico já foram estudados com o objetivo de abreviar o tempo de cocção do arroz integral e então utilizou-se o nome ou o princípio do método como termo descritor de pesquisa, para encontrar estudos semelhantes.

Realizou-se uma avaliação detalhada dos títulos e dos resumos dos artigos encontrados na busca e avaliou-se por completo os estudos de maior relevância para

a elaboração da revisão. Sendo além da relevância dos estudos, a data de publicação o mais atual possível, o principal critério para selecionar os artigos.

Foram utilizados 69 estudos no total, para realizar o embasamento, delimitação do objeto de pesquisa e apresentação das vias de investigação do tema do presente estudo de revisão de literatura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Processamento e características físico-químicas do arroz integral

Estruturalmente o arroz é considerado uma cariopse, composta por uma camada de revestimento (camada de aleurona e pericarpo) e a casca (JULIANO, 2016). A camada protetora mais externa, que corresponde em média a 20% do peso do grão de arroz, é composta pela casca, que é formada majoritariamente por celulose (35%), hemicelulose (25%) e lignina (20%), os quais são compostos que não são digeridos pelos seres humanos e que tornam necessária a remoção da casca durante o processamento, para a obtenção do grão em formas comestíveis (UGHEOKE; MAMAT, 2012; CARCEA, 2021).

A casca é removida na operação de descasque do grão de arroz e a cariopse descascada é denominada de arroz integral. A cariopse é formada pelo endosperma recoberto por várias camadas diferentes, sendo as mais externas o pericarpo, o tegumento e a camada de aleurona, as quais compõem o farelo, e na base do grão está situado o gérmen. Mais de 90% do grão de arroz integral é constituído pelo endosperma, 2 a 8% consistem na camada de farelo formada pelo pericarpo, tegumento, camada de aleurona e o gérmen, o qual por sua vez corresponde entre 1 a 2% do grão (SANTOS; STONE; VIEIRA, 2006; WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008; JULIANO, 2016; SAPWAROBOL; SAPHYAKHAJORN; ASTINA, 2021).

Após a remoção da casca, a camada de farelo é removida da cariopse através de um processo de abrasão e fricção geradas pela passagem do grão por entre um moinho de pedras abrasivas, promovendo o branqueamento do mesmo (RUNGE *et al.*, 2019; MULLER *et al.*, 2022). O branqueamento ocorre de forma proporcional a elevação da fração de remoção das camadas externas do grão, nas quais os pigmentos estão situados de forma predominante no arroz (ITANI *et al.*, 2002). Junto

com a camada de farelo, o gérmen também é removido da cariopse, sendo a operação de remoção destas frações do grão também denominada como processo de polimento (REDDY *et al.*, 2017). O grão de arroz desprovido do gérmen, pericarpo e grande parte da camada de aleurona é denominado de arroz polido (BRASIL, 2009).

De forma alternativa as etapas do beneficiamento do arroz que dão origem ao arroz integral e ao arroz branco polido, os grãos podem ser submetidos ao processo de parboilização, o qual consiste em um tratamento hidrotérmico onde ocorre a gelatinização e retrogradação dos grânulos de amido, provocando alterações em suas propriedades estruturais e a conversão de sua forma cristalina para a forma amorfa, tornando o endosperma do grão compacto e translúcido (SIVAKAMASUNDARI; MOSES; ANANDHARAMAKRISNAN, 2020; KUMAR *et al.*, 2022). Obtendo-se o arroz parboilizado.

Por se tratar de processos que provocam alterações nas estruturas do grão de arroz, os seus métodos de processamento pós-colheita exercem influência direta em suas características intrínsecas e extrínsecas. Juntamente com os fatores genótipo do grão, condições do ambiente de crescimento, manejo de cultura e armazenamento, os métodos de processamento afetam o conteúdo nutricional do arroz (MONKS *et al.*, 2013). Podendo-se destacar especialmente o processo de polimento, que consiste na remoção do farelo.

Na tabela 1 está apresentada a composição nutricional do arroz integral, do arroz branco polido e do farelo de arroz, cuja comparação permite visualizar com clareza o efeito do polimento sobre os componentes químicos do grão.

Tabela 1 - Composição nutricional de arroz integral, arroz branco polido e farelo de arroz

| Componentes químicos | Arroz integral | Arroz branco polido | Farelo de arroz |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|
| Umidade (g) | 14 | 14 | 14 |
| Conteúdo Energético (kJ) | 1480 - 1610 | 1460 - 1560 | 1670 - 1990 |
| Conteúdo Energético (kcal) | 355 - 385 | 349 - 373 | 399 - 476 |
| Proteína bruta (g) | 7,1 - 8,3 | 6,3 - 7,1 | 11,3 - 14,9 |
| Lipídios totais (g) | 1,6 - 2,8 | 0,3 - 0,6 | 15,0 - 19,7 |
| Fibra bruta (g) | 0,6 - 1 | 0,2 - 0,5 | 7 - 11,4 |
| Cinza bruta (g) | 1 - 1,5 | 0,3 - 0,8 | 6,6 - 9,9 |
| Carboidratos (g) | 73 - 87 | 77 - 89 | 34 - 62 |
| Fibra dietética total (g) | 2,9 - 4,4 | 0,7 - 2,7 | 24 - 29 |
| Fibra solúvel (g) | 2 | 0,5 | 15 - 27 |
| Açúcares (g) | 0,8 - 1,9 | 0,1 - 0,5 | 5,5 - 6,9 |
| Tiamina (mg) | 0,4 - 0,6 | 0,07 - 0,17 | 1,2 - 2,5 |
| Riboflavina (mg) | 0,04 - 0,14 | 0,02 - 0,06 | 0,18 - 0,43 |
| Niacina (mg) | 3,5 - 6,2 | 1,3 - 2,5 | 27 - 50 |
| Ácido pantotênico (mg) | 1,4 - 1,6 | 0,8 - 1,3 | 20 - 60 |
| Vitamina B6 (mg) | 0,5 - 0,7 | 0,1 - 0,4 | 3,7 |
| Folato (µg) | 16 - 20 | 4 - 9 | 40 - 140 |
| Vitamina E, α-tocoferol (mg) | 0,8 - 2,5 | 0,1 - 0,3 | 3 - 15 |
| Cálcio (mg) | 10 - 50 | 10 - 30 | 30 - 120 |
| Fósforo (mg) | 0,17 - 0,43 | 0,08 - 0,15 | 1,1 - 2,5 |
| Ácido fítico (mg) | 0,13 - 0,27 | 0,02 - 0,07 | 0,9 - 2,2 |
| Ferro (mg) | 1,4 - 5,2 | 0,03 - 0,08 | 8,6 - 43 |
| Zinco (mg) | 1,9 - 2,8 | 0,8 - 2,3 | 4,3 - 26 |

Fonte: Juliano, 2016.

