

Processos físicos industriais para redução do tempo de cocção do arroz integral - Uma revisão

Industrial physical processes to reduce brown rice cooking time - A review

Procesos físicos industriales para reducir el tiempo de cocción del arroz integral - Una revisión

Recebido: 02/09/2023 | Revisado: 10/09/2023 | Aceitado: 11/09/2023 | Publicado: 14/09/2023

Christian Rafael Câmara de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1089-5894>

Universidade Federal do Pampa, Brasil

E-mail: christian.ahs14@gmail.com

Leomar Hackbart da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7755-8788>

Universidade Federal do Pampa, Brasil

E-mail: leomarsilva@unipampa.edu.br

Paula Fernanda Pinto da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3296-5347>

Universidade Federal do Pampa

E-mail: paulacosta@unipampa.edu.br

Resumo

O arroz possui importância social, econômica e nutricional em diferentes países. Em sua forma integral o seu consumo confere mais benefícios a saúde. No entanto, devido às suas características de maior dureza e tempo de cocção prolongado, apresenta baixa aceitação entre os consumidores. O objetivo com este estudo foi analisar, por meio de uma revisão da literatura, os métodos que utilizam princípios físicos para redução do tempo de cozimento do arroz integral. Foram selecionados 69 estudos encontrados em diferentes bases de dados, publicados no período de 2002 a 2022. Compilaram-se as características de processamento do arroz, suas principais formas de consumo, a superioridade nutricional do arroz integral, os desafios de produção e a contextualização do desenvolvimento de novos métodos de processamento. Os principais métodos de processamento para redução do tempo de cocção do arroz integral encontrados foram descritos e analisados em relação a vias de investigação, princípios físicos e os resultados obtidos. Sendo eles o 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. Constatou-se que embora esses métodos reduzem o tempo de cocção, alguns podem causar decréscimo no valor nutricional do arroz integral. Desta forma, considerou-se que os tratamentos de pré-hidratação, cocção e secagem e de indução de fissuras nos grãos são os mais promissores, uma vez que influenciaram de forma significativa na redução do tempo de cocção do arroz integral, sem alterar o seu valor nutricional.

Palavras-chave: Compostos nutricionais; Farelo de arroz; Tempo de cozimento; Absorção de água; Fissuras nos grãos.

Abstract

Rice has social, economic, and nutritional importance in different countries. In the integral form, its consumption confers more health benefits. However, due to its characteristics of greater hardness and prolonged cooking time, it has low acceptance among consumers. The objective of this study was to analyze, through a literature review, the methods that use physical principles to reduce the cooking time of brown rice. Sixty-nine studies found in different databases, published from 2002 to 2022, were selected. The characteristics of rice processing, its main forms of consumption, the nutritional superiority of brown rice, the challenges of production and the contextualization of rice were compiled in the development of new processing methods. The main processing methods found to reduce the cooking time of brown rice were described and analyzed in relation to investigation methods, physical principles and the results obtained. Being then the partial polishing; pre-hydration, cooking and drying; fissure induction; heating by infrared radiation; treatment with high hydrostatic pressure; ultrasonic treatment and low-pressure cold plasma treatment. It was found that although these methods reduce cooking time, some may cause a decrease in the nutritional value of brown rice. In this way, it was considered that the pre-hydration, cooking and drying treatments and the induction of fissuring in the grains are the most promising, since they significantly influenced the reduction of the cooking time of brown rice, without changing its nutritional value.

Keywords: Nutritional compounds; Rice bran; Cooking time; Water absorption; Fissure in the grains.

Resumen

El arroz tiene importancia social, económica y nutricional en diferentes países. En su forma integral, su consumo confiere más beneficios para la salud. Sin embargo, por sus características de mayor dureza y tiempo de cocción prolongado, tiene baja aceptación entre los consumidores. El objetivo de este estudio fue analizar, a través de una revisión bibliográfica, los métodos que utilizan principios físicos para reducir el tiempo de cocción del arroz integral. Se seleccionaron 69 estudios encontrados en diferentes bases de datos, publicados desde 2002 hasta 2022. Se recopilaron las características del procesamiento del arroz, sus principales formas de consumo, la superioridad nutricional del arroz integral, los desafíos de la producción y la contextualización del desarrollo del arroz de nuevos métodos de procesamiento. Se describieron y analizaron los principales métodos de procesamiento encontrados para reducir el tiempo de cocción del arroz integral en relación con los métodos de investigación, los principios físicos y los resultados obtenidos. Siendo ellos el pulido parcial; pre-hidratación, cocción y secado; inducción de fisuras; calefacción por radiación infrarroja; tratamiento con alta presión hidrostática; tratamiento ultrasónico y tratamiento con plasma frío a baja presión. Se encontró que, aunque estos métodos reducen el tiempo de cocción, algunos pueden causar una disminución en el valor nutricional del arroz integral. De esta forma, se consideró que los tratamientos de pre-hidratación, cocción y secado y la inducción de fisuras en los granos son los más promisorios, ya que influyeron significativamente en la reducción del tiempo de cocción del arroz integral, sin alterar su valor nutricional.

