

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

CHRISTIAN RAFAEL CÂMARA DE SOUZA

**EFEITOS DE DIFERENTES MÉTODOS DE PROCESSAMENTO SOBRE O TEMPO
DE COCÇÃO E NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE ARROZ
INTEGRAL**

**Itaqui
2019**

CHRISTIAN RAFAEL CÂMARA DE SOUZA

**EFEITOS DE DIFERENTES MÉTODOS DE PROCESSAMENTO SOBRE O TEMPO
DE COCÇÃO E NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE ARROZ
INTEGRAL**

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

Orientador: Prof. Dr. Leomar Hackbart
Silva

**Itaqui
2019**

CHRISTIAN RAFAEL CÂMARA DE SOUZA

**EFEITOS DE DIFERENTES MÉTODOS DE PROCESSAMENTO SOBRE O TEMPO
DE COCÇÃO E NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE ARROZ
INTEGRAL**

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

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 27 de junho de 2019.

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

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).

d729e de Souza, Christian Rafael Câmara

Efeitos de diferentes métodos de processamento sobre o
tempo de cocção e nas características tecnológicas de arroz
integral / Christian Rafael Câmara de Souza.

37 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade
Federal do Pampa, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 2019.

"Orientação: Leomar Hackbart Silva".

1. Tempo de cocção . 2. Hidratação. 3. Camada de farelo. 4.
Fissuras. I. Título.

Dedico este trabalho a pessoa que mais lutou, acreditou e me incentivou a concluí-lo, minha mãe Janaina.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me concedido a vida, e por me conduzir por um caminho repleto de demonstrações de seu cuidado e amor por mim.

A minha mãe e fonte de inspiração, Janaina, pelo seu infinito amor, carinho, companheirismo, incentivo e tamanha dedicação e esforço para que eu realize todos os meus sonhos.

Ao meu pai João Leonel, por todo esforço e trabalho para que eu estudasse.

A minhas irmãs e irmão, Hiuliquel, Yohanna e Kallebe, pelo carinho e irmandade.

Ao professor orientador Dr. Leomar Hackbart Silva, pela orientação, amizade e pelos valiosos ensinamentos que muito contribuíram e contribuirão para o meu crescimento pessoal e profissional. Sem a sua sábia e paciente orientação a realização e finalização desse trabalho não seria possível.

Aos meus pais de coração, Claudia e Irio, pela inestimável forma pela qual me ajudaram acolhendo-me em sua casa durante um ano.

A minhas melhores amigas, Elizama e Juliane, por mesmo distantes terem estado ao meu lado, me apoiando, incentivando, escutando e me fazendo rir nos bons e maus momentos.

A minha colega de curso e fiel dupla em todos os trabalhos e seminários, Gabriele, por sua amizade, companhia, risadas e ajuda em tantas ocasiões.

A minha colega de faculdade Mariana, pelo seu carinho, amizade, conselhos e por ter cuidado de mim.

Às colegas Betânia e Lucieli, pela amizade, ajuda em projetos e tantos momentos divertidos que passamos juntos.

Ao meu colega Oswaldo, pelas inúmeras caronas para a faculdade.

Às professoras Paula Costa e Fernanda Fiorda, membros da banca de avaliação, pelas preciosas contribuições para o aperfeiçoamento do meu trabalho.

A todos os professores do curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, pelos conhecimentos transmitidos e empenho em exercer o ato de ensinar.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para que eu pudesse realizar esse trabalho, os meus mais sinceros agradecimentos.

“Sonhe. Mesmo que seu início seja humilde, o fim será próspero”.