Na Tabela 1, observa-se que o farelo corresponde a fração do grão de arroz aonde os compostos nutricionais estão em maior quantidade, principalmente proteínas, lipídios, fibras e minerais.

De acordo com Sapwarobol; Saphyakhajorn; Astina (2021) o farelo de arroz constituído principalmente pelo pericarpo, camada de aleurona, tegumento e o gérmen, é rico em compostos funcionais como fibra dietética, proteína de farelo de arroz e fitoquímicos como o gama-orizanol, além de ser também uma boa fonte de proteína, lipídios, fibras alimentares, vitaminas e minerais.

No estudo supracitado (SAPWAROBOL; SAPHYAKHAJORN; ASTINA, 2021) os autores explanaram através de uma revisão bibliográfica os efeitos benéficos do farelo de arroz sobre indicadores metabólicos relacionados ao conjunto de fatores de risco correspondentes a síndrome metabólica, a qual torna suscetível o aparecimento de doenças como acidente vascular cerebral (AVC), diabetes e doenças cardíacas em seres humanos. Através de seus resultados, estes concluíram que a suplementação com farelo de arroz atua sobre o controle glicêmico, tem efeitos hipocolesterolêmicos, hipotensores e anti-inflamatórios, promove o bom funcionamento do sistema intestinal. E que além disso, embora sejam necessários estudos mais aprofundados, o farelo de arroz tem potencial de ser utilizado no controle da síndrome metabólica em seres humanos.

Na Tabela 1 também está evidenciada a diferença entre a porcentagem dos compostos nutricionais do arroz integral e do arroz branco polido.

Como o arroz integral é apenas descascado, o mesmo ainda mantém grande parte da camada de farelo que é rica em nutrientes e compostos bioativos como ácidos fenólicos, flavonóides, ácido aminobutírico, α -tocoferol e γ -tocotrienol (GONG et al., 2017). Ao contrário do arroz branco polido, o qual na operação de polimento são removidas a camada de farelo e o gérmen do endosperma do grão (ZHANG et al., 2010; FONTANELLA et al., 2021).

Segundo Kaur, Bhise e Kaur (2020) em algumas situações durante o processo de polimento são removidas cerca 15% de proteína, 85% de lipídios, 90% de cálcio, 75% de fósforo, 80% de tiamina, 70% de riboflavina, 90% de piridoxina, 60% de ferro e 68% de niacina do grão de arroz integral. Portanto o arroz branco polido perde boa parte de seus nutrientes.

Desta forma, o arroz integral apresenta superioridade no valor nutricional em comparação ao arroz branco polido (Tabela 1). O que faz com que o seu consumo seja altamente recomendado para se manter uma dieta alimentar saudável (LEE *et al.*, 2019).

Um dos motivos em destaque, para o consumo de arroz integral ser mais recomendado, são os seus efeitos antidiabéticos. Estes efeitos são atribuídos aos seus carboidratos de baixa resposta glicêmica, comumente descritos como característicos de grãos integrais (ZHANG; HAMAKER, 2017).

No arroz integral a baixa resposta glicêmica é decorrente da sua baixa taxa de digestão do amido, a qual torna a liberação de glicose no sangue mais lenta, conferindo ao arroz integral um índice glicêmico baixo, correspondente a 55, enquanto do arroz polido é de 64 (FOSTER-POWELL; HOLT; BRAND-MILLER, 2002; RATTANAMECHASKUL; SOPONRONNARIT; PRACHAYAWARAKORN, 2014).

3.2 Desafios de produção e consumo de arroz integral

Apesar de ser reconhecido por suas propriedades funcionais, o arroz integral apresenta características como a textura mais dura, tempo de cocção prolongado, aparência escura e maior mastigabilidade após o cozimento, o que faz com que o mesmo tenha menor popularidade entre os consumidores, tornando seu consumo inferior ao do arroz branco polido (DAS; BANERJEE; BAL, 2008a; MONGE-ROJAS *et al.*, 2014; SHRAIM *et al.*, 2022).

Conforme Carcea (2021) a menor preferência de consumo do arroz integral é decorrente de suas características sensoriais relacionadas à aparência, sabor e palatabilidade, como também a fatores inerentes a conveniência de cocção, tradição de consumo, segurança, vida de prateleira e carência de conhecimento sobre seus efeitos benéficos a saúde.

A presença da camada de farelo e gérmen no arroz integral, apesar de conferir um maior valor nutricional ao grão, é o elemento de origem dos atributos e fatores que desfavorecem seu consumo e aceitabilidade. A presença da camada de fibras e ceras na camada de farelo, conferem rigidez e diminuem a absorção de água do grão de arroz integral (DAS *et al.*, 2008b; MONJE-ROJAS *et al.*, 2014; WU *et al.*, 2016), tornam o seu tempo de cocção mais longo (YAN *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2021), pode haver

acúmulo de componentes tóxicos junto com os elementos essenciais na camada de farelo (YAO; CHEN; SUN, 2020), há a presença do antinutriente como o ácido fítico em nível elevado na mesma (JOY *et al.*, 2017) e a vida útil é reduzida devido a suscetibilidade de oxidação lipídica via degradação dos lipídios por atividade enzimática (DING *et al.*, 2018).

Desta forma, os atributos e causas citados como fatores limitantes para a aceitabilidade e crescimento de consumo do arroz integral, devem ser considerados e avaliados durante o desenvolvimento e testes de novos métodos de processamento desse tipo de arroz.

Xia *et al.* (2019) descrevem que estes fatores requerem a necessidade de aplicação de novos métodos de processamento que favoreçam o equilíbrio entre as características sensoriais e os componentes nutricionais do arroz integral, considerando-se de forma conjunta a busca pela solução de obstáculos de seu armazenamento e melhoramento de atributos de textura, com mínimas perdas de compostos bioativos durante o processamento.