Palabras clave: Compuestos nutricionales; Salvado de arroz; Tiempo de cocción; Absorción de agua; Fisuras en los granos.

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 aqueles em desenvolvimento, o arroz é o principal alimento, pois confere grande parte da energia alimentar e importantes nutrientes desempenhando um papel relevante na segurança alimentar desses países (Kennedy et al., 2003; Rathna et al., 2019).

A utilização do arroz na alimentação ocorre, após os grãos passarem pelo processo de beneficiamento, que envolve a remoção da casca, das camadas do farelo, dos defeitos, separação de grãos inteiros e quebrados (Storck, 2004; Atungulu & Pan, 2014). De acordo com o tipo de processamento do grão, convencional ou parboilizado é possível se obter quatro subgrupos de arroz beneficiado: o arroz integral, arroz polido, arroz parboilizado integral e arroz parboilizado polido (Brasil, 2009; Runge et al., 2019).

O arroz integral destaca-se por apresentar propriedades benéficas a saúde, pois no beneficiamento este é apenas descascado mantendo-se a camada de aleurona e o gérmen, que correspondem a fração de farelo, onde estão localizados os nutrientes de maior interesse nutricional. O farelo é rico em fibras dietéticas, proteínas, vitamina E e do complexo B, minerais, ácidos graxos essenciais e compostos fenólicos (Monks et al., 2013; Chen et al., 2019; Khalua et al., 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 et al., 2011; Rattanamechaiskul, Soponronnarit & Prachayawarakornli, 2014). Portanto, o consumo de arroz em sua forma integral, que preserva no grão as camadas de aleurona e o germe, caracteriza-se como uma alternativa de consumo mais saudável. No entanto, a maioria da população brasileira prefere consumir este cereal na forma de arroz branco polido, pois os dados mais atuais referentes ao consumo de arroz integral, indicam que este representa apenas 5,2% do total do arroz consumido no Brasil (IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019).

O reduzido consumo do arroz integral está relacionado à algumas características desfavoráveis apresentadas por esse tipo de arroz, tais como seu longo tempo de cocção e sua textura mais firme (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).

Na literatura as informações sobre cocção relacionada ao processamento do arroz integral são dispersas e por isso uma

revisão sobre o assunto se faz necessária para auxiliar no entendimento dos diferentes tipos de arroz processado e diferença nos tempos de cocção. 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 redução do tempo de cocção do arroz integral, 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 sistemática de literatura a partir da consulta de estudos científicos relacionados ao tema da pesquisa em questão, publicados no período de 2002 a 2022.

Os critérios de inclusão adotados no presente estudo foram conforme a metodologia proposta por Galvão e Ricarte (2019), sendo classificadas publicações como artigo original, revisões bibliográficas, livros, teses, dissertações ou resumos de anais de eventos científicos, divulgadas em língua inglesa, espanhola e portuguesa; publicações completas com resumos disponíveis e indexados nas 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.

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

Foram excluídos os editoriais, as cartas ao editor, os estudos reflexivos e relatos de caso, bem como, artigos repetidos em diferentes bases de dados, estudos que não abordaram a temática relevante ao objetivo desta revisão e que não se enquadravam no período de publicação nos últimos 10 anos, preferencialmente. 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 selecionados 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

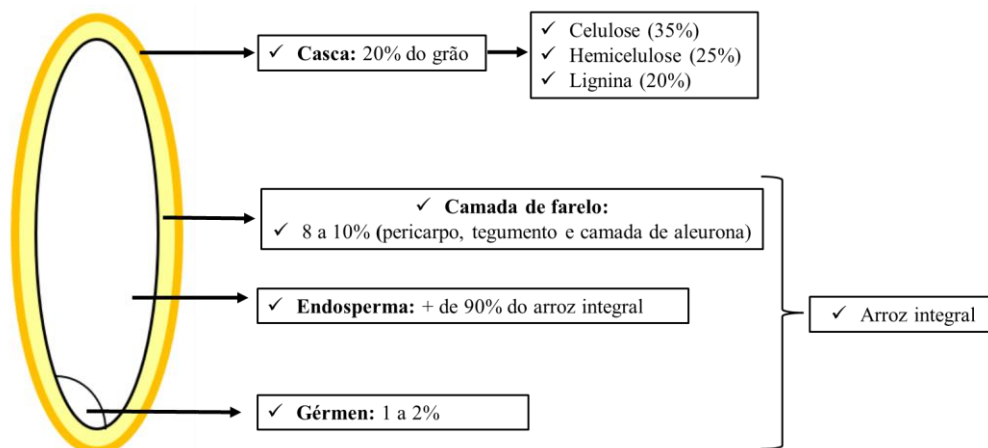
3.1 Processamento e características físico-químicas do arroz integral

Estruturalmente o arroz é considerado uma cariopse, composta por uma camada de revestimento (pericarpo, tegumento e camada de aleurona) 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, sendo 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 (Figura 1) (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 germen. Mais de 90% do grão de arroz integral é constituído pelo endosperma amiláceo, 8 a 10% consistem na camada de farelo formada pelo pericarpo,

tegumento, camada de aleurona e o gérmen, o qual por sua vez corresponde entre 1 e 2% do grão (Figura 1) (Santos, Stone & Vieira, 2006; Walter et al., 2008; Juliano, 2016; Sapwarobol et al., 2021).