Bangtan Boys

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Superfícies de resposta das amostras de arroz integral submetidos a diferentes condições de hidratação e secagem.....	20
Figura 2 – Mudanças de coloração das amostras de arroz integral após o processamento de hidratação, congelamento e secagem.....	28
Figura 3 – Tendências dos parâmetros tecnológicos das amostras de arroz integral submetidas a diferentes graus de polimento.....	29
Figura 4 – Tendências dos parâmetros colorimétricos das amostras de arroz integral submetidas a diferentes graus de polimento.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz do delineamento experimental fatorial para duas variáveis e dois níveis; seus valores codificados e reais de umidade e temperatura de secagem.....	15
Tabela 2 – Tempo de polimento e grau de polimento, dos ensaios individuais.....	16
Tabela 3 – Parâmetros tecnológicos das amostras de arroz integral após a hidratação e secagem, que não apresentaram significância no modelo.....	24
Tabela 4 – Parâmetros tecnológicos das amostras de arroz integral após a hidratação, congelamento e secagem.....	26
Tabela 5 – Parâmetros colorimétricos das amostras de arroz integral após a hidratação, congelamento e secagem.....	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
2.1 AMOSTRAS.....	14
2.2 MÉTODOS DE PROCESSAMENTO DO ARROZ.....	14
2.2.1 HIDRATAÇÃO E SECAGEM.....	14
2.2.2 HIDRATAÇÃO, CONGELAMENTO E SECAGEM.....	15
2.2.3 POLIMENTO PARCIAL.....	16
2.3 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS TECNOLÓGICOS DO ARROZ INTEGRAL.....	17
2.3.1 RENDIMENTO DOS GRÃOS.....	17
2.3.2 GRAU DE UMIDADE.....	17
2.3.3 ÍNDICE DE FISSURAS.....	17
2.3.4 PERFIL COLORIMÉTRICO	17
2.3.5 ÍNDICE DE ACIDEZ.....	18
2.3.6 TEMPO DE COCÇÃO DO ARROZ INTEGRAL	18
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	18
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	19
3.1 HIDRATAÇÃO E SECAGEM.....	19
3.2 HIDRATAÇÃO, CONGELAMENTO E SECAGEM.....	26
3.3 POLIMENTO PARCIAL	29
4 CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS.....	34

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 em uma revista científica.

EFEITOS DE DIFERENTES MÉTODOS DE PROCESSAMENTO SOBRE O TEMPO DE COCÇÃO E NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE ARROZ INTEGRAL

Christian Rafael Câmara de Souza*

Leomar Hackbart Silva**

RESUMO

Objetivou-se avaliar os efeitos de diferentes métodos de processamento sobre o tempo de cocção e nas características tecnológicas do arroz integral. Os métodos estudados foram: I) hidratação e secagem (HS); II) hidratação, congelamento e secagem (HCS) e III) polimento parcial dos grãos (PPG). Sendo realizadas avaliações no rendimento, grau de umidade, índice de fissuras (IF), perfil colorimétrico, índice de acidez e tempo mínimo de cocção (TMC). Os resultados demonstraram que o método de HS aumentou o IF que passou de 2% no ensaio controle para 97%, e diminuiu o TMC passando de 20 para 14 minutos, não influenciando nos teores de umidade que permaneceram em torno de 10%, no rendimento de grãos inteiros e quebrados que apresentaram valores em torno de 97,70% e 2,50% respectivamente, e no índice de acidez que ficou em torno de 0,55 mg de KOH/g de amostra. De forma semelhante, o método de HCS aumentou o IF, diminuiu o TMC de 20 para 16 minutos, reduziu os grãos inteiros e aumentou os grãos quebrados. No caso do PPG houve o aumento do IF e diminuição do TMC, de 20 para 12 minutos no polimento de 10%, no entanto considerando manter uma maior fração do farelo, o polimento com até 2% reduziu o TMC para 14,67 minutos, e reduziu os grãos inteiros de 97% para 93%. Concluiu-se que o método HS foi o mais adequado, pois reduziu o TMC em 30% não influenciando no rendimento de grãos inteiros, além de manter as características tecnológicas dos grãos.

Palavras-chave: Tempo de cocção. Hidratação. Camada de farelo. Fissuras.

*Aluno de Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – Campus Itaqui – Universidade Federal do Pampa. E-mail: christian.ahs14@gmail.com

**Doutor em Tecnologia de Alimentos – Professor Adjunto – Campus Itaqui – Universidade Federal do Pampa. E-mail: leomarsilva@unipampa.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Constituindo-se como um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, o arroz (*Oryza sativa* L.) é uma fonte de energia elementar na dieta de mais de três bilhões de pessoas no mundo (SOSBAI, 2018). Na safra 2018/2019, mundialmente sua produção na forma de arroz base beneficiado está estimada em 501,39 milhões de toneladas, das quais 7,48 milhões de toneladas correspondem a estimativa de produção brasileira (CONAB, 2019), o que torna o Brasil responsável por 1,49% do total da produção mundial de arroz base beneficiado.