3.3 Tempo de cocção do arroz integral

Como citado anteriormente, o tempo de cocção do arroz integral é mais longo em relação ao arroz branco polido, em virtude da presença das ceras e fibras na camada de farelo que impermeabilizam a cariopse diminuindo a absorção de água, o qual é um fator essencial para a gelatinização do amido durante o processo de cozimento (MOHRIC *et al.*, 2004; LI *et al.*, 2021; LANG *et al.*, 2022). De acordo com Batista, Santos e Vanier (2018) o tempo de cocção do arroz integral varia entre 30 a 45 minutos, enquanto o do arroz branco polido é de aproximadamente a metade deste tempo, entre 15 a 20 minutos.

Essa diferença no tempo de cocção, caracteriza este atributo do arroz integral como sendo um dos responsáveis pelo seu baixo consumo, tornando-o um constante alvo de estudos envolvendo alternativas que visam sua redução.

Na presente revisão de literatura foram encontrados estudos nos quais testaram e analisaram diferentes métodos de processamento sobre o arroz integral, com o intuito de melhorar suas características e favorecer o aumento benéfico do seu consumo. Sendo o enfoque da pesquisa, especificamente a análise dos resultados

dos estudos nos quais foram avaliadas as influências destes métodos sobre o tempo de cocção.

Atualmente esta linha de pesquisa visa encontrar formas de tornar o arroz integral, cujos benefícios a saúde estão sendo estudados e reconhecidos, em um produto que além de nutritivo também possua boas características qualitativas e um preparo fácil e rápido. Tais características, se alcançadas através dos novos métodos de processamento do arroz integral, podem tornar-se vias de inserção da indústria de arroz no mercado de atendimento a grande demanda dos consumidores contemporâneos por alimentos saudáveis e de fácil conveniência (ABHILASHA *et al.*, 2021).

3.4 Métodos de redução do tempo de cocção do arroz integral

Através dos resultados obtidos na busca por estudos de novos métodos de processamento de arroz integral, observou-se que embora esta linha de pesquisa seja emergente, há escassez de estudos de revisão bibliográfica que resumam as alternativas estudadas e os avanços científicos já alcançados. Sendo encontrado somente um estudo desta natureza, nas bases de dados utilizadas.

No estudo encontrado, Xia *et al.* (2019), analisaram e compararam os efeitos de técnicas de processamento e pré-tratamento de arroz integral consideradas inovadoras, sobre as características físico-químicas relacionadas a qualidade e aspectos funcionais do mesmo, com o objetivo de estabelecer uma relação qualitativa e/ou quantitativa entre estas mudanças e os métodos de processamento de alta eficiência.

Embora o estudo citado seja abrangente e recente, como evidenciado no mesmo, as variáveis de pesquisa e métodos de processamento de arroz integral ainda podem e necessitam ser melhor estudados e elucidados. Condizente a isto, a pesquisa por alternativas de possíveis soluções dos desafios relacionados ao consumo de arroz na forma integral, em relação ao seu tempo de cocção prolongado, vêm sendo estudada por pesquisadores.

Desde a publicação do estudo de Xia *et al.* (2019), novas pesquisas envolvendo métodos físico de processamento e pré-tratamento com o objetivo de reduzir o tempo de cocção de arroz integral, alcançaram resultados significantes.

Diversos estudos detêm-se na investigação a respeito de métodos para melhorar as características do arroz integral. Estes métodos utilizam princípios físicos como a utilização de diferentes maneiras de remoção da camada de farelo (YAN, *et al.*, 2020), indução de fissuras (SOUZA; SILVA; COSTA, 2020), irradiação (LUO *et al.*, 2019), tratamento ultrassônico (DANG; THERDTHAI; RATPHITAGSANTI, 2018) e tratamento com plasma (YODPITAK *et al.*, 2019); princípios biológicos envolvendo germinação e enzimas exógenas (DANG; THERDTHAI; RATPHITAGSANTI, 2018; CACERES *et al.*, 2019); e outros princípios como por exemplo a imersão dos grãos em água antes do cozimento (YU *et al.*, 2017) e o pré-cozimento total ou parcial dos grãos, seguida da secagem dos mesmos (KANG; HE; WANG, 2007).

3.5 Métodos de processamento físico para a redução do tempo de cocção do arroz integral

Na Tabela 2, estão apresentados os principais métodos de processamento para reduzir o tempo de cocção do arroz integral, envolvendo princípios físicos. Estando apresentados também na tabela os seus princípios e processos constituintes, por meio dos quais provocam mudanças nas características deste tipo de arroz.

Tabela 2. Principais métodos físicos de processamento de arroz integral

| Método | Princípios físicos |
|--|---|
| Polimento parcial | Remoção de diferentes frações da camada de farelo através de processos de abrasão e fricção. |
| Pré-hidratação, gelatinização e secagem | Hidratação dos grânulos de amido; gelatinização dos mesmos; lavagem dos grãos em água fria para promover a retrogradação; desidratação através de secagem. |
| Indução de fissuras | Condicionamento do arroz com diferentes teores de umidade; secagem secundária. |
| Aquecimento por irradiação infravermelha | Redução da umidade ou evaporação da umidade por processo acelerado de difusão; tensão de tração na superfície e compressão no interior do grão; formação de fissuras. |
| Tratamento com alta pressão hidrostática | Aplicação de alta pressão de forma instantânea e uniformemente distribuída nos grãos. |
| Tratamento ultrassônico | Aplicação de diferentes frequências de ondas ultrassônicas, sob diferentes condições de temperatura e tempo; modificações físico químicas causadas por bolhas de cavitação em meios líquidos. |
| Tratamento com plasma frio de baixa pressão | Exposição do arroz a diferentes potências e períodos de tempo a espécies reativas geradas pelo tratamento com plasma; corrosão superficial das camadas externas do farelo. |

Fonte: o autor.

Os principais resultados encontrados em estudos referentes aos métodos apresentados na Tabela 2 estão descritos nas subseções a seguir:

3.5.1 Polimento parcial dos grãos de arroz

Constituindo-se como uma etapa essencial no processo de beneficiamento que torna o arroz comestível e que é realizado pelas indústrias com objetivos de melhoria das características físicas, sensoriais e conservantes do arroz (MONKS *et al.*, 2013; PAIVA *et al.*, 2016), o polimento é uma operação analisada e investigada em relação a sua influência sobre as características do arroz integral. Visto que este processo remove a camada de farelo e o gérmen, onde situam-se os componentes responsáveis pelas características sensoriais e culinárias desfavoráveis ao consumo de arroz integral (LI *et al.*, 2021; LANG *et al.*, 2022).