Figura 1 – Estrutura e características físico-químicas do grão de arroz.



Fonte: Autores (2023).

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 branco 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 do amido e a conversão de sua forma cristalina para a forma amorfa, tornando o endosperma do grão compacto e translúcido, obtendo-se o arroz parboilizado (Sivakamasundari et al., 2020; Kumar et al., 2022).

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 condições de armazenamento, os métodos de processamento, principalmente aqueles relacionados as etapas de polimento do arroz, que consiste na remoção do farelo, influenciam o conteúdo nutricional do arroz (Monks et al., 2013).

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 cru. Observa-se que o arroz integral apresenta maiores conteúdos de proteínas, lipídeos, minerais, vitaminas, fibras dietéticas totais e fibras solúveis, em comparação ao arroz branco polido (Juliano, 2016). Isso ocorre devido a preservação das camadas de farelo e do gérmen no arroz integral (Carcea, 2021).

Como o arroz integral é apenas descascado, 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).

Tabela 1 - Composição nutricional do arroz cru na forma integral, branco polido e do farelo de arroz.

Componentes químicos	Arroz integral	Arroz branco polido	Farelo de arroz
Umidade (g/100g)	12 - 14	12 - 14	12 - 14
Conteúdo Energético (kJ)	1480 - 1610	1460 - 1560	1670 - 1990
Conteúdo Energético (kcal)	355 - 385	349 - 373	399 - 476
Proteína bruta (g/100g)	7,1 - 8,3	6,3 - 7,1	11,3 - 14,9
Lipídios totais (g/100g)	1,6 - 2,8	0,3 - 0,6	15,0 - 19,7
Fibra bruta (g/100g)	0,6 - 1	0,2 - 0,5	7 - 11,4
Cinza bruta (g/100g)	1 - 1,5	0,3 - 0,8	6,6 - 9,9
Carboidratos (g/100g)	73 - 87	77 - 89	34 - 62
Fibra dietética total (g/100g)	2,9 - 4,4	0,7 - 2,7	24 - 29
Fibra solúvel (g/100g)	2	0,5	15 - 27
Açúcares (g/100g)	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).

Segundo Kaur et al. (2020) em algumas situações durante o processo de polimento, para obtenção do arroz branco polido, 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). Sendo o seu consumo altamente recomendado para se manter uma dieta alimentar equilibrada e saudável (Lee et al., 2019).

Um dos motivos em destaque, para o consumo de arroz integral ser mais recomendado, são os seus efeitos antidiabéticos, os quais 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 et al., 2002; Rattanamechaiskul et al., 2014).

De acordo com Sapwarobol et al. (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. Esses 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, tais como: acidente vascular cerebral, 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 digestório. 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.

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, fazendo com que este tipo de arroz tenha menor popularidade entre os consumidores, tornando seu consumo inferior ao do arroz branco polido, que apresenta menor tempo de cocção, sabor suave e maior maciez após o cozimento (Das et al., 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 das 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).

Além disso, pode haver acúmulo de componentes tóxicos junto com os elementos essenciais na camada de farelo (Yao et al., 2020), há a presença do antinutriente como o ácido fítico em nível elevado na mesma (Joy et al., 2017) e a vida útil desse tipo de arroz é reduzida devido a suscetibilidade de oxidação lipídica via degradação dos lipídios por atividade enzimática (Ding et al., 2018).

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.

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.

3.3 Tempo de cocção do arroz integral

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 et al. (2018) o tempo de cocção do arroz integral varia entre 30 e 45 minutos, enquanto o do arroz branco polido é de aproximadamente a metade deste tempo, entre 15 e 20 minutos.

Essa diferença no tempo de cocção, e as características sensoriais pouco atrativas são os principais atributos do arroz integral responsáveis pelo seu baixo consumo, tornando-o um constante alvo de estudos envolvendo alternativas que visam a redução do tempo de cocção e melhorias dos atributos sensoriais desse tipo de arroz (Souza & Silva, 2019).

Desta forma, várias pesquisas visam 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, estes poderão ser inseridos na indústria de beneficiamento do arroz e atenderão a demanda dos consumidores contemporâneos por alimentos saudáveis e convenientes (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.

Diversos estudos detêm-se na investigação a respeito de métodos para melhorar as características do arroz integral, tais como, redução do tempo de cocção e melhorias dos atributos sensoriais. 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 et al., 2020), irradiação (Luo et al., 2019), tratamento ultrassônico (Dang et al., 2018) e tratamento com plasma (Yodpitak et al., 2019); princípios biológicos envolvendo germinação e enzimas exógenas (Dang et al., 2018; Cáceres et al., 2019); e outros princípios como por exemplo a imersão dos grãos em água antes do cozimento (Yu et al., 2015) e o pré-cozimento total ou parcial dos grãos, seguida da secagem dos mesmos (Kang et al., 2007).