No Brasil, o consumo de arroz na forma de grão inteiro é tradicionalmente um popular hábito alimentar da população (CONAB, 2015), estando seu consumo anual estimado em cerca de 12 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

Para se obter as formas adequadas de arroz a serem adquiridas pelo consumidor, são realizados processos de beneficiamento (STORCK, 2004). Este processo ocorre após a etapa de armazenamento, tendo início no preparo do grão para o descascamento e finalizando-se na embalagem deste, podendo ter variações de acordo com o modo de comercialização (CONAB, 2015).

No processo de beneficiamento os grãos passam pela limpeza para eliminar impurezas e matérias estranhas, são descascados removendo-se a casca, e passam pela etapa de brunição aonde é removido o farelo de arroz e separado o arroz polido. Posteriormente o arroz é borrifado com uma mistura de água e ar para remover o farelo ainda aderido ao grão, e então é classificado em tipos (EIFERT, 2009). As principais formas de arroz beneficiado consumidas, são o arroz branco, parboilizado e integral (STORCK, 2004).

A denominação arroz beneficiado refere-se ao arroz em seu estágio de maturação completo, submetido a algum processo de beneficiamento, no qual no mínimo sua casca foi removida. O arroz beneficiado que foi apenas descascado é denominado como arroz integral; que foi beneficiado retirando-se o gérmen, o pericarpo e grande parte da camada de aleurona, como arroz polido; e como parboilizado o arroz que foi submetido ao processo de parboilização antes do descascamento e polimento (BRASIL, 2009).

O arroz integral é constituído pelo endosperma e pela camada situada entre a casca e o endosperma, denominada de farelo (CONAB, 2015). O farelo é composto

por pericarpo, tegumento, camada de aleurona e gérmen (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008), nele estão presentes as vitaminas e sais minerais do arroz, porém estes são removidos junto com o farelo durante as etapas de descascamento e polimento que ocorrem no processo de beneficiamento, processo este no qual se obtém o arroz branco polido, cuja constituição é basicamente amido.

Sendo assim, a presença do farelo torna o arroz integral mais vantajoso nutricionalmente que o arroz polido, devido ao seu maior conteúdo de proteínas, lipídios, fibras, sais minerais e vitaminas, que o confere propriedades benéficas para a saúde, podendo auxiliar na prevenção de doenças (BASSINELO; CASTRO, 2004). Entretanto, do total do consumo nacional de arroz, somente 3 a 4% é de arroz integral (ELIAS et al. 2012 apud CONAB, 2015).

O baixo consumo de arroz integral deve-se ao fato deste possuir atributos culinários pouco atrativos, tais como o seu longo tempo de cozimento, sua aparência escura, textura dura e mastigabilidade característica, após o cozimento (DAS; BANERJEE; BAL, 2008a; MONGE-ROJAS et al., 2014). Estas características são atribuídas à presença da camada de fibra e de cera, que tornam rígida a camada de farelo em torno do endosperma do grão e diminuem a sua absorção de água (COSTA et al., 2016; DAS et al., 2008b). A maior capacidade de absorção de água está relacionada ao aumento da velocidade de hidratação e gelatinização do amido do arroz durante a cocção (MOHORIC et al., 2004).

Através da remoção da camada de farelo no processo de brunimento, a aparência, palatabilidade, e a qualidade de cozimento do arroz são melhoradas, porém este processo ocasiona perda de nutrientes e aumenta o índice de fissuras. Desta forma, produzir arroz integral com mínimas perdas no rendimento, com características de cocção desejáveis e máxima retenção de seus nutrientes, é o principal objetivo das indústrias de arroz (DAS et al., 2008b).

São encontrados na literatura vários estudos a respeito do desenvolvimento e avaliação de métodos para reduzir o tempo de cozimento do arroz integral (COLINA; GUERRA, 2009; COSTA et al., 2016; DAS et al., 2008b; BATISTA et al., 2019). Contudo constata-se a escassez de estudos utilizando arroz integral não parboilizado ou pré-cozido, o que denota a necessidade de estudos de métodos mais rápidos e baratos, com este respectivo tipo de arroz, visando diminuir o seu prolongado tempo de cocção e avaliar seus efeitos nas características tecnológicas.