Em relação a uma das características culinárias que desfavorece o consumo de arroz integral, o seu longo tempo de cocção, cuja as alternativas de redução são estudadas no presente trabalho. São encontrados na literatura estudos de investigação sobre a relação da extensão da remoção da camada de farelo sobre as suas causas de origem (ROSNİYANA; RUKUNUDIN; SHARIFFAH, 2006; MOHAPATRA; BAHL, 2006; MONKS *et al.*, 2013; SANDHU *et al.*, 2018; SOUZA; SILVA, 2019)

A extensão da remoção da camada de farelo é referida como grau de polimento, o qual é o termo utilizado para denominar o conjunto de operações de remoção da camada de farelo da cariopse do arroz (ATUNGULU; PAN, 2014; PAIVA *et al.*, 2016), sendo o polimento um dos processos responsáveis constituintes.

De acordo com Monks *et al.* (2013) as indústrias brasileiras utilizam uma faixa entre 8 a 14% de remoção da camada do farelo no processo de polimento do arroz, para atender a preferência dos consumidores por produtos mais brancos. Neste referido trabalho (MONKS *et al.*, 2013) foram avaliados os efeitos de quatro percentuais de polimento (8, 10, 12 e 14%) sobre a composição centesimal, ácido fólico, ácidos graxos e propriedades tecnológicas, incluindo tempo de cocção, de uma variedade de arroz com alto teor de amilose.

Seus resultados referentes ao tempo de cocção, demonstraram que o mesmo foi menor para o arroz polido (19 minutos) em comparação ao arroz integral (28 minutos), porém não houve diferença significativa nos tempos de cocção apresentados pelas amostras polidas em diferentes frações, podendo-se observar que as principais faixas de grau de polimento utilizadas pelas indústrias brasileiras não

exerceram influência sobre este parâmetro. Entretanto, verificou-se que houve diminuição significativa nos teores de cinzas e lipídios nas amostras polidas, como também houve diminuição no teor de fibras, proteínas, diminuição de ácido fólico e do teor de ácidos graxos proporcional ao aumento do grau de polimento, redução do conteúdo de lipídios e houve aumento no teor de amilose devido ao aumento do conteúdo de amido no grão, em razão da diminuição do conteúdo de proteínas, lipídios, cinzas e fibras mediada pelo aumento do grau de polimento.

O incremento na concentração de amilose causado pelo aumento do grau de polimento, é sugerido pelos mesmos autores (MONKS *et al.*, 2013) como sendo causador da redução da adesividade do amido do grão, que conseqüentemente diminui a hidratação e absorção de água da amilose em relação ao outro polímero amiláceo, a amilopectina.

A diminuição nos teores de proteínas, lipídios, cinzas e incremento no teor de amilose observado por Monks *et al.* (2013) corroboraram com os resultados encontrados por Sandhu *et al.* (2018) em amostras de duas variedades de arroz de variedade do grupo Índica, de grão curto e longo, polidos em percentuais de polimento entre 0 e 8%. Seus resultados demonstraram que o grau de polimento de até 8% provocou redução de até 89,13% dos minerais, 87,95 dos lipídios e 5,8% das proteínas, o que proporcionou o aumento do teor de amilose e influenciou nas propriedades de pasta e de cozimento de ambas as variedades testadas.

Os tempos de cocção encontrados por Sandhu *et al.* (2018) variaram entre as duas variedades analisadas, mesmo para as amostras padrão. Nas amostras da variedade de grão curto, a diminuição mais acentuada do tempo de cocção se deu somente a partir do grau de polimento máximo testado (8%), enquanto na variedade de grão longo essa redução se deu a partir do grau de polimento de 6%. Sendo atribuída essa diferença a forma arredondada com menor área de superfície apresentada pela variedade de grãos curtos, condizente com a explicação relatada por Mohapatra e Bahl (2006), de que uma menor superfície de contato ocasiona uma difusão de água mais lenta nos grãos.

Em amostras de arroz integral longo fino, polidos com graus de polimento de 1, 2, 4, 6, 8 e 10%, Souza e Silva (2019) observaram uma correlação linear positiva em relação aos efeitos do grau de polimento com o tempo mínimo de cocção. Seus resultados de tempo mínimo de cocção das amostras polidas em percentuais de

polimento mínimos (de 1 a 4%) apresentaram capacidade de redução do tempo de cocção do arroz integral entre 18,35 a 31,65%, de forma crescente ao aumento do grau de polimento, em relação ao tempo de cocção da amostra controle. Já as amostras polidas com graus de polimento entre 6 a 10% apresentaram capacidade de redução do tempo mínimo de cocção entre 36,05 a 40,97%, não havendo diferença estatística entre as mesmas.

Foi observada correlação entre o aumento da fração de remoção da camada de farelo causada pela elevação do grau de polimento com a redução do tempo mínimo de cocção do arroz, nos resultados de Mohapatra e Bahl (2006), onde avaliou-se amostras de três variedades de arroz distintas, sendo estas de grãos longo e fino com alto teor de amilose, grão médio com teor intermediário de amilose e grão curto e grosso com baixo teor de amilose, polidas em graus de polimento entre 2 e 18%. Para as três variedades de arroz estudadas, a redução do tempo mínimo de cocção foi proporcional ao aumento do grau de polimento, devendo-se isto a ampliação da extensão da remoção da camada de farelo, o que elevou a capacidade de absorção de água do arroz, que é essencial para haver a gelatinização do amido durante o cozimento.

A não variação ou o decréscimo do tempo de cocção das amostras de arroz polidas a graus de polimento mais altos, como encontrado por outros autores (MONKS et al., 2013; SANDHU *et al.*, 2018; SOUZA; SILVA, 2019), também foi constatada por Mohapatra e Bahl (2006) e segundo os mesmos isto não ocorre pois em faixas de polimento maiores o conteúdo de materiais celulósicos que dificultam a absorção de água, já foi em grande parte removido do grão.