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

Na Tabela 2, encontram-se os principais métodos de processamento para reduzir o tempo de cocção do arroz integral, envolvendo princípios físicos, por meio dos quais provocam mudanças nas características de cocção e sensoriais deste tipo de arroz.

Tabela 2 - Principais métodos de processamento físico aplicados para reduzir o tempo de cocção do arroz integral.

Método	Princípios físicos	Autores e ano de publicação
Polimento parcial	Remoção de diferentes frações da camada de farelo através de processos de abrasão e fricção	Monks et al. (2013)
Pré-hidratação, gelatinização e secagem	Hidratação dos grânulos de amido; gelatinização dos mesmos; lavagem dos grãos em água fria para promover a retrogradação e posterior secagem	Batista et al. (2019)
Indução de fissuras	Condicionamento do arroz com diferentes teores de umidade e posterior secagem secundária	Souza, Silva & Costa (2020)
Aquecimento por irradiação infravermelha	Redução da umidade por processo acelerado de difusão; tensão de tração na superfície e compressão no interior do grão; formação de fissuras	Lang et al. (2022)
Tratamento com alta pressão hidrostática	Aplicação de alta pressão de forma instantânea e uniformemente distribuída nos grãos	Yu et al. (2017)
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	Cui, Pan, Yue, Atungulu & Berrios (2010)
Tratamento com plasma frio de baixa pressão	Exposição do arroz a diferentes potências e períodos a espécies reativas geradas pelo tratamento com plasma; corrosão superficial das camadas externas do farelo	Thirumdas, Saragapani, Ajinkya, Deshmukh & Annapure (2016)

Fonte: Autores (2023).

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 de rendimento de grãos inteiros e do tempo de cocção do arroz. 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).

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). Em relação a uma das características culinárias que desfavorece o consumo de arroz integral, o seu longo tempo de cocção, foram encontrados na literatura estudos de investigação sobre a relação da extensão da remoção da camada de farelo sobre as características do arroz (Rosniyana et al., 2006; Mohapatra & Bahl, 2006; Monks et al., 2013; Sandhu et al., 2018; Souza & Silva, 2019),

As indústrias brasileiras utilizam uma faixa entre 8 e 14% de remoção da camada do farelo, no processo de polimento do arroz, para atender a preferência dos consumidores por arroz branco polido. Monks et al., 2013 avaliaram os efeitos de quatro percentuais de polimento (8, 10, 12 e 14%) sobre a composição centesimal, teor de ácido fólico, ácidos graxos e propriedades tecnológicas, incluindo tempo de cocção, de uma variedade de arroz com alto teor de amilose. Os autores observaram que tempo de cocção foi menor para o arroz polido (19 minutos) em comparação ao arroz integral (28 minutos). No entanto, não houve diferença significativa nos tempos de cocção apresentados pelas amostras de arroz polido em diferentes percentuais de polimento (8, 10, 12 e 14%), podendo-se observar que as principais faixas de grau de polimento utilizadas pelas indústrias brasileiras não exerceram influência sobre o tempo de cocção do arroz polido. Entretanto, verificou-se que houve aumento no conteúdo de amido no grão, em razão da diminuição do conteúdo de proteínas, lipídios, cinzas e fibras. Além de redução nos teores de ácido fólico, dos ácidos graxos, proporcional ao aumento do grau de polimento do grão.

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 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 ocorreu somente a partir do grau de polimento máximo testado (8%), enquanto na variedade de grão longo essa redução ocorreu 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 & 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 & 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 e 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 e 10% apresentaram capacidade de redução do tempo mínimo de cocção entre 36,05 e 40,97%, não havendo diferença estatística entre os valores observados.

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 & 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 & Bahl (2006) e segundo os autores 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

Os métodos de processamento envolvendo a pré-hidratação, gelatinização e secagem de arroz, são utilizados para produzir arroz de cocção rápida, incluindo arroz integral (Sirisoontarak et al., 2015; Batista et al., 2019; Lang et al., 2022).

Neste tipo de processamento, o arroz integral é submetido a hidratação prévia para ocorrer o intumescimento dos grânulos de amido, os quais podem absorver até 30% do seu peso em água, após passam pela etapa de cocção a uma temperatura que pode ser superior a temperatura necessária para gelatinizar o amido hidratado, em seguida é realizada uma etapa de pré-tratamento de lavagem dos grãos em água fria, para promover retrogradação do amido 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 et al., 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 o processo de cozimento do arroz (Batista et al., 2019).

Batista et al. (2019) utilizaram este tipo de método de processamento para desenvolver arroz integral de cocção rápida, em dois genótipos com características distintas o Puitá Inta CL e o INOV CL. Os autores avaliaram os efeitos de três temperaturas de cocção diferentes (72, 80 e 88°C) sobre a qualidade do arroz integral de cocção rápida. O tratamento utilizando a temperatura mais alta (88°C), apresentou redução no tempo de cocção de 23 e 23,6 minutos para 6,9 e 5,5 minutos, nos genótipos Puitá Inta CL e o INOV CL, respectivamente. Observaram também redução na digestibilidade do amido de 15 a 22% em comparação a amostra controle. Além disso, relataram que em relação a análise sensorial não houve variação

significativa entre os resultados de aparência, textura e sabor observados nas amostras de cozimento rápido quando comparados com a amostra de arroz integral controle.