Dentro deste contexto o objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos de três diferentes métodos de processamento, sobre o tempo de cocção e nas características tecnológicas do arroz integral.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 AMOSTRAS

No presente estudo foram utilizados grãos de arroz integral tipo 1 da classe longo fino, de mesma marca e lote, com média de umidade de 10,05%, obtidos no comércio do município de Itaqui-RS. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Processamento de Alimentos II e no Laboratório de Química I da Universidade Federal do Pampa, campus Itaqui.

2.2 MÉTODOS DE PROCESSAMENTO DO ARROZ INTEGRAL

As amostras de arroz integral foram submetidas a três métodos de processamento, sendo eles: I) hidratação e secagem; II) hidratação, congelamento e secagem e III) polimento parcial.

Definiu-se como o mais adequado, o método que apresentou maior efeito redutor sobre o tempo de cocção, sem afetar negativamente as características tecnológicas do arroz integral.

2.2.1 HIDRATAÇÃO E SECAGEM

Foram realizados 11 ensaios utilizando amostras de 300 g de arroz integral em cada um, as quais foram acondicionadas em embalagens de polietileno, e condicionadas para diferentes graus de umidade por meio da adição de volumes de água calculados através da equação 1.

$$\text{Quantidade de água} = \left[\left(\frac{100 - UI}{100 - UF} \right) - 1 \right] \times \text{peso da amostra} \quad (1)$$

Em que:

UI = umidade inicial das amostras;

UF = umidade final das amostras.

Após isso as amostras foram armazenadas sob refrigeração (8 °C) por 24 horas, e posteriormente secas em estufa de circulação de ar forçada até atingir a umidade final de aproximadamente 9,0%.

A quantidade de água de hidratação e a temperatura de secagem de cada ensaio foram estabelecidas por meio de um planejamento estatístico do tipo composto central rotacional completo 2², conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Matriz do delineamento experimental fatorial para duas variáveis e dois níveis; seus valores codificados e reais de umidade e temperatura de secagem

Ensaio	Valores codificados		Valores reais	
	Umidade (%)	Temperatura de secagem (°C)	Umidade (%)	Temperatura de secagem (°C)
1	-1	-1	16	32
2	1	-1	24	32
3	-1	1	16	44
4	1	1	24	44
5	-1,41	0	14,4	38
6	1,41	0	25,6	38
7	0	-1,41	20	30
8	0	1,41	20	46
9C	0	0	20	38
10C	0	0	20	38
11C	0	0	20	38

*C: Pontos centrais.

Fonte: o autor.

Além dos 11 ensaios foi realizado outro ensaio contendo a mesma quantidade de amostra, mas que não foi submetido a secagem e nem adicionado de água, servindo como ensaio padrão.

As variáveis resposta foram o rendimento de grãos inteiros, grau de umidade, índice de fissuras, perfil colorimétrico, índice de acidez e tempo mínimo de cocção.

2.2.2 HIDRATAÇÃO, CONGELAMENTO E SECAGEM

Foram realizados quatro ensaios utilizando-se amostras de 100 g de arroz integral para cada um, as quais foram acondicionadas em embalagens de

polietileno. Os ensaios foram os seguintes: ensaio controle (ensaio 1), o qual não foi submetido a nenhuma das condições do método; ensaio 2 com 10% de umidade, que não foi submetido a hidratação, porém foi congelado e seco; e mais dois ensaios (ensaio 3 e 4) que foram condicionados com 20 e 30% de umidade respectivamente, congelados e secos. O congelamento das amostras ocorreu de forma lenta, por período de 4 dias, em freezer (CÔNSUL, CVU26DBBNA10).

Após o congelamento completo das amostras, estas foram descongeladas lentamente em temperatura ambiente até atingirem uma temperatura de aproximadamente 25 °C, e posteriormente foram secas em estufa de circulação de ar forçada a 38 °C, até atingirem a umidade final de aproximadamente 9,0%.

2.2.3 POLIMENTO PARCIAL

Foram feitos 7 ensaios utilizando amostras de 77 g de arroz integral para cada um, as quais por meio do engenho de provas foram polidas por diferentes tempos estabelecidos em pré-testes, sendo removidos 0, 1, 2, 4, 6, 8 e 10 % do percentual de farelo, conforme está apresentado na Tabela 2. O ensaio 1 corresponde a amostra controle, a qual não foi polida, e portanto seu percentual de remoção do farelo foi de 0%. Enquanto o ensaio 7 foi a amostra de arroz polido.