Estes resultados permitem evidenciar que há correlação e interação entre uma série de variáveis e fatores inerentes a presença da camada de farelo em torno do arroz integral. Sua remoção fracionada realizada através do método de processamento de polimento parcial (tabela 2), embora seja eficaz na redução do tempo de cocção, interfere no conteúdo dos seus componentes nutricionais, os quais são os responsáveis pelas características de funcionalidade do arroz integral e que se estiverem disponíveis em sua totalidade no grão, seriam muito mais benéficos para saúde dos consumidores de arroz.

Além do mais, o conteúdo de componentes químicos alterado pela remoção fracionada da camada de farelo, tem interferência sobre os demais parâmetros físico-

químicos do arroz, como a dureza, adesividade, coesividade, taxa de expansão de comprimento e taxa de expansão de volume (MOHAPATRA; BAHL, 2006).

Como o método de processamento de polimento parcial do arroz integral causa diminuição dos seus compostos nutritivos em razão da remoção da camada de farelo, este pode ser considerado desvantajoso em comparação a outros métodos de processamento físico usados para diminuir o tempo de cocção do arroz integral, nos quais a camada de farelo não é removida.

3.5.2 Pré-hidratação, gelatinização e secagem

São utilizados métodos de processamento envolvendo a pré-hidratação, gelatinização e secagem de arroz (LANG *et al.*, 2022), para produzir arroz instantâneo também chamado de arroz de cocção rápida, incluindo arroz integral (SIRISOONTARALAK *et al.*, 2015; BATISTA *et al.*, 2019)

Neste tipo de processamento, o arroz integral é submetido a hidratação para hidratar e entumecer os grânulos amiláceos, passa pela etapa de cocção a uma temperatura que pode ser superior a temperatura necessária para gelatinizar o amido hidratado, é feita uma etapa de pré-tratamento de lavagem ou de retrogradação para desaglomerar os grumos de arroz e conferir uma menor digestibilidade ao amido do arroz integral. Posteriormente o arroz é seco sob condições variáveis de temperatura e tempo, até atingir a umidade final entre 8 e 12% (BATISTA; SANTOS; VANIER, 2018; BATISTA *et al.*, 2019).

Essas condições de processamento tornam a estrutura do grão mais porosa, havendo também a formação de pequenas fissuras, facilitando a entrada de água durante a cocção, conseqüentemente acelerando esse processo (BATISTA *et al.*, 2019).

Em um estudo onde foi utilizado este tipo de método de processamento para desenvolver arroz integral de cocção rápida, com duas variedades brasileiras de arroz, com características distintas, sendo uma variedade híbrida e outra não híbrida, Batista *et al.* (2019) estudaram os efeitos de três temperaturas de cocção diferentes (72, 80 e 88° C) sobre a qualidade do arroz integral de cocção rápida produzido com este método. Os tratamentos utilizando a temperatura mais alta de 88° C, apresentou redução no tempo de cocção de 23 e 23,6 para 6,9 e 5,5 minutos, na variedade não

híbrida e híbrida, respectivamente. Também havendo redução na digestibilidade do amido de 15 a 22% em comparação a amostra controle.

Todavia, os resultados da avaliação sensorial indicaram que todos os parâmetros sensoriais avaliados foram negativos e inferiores em relação a amostra controle. O que segundo os autores indica que os consumidores brasileiros não conseguem detectar diferenças no arroz de rápida cocção, por estes não estarem habituados ao consumo deste tipo de arroz no país.

Segundo Colina e Guerra (2009) estudaram os efeitos de um método de processamento do arroz integral semelhante ao de Batista *et al.* (2019), no qual foi seguido basicamente as mesmas etapas de preparação de arroz integral de cocção rápida descritas anteriormente, variando-se e combinando-se os fatores temperatura e tempo de cocção entre 85 e 96 °C e 25 e 30 minutos, respectivamente. Sendo obtido uma redução de 45% do tempo de cocção na amostra do tratamento de combinação de temperatura e tempo mais efetiva, correspondente a 96 °C e 30 minutos de cocção. Além disso, este tratamento causou somente diminuição dos minerais fósforo, potássio e magnésio, não ocorrendo decréscimo nos demais componentes nutricionais do arroz integral.

3.5.3 Indução de fissuras nos grãos de arroz integral

O aumento da capacidade de absorção de água do arroz integral foi estudado por Souza, Silva e Costa (2020), através da aplicação de um método de processamento onde testou-se os efeitos combinados da hidratação com diferentes teores de umidade seguida da secagem dos grãos em diferentes temperaturas, realizadas com o intuito de induzir a formação de fissuras no grão para promover uma maior entrada de água durante o cozimento.

A maior redução no tempo de cocção do arroz integral encontrada sob as condições estudadas foi de 30%, correspondente a 20 para 14 minutos. Evidenciando que o arroz integral hidratado com no mínimo 24% de umidade e seco numa faixa de temperatura entre 32 e 38 °C promoveu a indução de um índice de fissuras de 97%, sem interferir significativamente em parâmetros de qualidade do arroz como o rendimento de grãos inteiros e índice de acidez.

3.5.4 Aquecimento por irradiação infravermelha

Em um estudo realizado por Lang *et al.* (2022) também foi utilizado o princípio de indução de fissuras para reduzir o tempo de cocção do arroz, para produzir arroz integral de cocção rápida. Entretanto, o método de processamento empregado foi o aquecimento por irradiação infravermelha, o qual é uma fonte de aquecimento alternativa que demonstrou possuir uma demanda menor de consumo de energia (BUALUANG; TIRAWANICHAKUL; TIRAWANICHAKUL, 2012).

Os grãos de arroz integral utilizados neste estudo foram submetidos a aquecimento com radiação infravermelha sob temperaturas de 100, 125 e 150 °C por períodos de 2, 6 e 10 minutos. O objetivo de induzir a formação de fissuras no grão através deste método foi eficaz de forma proporcional ao aumento da temperatura e tempo de exposição, correlacionando-se a relação do maior índice de fissuras com a diminuição do tempo de cocção do arroz integral, o qual foi de 21,75 para 16,76 minutos. De acordo com Lang *et al.* (2018), um maior índice de fissuras proporciona uma maior absorção de água no grão.