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 como 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 et al. (2020), através da aplicação de um método de processamento onde testou-se os efeitos combinados da hidratação com diferentes teores de umidade (14,4% a 25,6%) seguida da secagem dos grãos em diferentes temperaturas (30°C a 46°C), 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°C e 38°C promoveu a indução de um índice de fissuras nos grãos de 97%, sem interferir significativamente em parâmetros de qualidade do arroz, como no rendimento de grãos inteiros que variou entre 97,45% e 97,86% e no índice de acidez que variou de 0,38 mg de KOH.g⁻¹ a 0,54 mg de KOH.g⁻¹.

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 ocorre 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, tais como vitaminas, antioxidantes e compostos aromáticos (Xia et al., 2019).

Yu et al. (2017) relataram em seu estudo que a pre-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. (2010) 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 & 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 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 Watts) e tempo de tratamento distintos (5 e 10 min), Thirumdas, Saragapani, Ajinkya, Deshmukh & Annapure (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 hidrofiliabilidade 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 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

A presente pesquisa de revisão bibliográfica verificou, 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. Os principais métodos de processamento para redução do tempo de cocção do arroz integral encontrados foram descritos e analisados em relação a vias de investigação, princípios físicos e os resultados obtidos. Sendo eles o 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. Constatou-se que embora esses métodos reduzem o tempo de cocção, alguns podem causar decréscimo no valor nutricional do arroz integral.

Desta forma, considerou-se que os tratamentos de pré-hidratação, cocção e secagem e de indução de fissuras nos grãos são os mais promissores, uma vez que influenciaram de forma significativa na redução do tempo de cocção do arroz integral, sem alterar o seu valor nutricional.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), a Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, ao Curso de Pós-graduação Lato Sensu em Tecnologia de Alimentos e ao Núcleo de Pesquisa em Tecnologia de Grãos e Produtos Amiláceos da UNIPAMPA – Campus Itaqui, pelo apoio institucional, que viabilizou a realização da pesquisa e elaboração dessa revisão bibliográfica.

Referências

- Abhilasha, P., Pal, U. S., Panda, M. K., Sahoo, G., Nayak, R., Rayaguru, K. & Sahoo, N. R. (2021). Standardisation of cooking and conditioning methods for preparation of quick cooking germinated brown rice. *Journal of the Indian Chemical Society*, 98 (8). doi.org/10.1016/j.jics.2021.100093
- Atungulu, G. G. & Pan, Z. (2014). Rice industrial processing worldwide and impact on macro- and micronutrient content, stability, and retention. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 134, (1), 15-28. doi.org/10.1111/nyas.12492
- Batista, C. S., Santos, J. P. & Vanier, N. L. (2018). Desenvolvimento de arroz de cozimento rápido: Do processamento à qualidade do produto final. *Labgrãos Magazine*, 2, (2).
- Batista, C. S., Santos, J. P., Dittgen, C. L., Colussi, R., Bassinello, P. Z., Elias, M. C., & Vanier, N. L. (2019). Impact of cooking temperature on the quality of quick cooking brown rice. *Food chemistry*, 286, 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.187>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009). *Instrução normativa nº 6, de 16 de fevereiro de 2009. Aprova o Regulamento Técnico do Arroz, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem.* Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília. <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1687046295>
- Bualuang, O., Tirawanichakul, Y. & Tirawanichakul, S. (2012). Comparative Study between Hot Air and Infrared Drying of Parboiled Rice: Kinetics and Qualities Aspects. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37 (6), 1119-1132. Doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00813.
- Cáceres, P. J., Peñas, E, Martínez-Villaluenga, C., García-Morab, P. & Frías, J. (2019). Development of a multifunctional yogurt-like product from germinated brown rice. *LWT – Food Science and Technology*, 99, 306-312. doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.008
- Carcea, M. (2021). Value of Whole grain Rice in a Healthy Human Nutrition. *Agriculture*, 11 (8), 720. doi.org/10.3390/agriculture11080720
- Chen, M.; Bergman, C. J. & Meclung, A. M. (2019). Hydrolytic rancidity and its association with phenolics in rice bran. *Food Chemistry*, 285, 485-491. doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.139
- Colina, J.; Guerra, M. (2009). Obtención y evaluación de arroz integral de cocción rápida. *Interciencia*, 34, (10). Recuperado em 01 de fevereiro de 2022, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009001000012&lng=es&tlng=es.
- Cui, L., Pan, Z., Yue, T., Atungulu, G. & Berrios, J. J. (2010). Effect of ultrasonic treatment of brown rice at different temperatures on cooking properties and quality. *Cereal Chemistry*, 87 (5), 403-408. doi/10.1094/CCHEM-02-10-0034