Tabela 2 – Tempo de polimento e percentual de remoção do farelo, dos ensaios individuais

Ensaio	Tempo de polimento (segundos)	Grau de polimento (%)
1	0	0
2	4	1
3	6	2
4	12	4
5	20	6
6	25	8
7	40	10

Fonte: o autor.

2.3 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS TECNOLÓGICOS DO ARROZ INTEGRAL

Após a aplicação dos métodos de processamento, avaliou-se os parâmetros tecnológicos de cada um dos ensaios, a partir das seguintes análises:

2.3.1 RENDIMENTO DOS GRÃOS

A determinação do rendimento dos grãos foi realizada em engenho de provas, separando-se os grãos inteiros dos quebrados por meio de trieur número 1, com tempo de duração de 90 segundos.

2.3.2 GRAU DE UMIDADE

O grau de umidade das amostras foi determinado utilizando-se 5 g de amostra moída em moinho analítico (IKA, A11BS32), em triplicata, por meio do determinador de umidade por infravermelho, *Infrared* (Ohaus, MB25), com uma temperatura de medição de 130 °C por 10 minutos.

2.3.3 ÍNDICE DE FISSURAS

O índice de fissuras foi determinado segundo a metodologia proposta por Cnossen, Jiménez e Siebenmorgen (2003), em quadruplicata, avaliando-se 25 grãos inteiros, em cada repetição, para cada ensaio. Com auxílio de uma caixa de luz com paredes e fundo escuro, com tampa de vidro, verificou-se visualmente a existência de fissuras internas nos grãos, contabilizando-se o número total de fissuras e expressando-o em porcentagem.

2.3.4 PERFIL COLORIMÉTRICO

Os perfis colorimétricos dos grãos de arroz integral foram determinados a partir da determinação da cor instrumental com o colorímetro, utilizando-se os parâmetros do sistema de medição de cores CIELAB, no qual L* indica a luminosidade e a* e b*, as coordenadas cromáticas vermelho/verde e amarelo/azul,

respectivamente. Com os valores obtidos das coordenadas a^* e b^* , calculou-se o ângulo de tonalidade, Hue ($h_{ab} = \tan^{-1} b^*/a^*$), e também o valor de Croma ($C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$), que corresponde a saturação da cor (KONICA MINOLTA SENSING INC, 2007).

2.3.5 ÍNDICE DE ACIDEZ

O índice de acidez foi determinado conforme o método 415/IV de determinação de acidez álcool-solúvel, do Instituto Adolfo Lutz (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008), após um período posterior de 7 a 9 dias depois da secagem das amostras de arroz integral, as quais foram armazenadas em temperatura ambiente. Os resultados foram expressos em mg de KOH/g de amostra.

2.3.6 TEMPO DE COCÇÃO DO ARROZ INTEGRAL

Os efeitos dos métodos de processamento aplicados, sobre o tempo de cocção do arroz integral, foram avaliados em triplicata para cada ensaio, através da análise de determinação do tempo mínimo de cocção, conforme a metodologia de Juliano e Bechtel (1985) apud Paraginski (2014), com modificações. Resumidamente, 10 g de amostra de arroz integral foram cozidas com água deionizada ($98 \pm 1^\circ\text{C}$), em cápsula de alumínio de 250 mL, sob chapa de aquecimento. O tempo de cocção começou a ser cronometrado no mesmo instante em que os grãos foram imersos na água aquecida. Decorridos 10 minutos de cozimento, de minuto a minuto, 10 grãos de arroz inteiros foram retirados e comprimidos entre duas placas de vidro. O tempo mínimo de cocção foi definido quando ao menos 90% dos grãos já não continham mais o centro opaco ou não cozido, e expresso em minutos.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A avaliação dos resultados obtidos na aplicação do método de processamento combinado de hidratação e secagem foi feita utilizando-se o programa estatístico Statistica 5.0 (Statsoft, USA). A partir do mesmo, avaliou-se os efeitos das variáveis independentes, calculou-se os coeficientes de regressão (R^2),

fez-se a análise de variância (ANOVA), e construiu-se as superfícies de resposta a nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Quanto a avaliação dos resultados encontrados no uso dos métodos de processamento combinado de hidratação, congelamento e secagem; e polimento parcial do arroz integral, utilizou-se o programa Microsoft Excel® 2013, para tabular os dados, calcular os coeficientes de regressão (R^2) e construir os gráficos de linha de tendência.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 HIDRATAÇÃO E SECAGEM