Contudo, o aumento da temperatura e do tempo de exposição à radiação infravermelha, acentuou a aparência de giz e amarelecimento dos grãos crus e aumentou sua dureza após a cocção (LANG *et al.*, 2018)

3.5.5 Tratamento com alta pressão hidrostática

A aplicação de alta pressão hidrostática como método de processamento para reduzir o tempo de cocção do arroz integral também é uma das alternativas de solução estudadas. O emprego dessa técnica pelas indústrias de alimentos se dá com a utilização da água como meio para transferir pressão por toda a matriz do alimento, com o objetivo de produzir alimentos com boas características sensoriais, seguros microbiologicamente e com seus compostos nutricionais intactos. Pressões elevadas inativam microrganismos e enzimas, mas impactam de forma mínima os compostos de baixo peso molecular como vitaminas, antioxidantes e compostos aromáticos (XIA *et al.*, 2019).

Yu *et al.* (2017) relataram em seu estudo que a pré imersão em água do arroz integral seguida da aplicação de alta pressão, reduziu o tempo de cocção de 34 para

14 minutos, como também a dureza apresentada pelo arroz integral após a aplicação do método de processamento com alta pressão hidrostática, foi menor do que a do arroz polido.

3.5.6 Tratamento ultrassônico

Outro método de processamento físico utilizado para reduzir o tempo de cocção do arroz integral é o tratamento ultrassônico, que consiste na aplicação de ondas ultrassônicas sobre determinadas frequências. Dependendo de quais forem as potências destas frequências, do tempo de aplicação, da temperatura e as diferenças varietais do arroz, o tratamento ultrassônico pode alterar as propriedades físicas do amido (PARK; HAN, 2016). Os efeitos físico-químicos das ondas ultrassônicas são decorrentes de fenômenos de compressão e expansão alternada que ocorrem em meios líquidos através de bolhas de cavitação (ZINOVIADOU *et al.*, 2015).

Cui *et al.* (2012) avaliaram os efeitos do tratamento ultrassônico em diferentes temperaturas no tempo e na qualidade de cocção do arroz integral, relatando que as amostras ultrassonificadas a uma temperatura de 55°C por 30 min apresentaram tempo de cocção correspondente a 33 minutos, comparado a amostra controle que apresentou 39,6 minutos. Park e Han (2016), estudaram os efeitos do tratamento ultrassônico em condições brandas e severas, adicionado de um processo de imersão do arroz integral em água, por períodos de tempo entre 2 e 8 horas e relataram que houve promoção na capacidade de absorção de água dos grãos, redução no tempo de cocção e reduziu a dureza até a mesma faixa apresentada pelo arroz polido. Todavia seus resultados demonstraram que o período longo de imersão provocou a lixiviação de vitaminas solúveis em água.

3.5.7 Tratamento com plasma frio de baixa pressão

Uma tecnologia que tem recebido destaque no setor de industrialização de alimentos é o uso da aplicação de plasma frio, o qual consiste em um gás ionizado constituído por espécies químicas reativas que possuem capacidade de exercer modificações químicas nos componentes dos alimentos, inativar enzimas e microrganismos deteriorantes (MISRA *et al.*, 2016; THIRUMDAS *et al.*, 2016).

Propriedades estas, que já foram avaliadas em relação aos efeitos sobre o arroz integral.

Em um estudo de avaliação sobre o efeito do plasma frio de baixa pressão sobre as propriedades de cozimento e textura do arroz integral utilizando dois diferentes níveis de potência (40 e 50 W) e tempos de tratamento distintos (5 e 10 min), Thirumdas *et al.* (2016) obtiveram resultados significantes no fator redução do tempo de cocção, de 29,1 minutos na amostra controle para 21,1 minutos, sem alteração significativa na composição centesimal. A redução foi proporcional em relação ao aumento da potência do plasma e do tempo de tratamento, condizente ao aumento na absorção de água de 2,2 para 2,36 g/g que favoreceu o aumento do grau de gelatinização das amostras cozidas, reduziu a dureza de 40,47 N para 30,09 N e a mastigabilidade, e foi explicada pelos autores como sendo oriunda da corrosão superficial das camadas externas de farelo. Este efeito foi causado pelas espécies reativas geradas pela exposição ao plasma frio, as quais abrem a camada de farelo rica em fibras e permitem maior entrada de água.

A maior capacidade de absorção de água no arroz integral após o tratamento com plasma, também foi investigada e analisada no mesmo estudo (THIRUMDAS *et al.*, 2016) em relação a hidroflicidade dos grãos após o tratamento, através da avaliação de medidas do ângulo de contato da água com o grão, ou seja, o ângulo formado pela superfície do líquido ao ter contato com um sólido. Com o aumento da potência do plasma e do tempo de tratamento, os ângulos de contato das amostras diminuíram devido a elevação da natureza hidrofílica do substrato, as superfícies externas do grão, após o tratamento com plasma (THIRUMDAS *et al.*, 2015). Estas características após o tratamento corroboram com o aumento da absorção de água e a redução no tempo de cocção observados.

Entretanto, como há a presença de espécies reativas de oxigênio no gás componente do plasma, a oxidação lipídica pode ser induzida por meio deste tratamento, interferindo na qualidade, aceitabilidade e também na vida útil do arroz integral (GAVAHIAN *et al.*, 2018). Devendo este ser um fator a ser considerado na aplicação deste método.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constatou-se na presente pesquisa de revisão bibliográfica que a busca por soluções dos desafios de consumo de arroz integral, relacionada a necessidade de redução do seu tempo de cocção, envolve diferentes vias de investigação. As mesmas devem ser formuladas e conduzidas através de métodos de processamento, como os que envolvem os princípios físicos descritos, de forma que todos outros fatores relacionados ao baixo consumo de arroz integral, possam ser analisados e correlacionados com as condições e os resultados encontrados.

Pois ficou evidenciado pela análise geral dos estudos revisados que embora muitos dos métodos já estudados tenham tido efeito bastante positivo sobre a redução do tempo de cocção do arroz integral, estes interferiram em características importantes e essenciais do arroz como produto em si. Vários destes métodos inclusive, causaram decréscimo no valor nutricional do arroz integral, o qual corresponde a sua propriedade cuja importância reflete a demanda de pesquisa por melhorias que proporcionem um maior consumo benéfico do mesmo.

Dentre os métodos revisados, o tratamento de pré-hidratação, gelatinização e secagem e o de indução de fissuras nos grãos de arroz integral foram os que apresentaram caráter mais promissores de ser explorado e utilizado, visto que influenciaram de forma bastante significativa na redução do tempo de cocção do arroz integral.

Conclui-se que a linha de pesquisa por métodos de processamento físico para reduzir o tempo de cocção de arroz integral é emergente e está em constante expansão.