- Dang, L. T. K.; Therdthai, N. & Ratphitagsanti, W. (2018). Improvement of structure and cooking quality of brown rice using ultrasonic and enzymatic treatments. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42 (11). doi.org/10.1111/jfpp.13814
- Das, M. Banerjee, R. & Bal, S. (2008a). Evaluation of physicochemical properties of enzyme treated brown rice (Part B). *LWT-Food Science and Technology*, 41 (10), 2092-2096. doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.018
- Das, M., Gupta, S., Kapoor, V., Banerjee, R. & Bal, S. (2008b). Enzymatic polishing of rice – A new processing technology. *LWT Food Science and Technology*, 41, (10), 2079-2084. doi.org/10.1016/j.lwt.2008.02.007
- Ding, C., Khir, R., Pan, Z., Wood, D. F., Venkatasamy, C., Tu, K., El-Mashad, H. & Berrios, J. (2018). Influence of infrared drying on storage characteristics of brown rice. *Food Chemistry*, 264, 149-156. doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.042
- Fontanella, M. C., Martin, M., Tenni, D., Beone, G. M. & Romani, M. (2021). Effect of Milling and Parboiling Processes on Arsenic Species Distribution in Rice Grains. *Rice Science*, 28 (4), 402-408. doi.org/10.1016/j.rsci.2021.05.010
- Foster-powell, K.; Holt, S. H. & Brand-miller, J. C. (2002). International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76, 5-56. doi.org/10.1093/ajcn/76.1.5
- Galvão, M. C. B., & Ricarte, I. L. M. (2019). Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. *Logeion: Filosofia da informação*, 6(1), 57-73. doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73
- Gavahian, M., Chu, Y., Khaneghah, A. M., Barba, F. J. & Misra, N. N. (2018). A critical analysis of the cold plasma induced lipid oxidation in foods. *Trends in Food Science & Technology*, 77, 32-41. doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.009
- Gong, S., Luo, S. J., Li, T., Liu, C. M., Zhang, G. W., Chen, J., Zeng, Z. C. & Liu, R. H. (2017). Phytochemical profiles and antioxidant activity of processed brown rice products. *Food Chemistry*, 232, 67-78. doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.093
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agro 2017. *Censo agropecuário: resultados definitivos 2017*. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Recuperado em 17 de fevereiro de 2022, de <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/2013-agencia-de-noticias/releases/28646-pof-2017-2018-brasileiro-ainda-mantem-dieta-a-base-de-arroz-e-feijao-mas-consumo-de-frutas-e-legumes-e-abaixo-do-esperado.html>
- Itani, T., Tamaki, M., Arai, E. & Horino, T. (2002). Distribution of amylose, nitrogen, and minerals in rice kernels with various characters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (19), 5326–5332. doi.org/10.1021/jf020073x
- Joy, E. J. M., Ander, E. L., Broadley, M. R., Young, S. D., Chilimba, A. D. C., Hamilton, E. M. & Watts, M. J. (2017). Elemental composition of Malawian rice. *Environmental Geochemistry and Health*, 39 (4), 835-845. doi.org/10.1007/s10653-016-9854-9.
- Juliano B.O. (2016) Rice: Overview. In: Wrigley, C., Corke, H., and Seetharaman, K., Faubion, J., (eds.) *Encyclopedia of Food Grains* vol. 1, pp. 125-129. Oxford: Academic Press. doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00015-2
- Kang, D. F.; He, J. F. & Wang, X. C. (2007). The actuality and prospect of instant rice production in China. *Cereal Process*, 32, 40-42.
- Kaur, A.; Bhise, S. & Kaur, M. (2020). Hydrothermal treatments for paddy to improve physicochemical quality of brown rice. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 9 (5), 913-926. doi.org/10.15414/jmbfs.2020.9.5.913-926
- 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. Recuperado em 08 de dezembro de 2022, em <http://www.fao.org/3/y4751e00.html>
- Khalua, R. K., Tewari, S. & Mondal, R. (2019). Nutritional comparison between brown rice and white rice. *Magnesium*, 5, 20.
- Kumar, A., Lal, M. K., Nayak, S., Sahoo, U., Behera, A., Bagchi, T. B., Parameswaran, C., Swain, P. & Sharma, S. (2022). Effect of parboiling on starch digestibility and mineral bioavailability in rice (*Oryza sativa* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 156. doi.org/10.1016/j.lwt.2021.113026
- Lang, G. H., Timm, N. S., Neutzling, H. P., Ramos, A. H., Ferreira, C. D. & Oliveira, M. (2022). Infrared radiation heating: A novel technique for developing quick-cooking rice. *LWT- Food Science and Technology*, 154. doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112758
- Lang, G. H., Lindemann, I., Ferreira, C. D., Pohndorf, R. S., Vanier, N. L. & Oliveira, M. (2018). Influence of drying temperature on the structural and cooking quality properties of black rice. *Cereal Chemistry*, 95 (4), 564-574. doi.org/10.1002/cche.10060
- Lee, J., Sreenivasulu, N., Hamilton, R. S. & Kohli, A. (2019). Brown Rice, a Diet Rich in Health Promoting Properties. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 65, 26-28. doi.org/10.3177/jnsv.65. S26
- Li, S. C.; Chou, T. C. & Shih, C. K. (2011). Effects of brown rice, rice bran, and polished rice on colon carcinogenesis in rats. *Food Research International*, 4 (1), 209-216. doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.034
- Li, Y., Li, Y., Chen, Z., Bu, L., Shi, F. & Huang, J. (2021). High-temperature air fluidization improves cooking and eating quality and storage stability of brown rice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 67. doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102536
- Luo, X., Li, Y., Yang, D. & Xing, J. (2019). Effects of electron beam irradiation on storability of brown and milled rice. *Journal of Stored Products Research*, 81 (4), 22-30. doi.org/10.1016/j.jspr.2018.12.003
- Misra, N. N., Pankaj, S. K., Segat, A., & Ishikawa, K. (2016). Cold plasma interactions with enzymes in foods and model systems. *Trends in Food Science and Technology*, 55, 39-47. doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.001