Os resultados obtidos nos diferentes ensaios do delineamento experimental da aplicação do método combinado de hidratação e secagem, foram significativos para os parâmetros: tempo de secagem, índice de fissuras, tempo mínimo de cocção e valores de Croma (Figura 1). Observa-se que dependendo do ensaio, os valores de tempo de secagem variaram entre 2,4 a 8,3 horas; o índice de fissuras entre 51 e 97%; o tempo mínimo de cocção entre 14 e 20 minutos; e os valores de Croma entre 14,20 e 17,97. Os modelos completos de 2ª ordem para os valores destes parâmetros mostraram-se estatisticamente significativos ($p < 0,05$). De forma respectiva, a análise de variância dos parâmetros significativos (Equações 2, 3, 4 e 5) indicou um bom ajuste dos modelos aos dados, garantindo a validade das predições efetuadas.

$$\text{Tempo de secagem} = 5,45 + 1,07x_1 - 0,49x_1^2 - 1,90x_2 - 0,15x_2^2 - 0,40x_1 \cdot x_2 \quad (2)$$

(R^2 97,86%)

$$\text{Índice de fissuras} = 79 + 13,50x_1 - 2,87x_1^2 + 3,36x_2 + 5,37x_2^2 - 2,75x_1 \cdot x_2 \quad (3)$$

(R^2 93,88%)

$$\text{Tempo mínimo de cocção} = 18 - 1,38x_1 - 0,62x_1^2 + 0,07x_2 - 0,12x_2^2 + 1x_1 \cdot x_2 \quad (4)$$

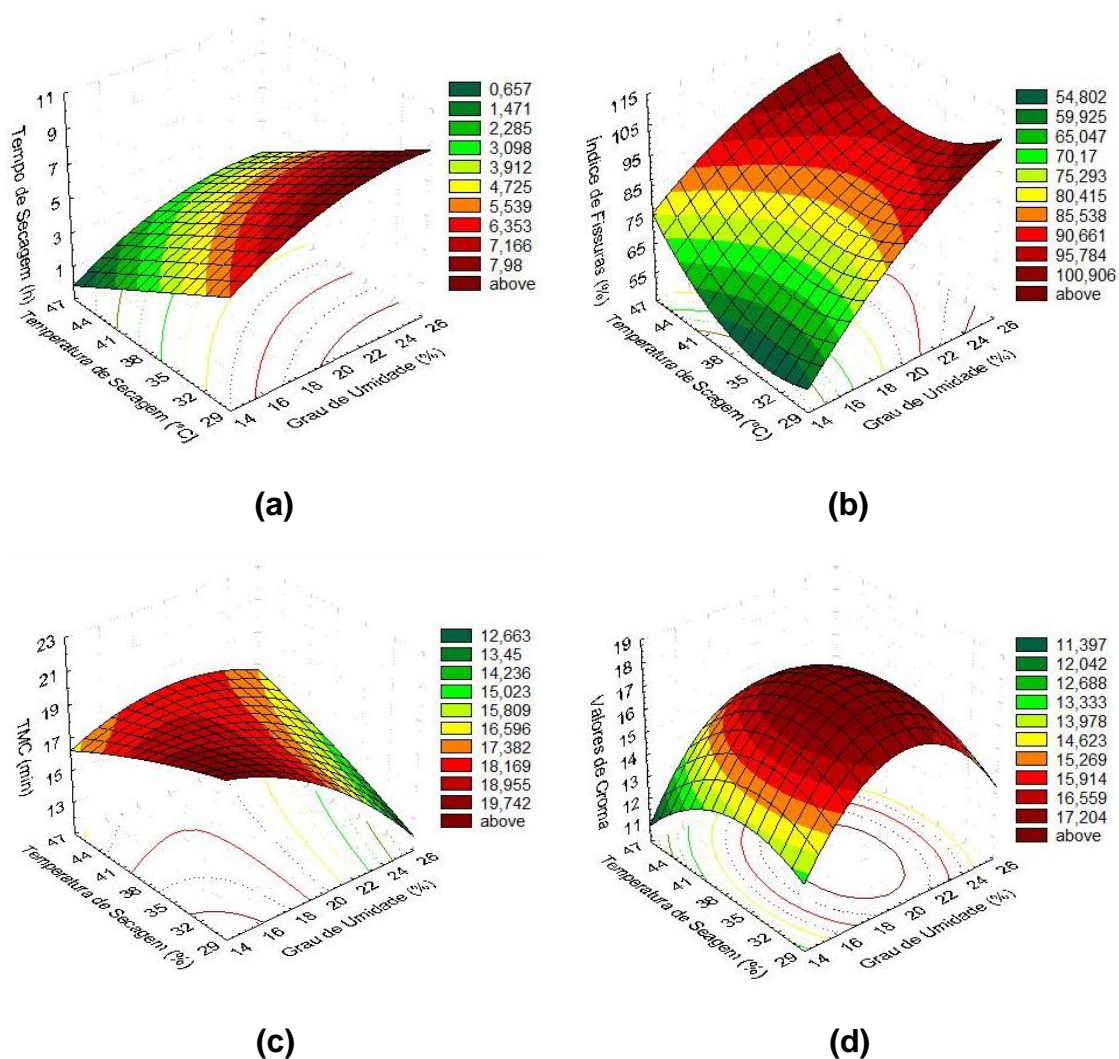
(R^2 75,15%)