REFERÊNCIAS

ABHILASHA. Standardisation of cooking and conditioning methods for preparation of quick cooking germinated brown rice. **Journal of the Indian Chemical Society**, v. 98, n. 8, 2021.

ATUNGULU, G. G.; PAN, Z. Rice industrial processing worldwide and impact on macro- and micronutrient content, stability, and retention. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 134, 1 ed., p. 15-28, 2014.

BATISTA, C. S.; SANTOS, J. P.; VANIER, N. L. Desenvolvimento de arroz de cozimento rápido: Do processamento à qualidade do produto final. **Labgrãos Magazine**, v. 2, n. 2, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 6, de 16 de fevereiro de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 fev. 2009, Seção 1, p. 3.

BUALUANG, O.; TIRAWANICHAKUL, Y.; TIRAWANICHAKUL, S. Comparative Study between Hot Air and Infrared Drying of Parboiled Rice: Kinetics and Qualities Aspects. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 37, p. 1119-1132, 2012.

CÁCERES, P. J. Development of a multifunctional yogurt-like product from germinated brown rice. **LWT – Food Science and Technology**, v. 99, p. 306-312, 2019.

CARCEA, M. Value of Wholegrain Rice in a Healthy Human Nutrition. **Agriculture**, v. 11, 2021.

CHEN, M.; BERGMAN, C. J.; MCCLUNG, A. M. Hydrolytic rancidity and its association with phenolics in rice bran. **Food Chemistry**, v. 285, p. 485-491, 2019.

COLINA, J.; GUERRA, M. Obtención y evaluación de arroz integral de cocción rápida. **Interciencia**, v. 34, n. 10, 2009.

CUI *et al.* Effect of ultrasonic treatment of brown rice at different temperatures on cooking properties and quality. **Cereal Chemistry**, v. 87, p. 403-408, 2010.

DANG, L. T. K.; THERDTHAI, N.; RATPHITAGSANTI, W. Improvement of structure and cooking quality of brown rice using ultrasonic and enzymatic treatments. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, 11 ed., 2018.

DAS, M.; BANERJEE, R.; BAL, S. Evaluation of physicochemical properties of enzyme treated brown rice (Part B). **LWT-Food Science and Technology**, n. 41, p. 2092-2096, 2008a.

DAS, M *et al.* Enzymatic polishing of rice - A new processing technology. **LWT Food Science and Technology**, n. 41, ed. 10, p. 2079-2084, 2008b.

DING *et al.* Influence of infrared drying on storage characteristics of brown rice. **Food Chem**, v. 264, p. 149-156, 2018.

FONTANELLA, M. C. *et al.* Effect of Milling and Parboiling Processes on Arsenic Species Distribution in Rice Grains. **Rice Science**, v. 28, n. 04, p. 402-408, 2021.

FOSTER-POWELL, K.; HOLT, S. H.; BRAND-MILLER, J. C. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 76, p. 5-56, 2002.

GAVAHIAN, M. *et al.* A critical analysis of the cold plasma induced lipid oxidation in foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 77, p. 32-41, 2018.

GONG, S. *et al.* Phytochemical profiles and antioxidant activity of processed brown rice products. **Food Chemistry**, v. 232, p. 67-78, 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agro 2017. Censo agropecuário: resultados definitivos 2017. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2019.

ITANI, T. *et al.* Distribution of amylose, nitrogen, and minerals in rice kernels with various characters. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 5326-5332, 2002.

JOY, E. J. M. Elemental composition of Malawian rice. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 39, n.4, p. 835-845, 2017.

JULIANO, B. O. Rice: Overview. In: WRIGLEY, C., CORKE, H., SEETHARAMAN, K., FAUBION, J., (eds.). **Encyclopedia of Food Grains**, Oxford: Academic Press, v. 1, p. 125-129, 2016.

KANG, D. F.; HE, J. F.; WANG, X. C. The actuality and prospect of instant rice production in China. **Cereal Process**, v. 32, p. 40-42, 2007.

KAUR, A.; BHISE, S.; KAUR, M. Hydrothermal treatments for paddy to improve physicochemical quality of brown rice. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v. 9, n. 5, p. 913-926, 2020.

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B.; NGUYEN, V. N. Nutritional contribution of rice and impact of biotechnology and biodiversity in rice-consuming countries. In: International Rice Commission, 20, 2003, Bangkok. **Proceedings of the 20th session of the International Rice Commission**. Bangkok: Rome, FAO, 2003. Disponível em: <http://www.fao.org/3/y4751e00.htm>. Acesso em: 08 dez. 2020.

KHALUA, R. K.; TEWARI, S.; MONDAL, R. Nutritional comparison between brown rice and white rice. **Magnesium**, v. 5, 2019.

KUMAR, A. *et al.* Effect of parboiling on starch digestibility and mineral bioavailability in rice (*Oryza sativa* L.). **LWT**, v. 156, 2022.

LANG, G. H. *et al.* Infrared radiation heating: A novel technique for developing quick-cooking rice. **LWT**, v. 154, 2022.

LANG, G. H. *et al.* Influence of drying temperature on the structural and cooking quality properties of black rice. **Cereal Chemistry**, v. 95, p. 564-574, 2018.

LEE, J. *et al.* Brown Rice, a Diet Rich in Health Promoting Properties. **Journal of Nutritional Science and Vitaminology**, v. 65, p. 26-28, 2019.

LI, S. C.; CHOU, T. C.; SHIH, C. K. Effects of brown rice, rice bran, and polished rice on colon carcinogenesis in rats. **Food Research International**, v. 4, 1 ed., p. 209-216, 2011.

LI, Y. *et al.* High-temperature air fluidization improves cooking and eating quality and storage stability of brown rice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 2021.

LUO, X. *et al.* Effects of electron beam irradiation on storability of brown and milled rice. **Journal of Stored Products Research**, v. 81, p. 22-30, 2019.

MOHORIC, A. *et al.* Magnetic resonance imaging of single rice kernels during cooking. **Journal of Magnetic Resonance**, v. 171, ed. 1, p. 157 - 162, 2004.

MONKS, J. L. F *et al.* Effects of milling on proximate composition, folic acid, fatty acids and technological properties of rice. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 30, p. 73-79, 2013.