- Mohorič, A., Vergeldt, F., Gerkema, E., de Jager, A., van Duynhoven, J., van Dalen, G., & Van As, H. (2004). Magnetic resonance imaging of single rice kernels during cooking. *Journal of Magnetic Resonance*, 171(1), 157-162. doi. 10.1016/j.jmr.2004.08.013
- Monks, J. L. F., Vanier, N. L., Casaril, J., Berto, R. M., de Oliveira, M., Gomes, C. B., & Elias, M. C. (2013). Effects of milling on proximate composition, folic acid, fatty acids, and technological properties of rice. *Journal of Food Composition and Analysis*, 30(2), 73-79. doi.org/10.1016/j.jfca.2013.01.009
- Monge-Rojas, R., Mattei, J., Fuster, T., Willett, W., & Campos, H. (2014). Influence of sensory and cultural perceptions of white rice, brown rice, and beans by Costa Rican adults in their dietary choices. *Appetite*, 81, 200-208. doi. 10.1016/j.appet.2014.06.028
- Mohapatra, B. & Bahl, S. (2006). Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. *Journal of Food Engineering*, 73 (3), 253-259. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.028
- Muller, A., Nunes, M. T., Maldaner, V., Coradi, P. C., Moraes, R. S., Martens, S., Leal, A. F., Pereira, V. F. & Marin, C. K. (2022). Rice Drying, Storage and Processing: Effects of Post-Harvest Operations on Grain Quality. *Rice Science*, 29 (1), 16-30. doi.org/10.1016/j.rsci.2021.12.002
- Paiva, F. F., Vanier, N. L., Berrios, J., Pinto, V. Z., Wood, D., Williams, T., Pan, J. & Elias, M. C. (2016). Polishing and parboiling effect on the nutritional and technological properties of pigmented rice. *Food Chemistry*, 191, 105-112. doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.047
- Park, D. & Han, J. (2016). Quality controlling of brown rice by ultrasound treatment and its effect on isolated starch. *Carbohydrate Polymers*, 137, 30-38. doi/10.1016/j.carbpol.2015.10.045
- Rattanamechaiskul, C.; Soponronnarit, S. & Prachayawarakorn, S. (2014). Glycemic response to brown rice treated by different drying media. *Journal of Food Engineering*, 122 (1), 48-55. doi/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.022
- Rathna, T. S. P. Ann, R. L. E. N., Ravichandran, K. & Antony, U. (2019). Nutritional and functional properties of coloured rice varieties of South India: a review. *Journal of Ethnic Foods*, 6 (11). doi/10.1186/s42779-019-0017-3
- Reddy, C. K., Kimi, L., Haripriya, S. & Kang, N. (2017). Effects of Polishing on Proximate Composition, Physico- Chemical Characteristics, Mineral Composition and Antioxidant Properties of Pigmented Rice. *Rice Science*, 24 (5), 241-252. doi.org/10.1016/j.rsci.2017.05.002
- Rosniyana, A., Rukunudin, I. H. & Shariffah, S. A. N. (2006). Effects of milling degree on the chemical composition, physicochemical properties, and cooking characteristics of brown rice. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 34 (1), 37-44. Recuperado em 12 de fevereiro de 2022, de <http://jtafs.mardi.gov.my/jtafs/34-1/Brown%20Rice.pdf>
- Runge, J., Heringer, O. A., Ribeiro, J. S. & Biazati, L. B. (2019). Multi-element rice grains analysis by ICP OES and classification by processing types. *Food Chemistry*, 279, 419-424. doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.162
- Santos, B., Stone, L.F. & Vieira, N. R. A (2006.). *A cultura do arroz no Brasil* (2a ed). Revisada e ampliada. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão.
- Sandhu, R. S., Singh, N., Kaler, R. S. S., Kaur, A. & Shevkani, K. (2018). Effect of degree of milling on physicochemical, structural, pasting and cooking properties of short and long grain Indica rice cultivars. *Food Chemistry*, 160, 231-238. doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.092
- Sapwarobol, S.; Saphyakhajorn, W. & Astina, J. (2021). Biological Functions and Activities of Rice Bran as a Functional Ingredient: A Review. *Nutr Metab Insights*, 14. doi/10.1177/11786388211058559
- Shraim, A. M., Ahmad, M. I., Rahman, M. S. F. & Ng, J. C. (2022). Concentrations of essential and toxic elements and health risk assessment in brown rice from Qatari market. *Food Chemistry*, 376. doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131938
- Sivakamasundari, S. K., Moses, J. A. & Anandharamakrisnan, C. (2020). Effect of parboiling methods on the physicochemical characteristics and glycemic index of rice varieties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, (6), 3122-3137. doi.org/10.1007/s11694-020-00551-9
- Sirisoontarakul, P., Nakornpanom, N. N., Koakietdumrongkul, K. & Panumaswiwath, C. (2015). Development of quick cooking germinated brown rice with convenient preparation and containing health benefits. *LWT – Food Science and Technology*, 61 (1), 138-144. doi/10.1016/j.lwt.2014.11.015
- Souza, C. R. C. & Silva, L. H. (2019). *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 Itaquí.
- Souza, C. R. C.; Silva, L. H. & Costa, P. F. P. (2020). Redução do tempo de cocção do arroz integral através da indução de fissuras. *Research, Society and Development*, 9 (9). doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7403
- Storck, C. R. *Varição 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.
- Thirumdas, R., Deshmukh, R. R. & Annapure, U. S. (2015). Effect of low temperature plasma processing on physicochemical properties and cooking quality of basmati rice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 31, 83-90. doi.org/10.1016/j.ifset.2015.08.003
- Thirumdas, R., Saragapani, C., Ajinkya, M. T., Deshmukh, R. R. & Annapure, U. S. (2016). Influence of low-pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 37, Part A, 53-60. doi.org/10.1016/j.ifset.2016.08.009
- Ugheoke, I. T. & Mamat, O. (2012). A critical assessment and new research directions of rice husk silica processing methods and properties. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 6 (3), 430-448. doi/10.14456/mijst.2012.31
- Walter, M., Marchezan, E. & Avila, L. (2008). A. Arroz: composição e características nutricionais. *Ciência Rural Online*, Santa Maria, 38 (4), 1184-1192. doi.org/10.1590/S0103-84782008000400049
- Wu, J., Chen, J., Liu, W., Liu, C., Zhong, Y., Luo, D., Li, Z. & Guo, X. (2016). Effects of aleurone layer on rice cooking: A histological investigation. *Food chemistry*, 191, 28-35. doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.058

- Xia, Q., Green, B. D., Zhu, Z., Li, Y., Gharibzahedi, S. M. T., Roohinejad, S. & Barba, F. S. (2019). Innovative processing techniques for altering the physicochemical properties of whole grain brown rice (*Oryza sativa* L.) – opportunities for enhancing food quality and health attributes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 9 (20), 3349-3370. 10.1080/10408398.2018.1491829.
- Yan, X., Liu, C., Huang, A., Chen, R., Chen, J. & Luo, S. (2020). The nutritional components and physicochemical properties of brown rice flour ground by a novel low temperature impact mill. *Journal of Cereal Science*, 92. doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102927
- Yao, B. M., Chen, P. & Sun, G. X. (2020). Distribution of elements and their correlation in bran, polished rice, and whole grain. *Food Science & Nutrition*, 8 (2), 982-992. doi.org/10.1002/fsn3.1379
- Yodpitak, S. Mahatheeranont, S., Boonyawan, D., Sookwong, P., Roytrakul, S. & Norkaew, O. (2019). Cold plasma treatment to improve germination and enhance the bioactive phytochemical content of germinated brown rice. *Food Chemistry*, 289, 328-339. doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.061
- Yu, Y., Pan, F., Ramaswamy, H. S., Zhu, S., Yu, L. & Zhang, Q. (2017). 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*, 54 (6), 1655-1664. 10.1007/s13197-017-2598-4
- Yu, Y., Ge, L., Zhu, S., Zhan, Y. & Zhang, Q. (2015). Effect of presoaking high hydrostatic pressure on the cooking properties of brown rice. *Journal of Food Science and Technology*, 52 (12), doi/10.1007/s13197-015-1901-5
- Zhang, G., Malik, V. S., Pan, A., Kumar, S., Holmes, M. D., Spielgeman, D., Lin, X. & Hu, F. B. (2010). Substituting brown rice for white rice to lower diabetes risk: A focus-group study in Chinese adults. *Journal of the American Dietetic Association*, 110 (8), 1216-1221. doi/10.1016/j.jada.2010.05.004
- Zhang, G. & Hamaker, B. R. (2017). The nutritional property of endosperm starch and its contribution to the health benefits of whole grain foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57 (18) 3807-3817. doi/10.1080/10408398.2015.1130685.
- Zinoviadou, K. G., Galanakis, C. M., Brncic, M., Grimi, N., Bousseta, N., Mota, M. J., Saraiva, J. A., Patras, A., Tiwari, B. & Barba, F. J. (2015). Fruit juice sonication: Implications on food safety and physicochemical and nutritional properties. *Food Research International*, 77, 743-752. doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.032