MONGE-ROJAS, R. *et al.* Influence of sensory and cultural perceptions of white rice, brown rice and beans by Costa Rican adults in their dietary choices. **Appetite**, v. 81, p. 200-208, 2014.

MOHAPATRA, B.; BAHL, S. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. **Journal of Food Engineering**, v. 73, n. 3, p. 253-259, 2006.

MULLER, A. *et al.* Rice Drying, Storage and Processing: Effects of Post-Harvest Operations on Grain Quality. **Rice Science**, v. 29, ed. 1, p. 16-30, 2022.

PANDEY, R.; SHRIVASTAVA, S. L. Comparative evaluation of rice bran oil obtained with two-step microwave assisted extraction and conventional solvent extraction. **Journal of Food Engineering**, v. 218, p. 106-114, 2018.

PAIVA, F. F. *et al.* Polishing and parboiling effect on the nutritional and technological properties of pigmented rice. **Food Chemistry**, v. 191, p. 105-112, 2016.

PARK, D.; HAN, J. Quality controlling of brown rice by ultrasound treatment and its effect on isolated starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 137, p. 30-38, 2016.

RATHNA, T. S. P. *et al.* Nutritional and functional properties of coloured rice varieties of South India: a review. **Journal of Ethnic Foods**, v. 6, n. 11, 2019.

RATTANAMECHAISKUL, C.; SOPONRONNARIT, S.; PRACHAYAWARAKORN, S. Glycemic response to brown rice treated by different drying media. **Journal of Food Engineering**, v. 122, p. 48-55, 2014.

REDDY *et al.* Effects of Polishing on Proximate Composition, Physico- Chemical Characteristics, Mineral Composition and Antioxidant Properties of Pigmented Rice. **Rice Science**, v. 24, n. 5, p. 241-252, 2017.

ROSNİYANA, A.; RUKUNUDIN, I. H.; SHARIFFAH, S. A. N. Effects of milling degree on the chemical composition, physicochemical properties and cooking characteristics of brown rice. **Journal of Tropical Agriculture and Food Science**, v. 34, n. 1, p. 37-44, 2006.

RUNGE *et al.* Multi-element rice grains analysis by ICP OES and classification by processing types. **Food Chemistry**, v. 279, p. 419-424, 2019.

SANTOS, B.; STONE, L.F.; VIEIRA, N. R. A (ed.). A cultura do arroz no Brasil. 2. ed. revista ampliada. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2006.

SANDHU, R. S. *et al.* Effect of degree of milling on physicochemical, structural, pasting and cooking properties of short and long grain *Indica* rice cultivars. **Food Chemistry**, v. 160, p. 231-238, 2018.

SAPWAROBOL, S.; SAPHYAKHAJORN, W.; ASTINA, J. Biological Functions and Activities of Rice Bran as a Functional Ingredient: A Review. **Nutr Metab Insights**, v. 14, 2021.

SHRAIM, A. M. *et al.* Concentrations of essential and toxic elements and health risk assessment in brown rice from Qatari market. **Food Chemistry**, v. 376, 2022.

SIVAKAMASUNDARI, S. K., MOSES, J. A., ANANDHARAMAKRISNAN, C. Effect of parboiling methods on the physicochemical characteristics and glycemic index of rice varieties. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 14, n. 6, p.3122-3137, 2020.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. **XXXII Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado**. Cachoeirinha, RS, 2018. 205 p. Disponível em: <http://www.sosbai.com.br/docs/Boletim_RT_2018.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2020.

SOUZA, C. R. C.; SILVA, L. H. Efeitos de diferentes métodos de processamento sobre o tempo de cocção e nas características tecnológicas de arroz integral. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos), **Universidade Federal do Pampa** - campus Itaqui, 2019.

SOUZA, C. R. C.; SILVA, L. H.; COSTA, P. F. P. Redução do tempo de cocção do arroz integral através da indução de fissuras. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, 2020.

STORCK, C, R. Variação na composição química em grãos de arroz submetidos a diferentes beneficiamentos. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia

de Alimentos) - Centro de Ciências Rurais, **Universidade Federal de Santa Maria**, 2004.

SIRISOONTARALAK, P. *et al.* Development of quick cooking germinated brown rice with convenient preparation and containing health benefits. **LWT – Food Science and Technology**, v. 61, n. 1, p. 138-144, 2015.

THIRUMDAS, R. Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 37, Part A, p. 53-60, 2016.

THIRUMDAS, R. Effect of low temperature plasma processing on physicochemical properties and cooking quality of basmati rice. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 31, p. 83-90, 2015.

UGHEOKE, I. T.; OTHMAN MAMAT. A critical assessment and new research directions of rice husk silica processing methods and properties. **Maejo International Journal of Science and Technology**, v. 6, n. 3, 2012.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural Online**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, jul, 2008.

XIA *et al.* Innovative processing techniques for altering the physicochemical properties of wholegrain brown rice (*Oryza sativa* L.) – opportunities for enhancing food quality and health attributes. **Criticals Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 9, n. 20, p. 3349-3370, 2019.

YAN, X. *et al.* The nutritional components and physicochemical properties of brown rice flour ground by a novel low temperature impact mill. **Journal of Cereal Science**, v. 92, 2020.

YAO, B. M.; CHEN, P.; SUN, G. X. Distribution of elements and their correlation in bran, polished rice, and whole grain. **Food Science & Nutrition**, v. 8 n.2, p. 982-992, 2020.

YODPITAK, S. *et al.* Cold plasma treatment to improve germination and enhance the bioactive phytochemical content of germinated brown rice. **Food Chemistry**, v. 289, p. 328-339, 2019.

YU, Y. *et al.* Effect of soaking and single/two cycle high pressure treatment on water absorption, color, morphology and cooked texture of brown rice. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 12, 2017.

YU, Y. *et al.* Effect of presoaking high hydrostatic pressure on the cooking properties of brown rice. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, p. 1655-1664, 2017.

ZHANG, G.; HAMAKER, B. R. The nutritional property of endosperm starch and its contribution to the health benefits of whole grain foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 18, p. 3807-3817, 2017.

ZHANG, *et al.* Substituting brown rice for white rice to lower diabetes risk: A focus-group study in Chinese adults. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 110, 8 ed., p. 1216-1221, 2010.

ZINOVIADOU *et al.* Fruit juice sonication: Implications on food safety and physicochemical and nutritional properties. **Food Research International**, v. 77, p. 743-752, 2015.