$$\text{Croma} = 17,75 + 0,29x_1 - 1,62x_1^2 - 0,55x_2 - 0,79x_2^2 + 0,12x_1 \cdot x_2 \quad (5)$$

(R² 86,74%)

Onde: x₁ = Teor de umidade (%); x₂ = Temperatura de secagem (°C)

Figura 1 – Superfícies de resposta do tempo de secagem (a), do índice de fissuras (b), do tempo mínimo de cocção (c) e dos valores de croma da cor (d) em amostras de arroz integral submetidos a diferentes condições de hidratação e secagem.



Fonte: o autor.

Observa-se que dentre os fatores estudados, quanto maior o grau de umidade das amostras e menor a temperatura de secagem houve um aumento no tempo de secagem das mesmas (Figura 1a). Tal fato é decorrente da cinética de secagem do

grão, a qual é dependente da matriz do mesmo, da umidade inicial e das variáveis temperatura, velocidade e umidade do ar (CELESTINO, 2010).

Por serem higroscópicos, os grãos de arroz podem absorver ou perder umidade em razão do conteúdo desta nos mesmos, ou no ambiente ao seu redor. Essa característica é controlada pela pressão de vapor, a qual é constituída pelas moléculas de água que evaporam do grão e são absorvidas pelo ar atmosférico, e vice-versa. Quando a pressão de vapor torna-se constante passa a ser chamada de pressão de saturação, sendo esta a força que provoca a constante manutenção do equilíbrio entre o grau de umidade do grão com a umidade relativa do ambiente (SANTOS; STONE; VIEIRA, 2006).

A redução no conteúdo de umidade dos grãos é alcançada devido ao aumento da temperatura durante a secagem elevar a capacidade do ar de absorver a umidade evaporada dos grãos. Fazendo com que a água presente no interior destes migre para o ar de secagem, o qual é movimentado para que ocorra uma contínua substituição deste por mais ar seco. Este processo ocorre até os grãos atingirem o seu equilíbrio higroscópico. Neste ponto a troca de umidade dos grãos com o ar do ambiente é interrompida, pois a pressão de vapor de ambos são iguais (PORTELLA; EICHELBERGER, 2001; SANTOS; STONE; VIEIRA, 2006). Desta forma, os grãos adquirem estabilidade para serem armazenados. Segundo Silva et al. (2014), a estabilidade é atingida conforme o conteúdo de água de equilíbrio dos grãos, o qual é em torno de 13%.

Entretanto, as condições do processo de secagem interferem diretamente nas características inerentes aos grãos de arroz. O tempo desta, se prolongado pode provocar o desenvolvimento de microrganismos e o aumento da incidência de defeitos de origem metabólica, diminuindo a qualidade dos grãos (BARBOSA et al., 2009). Assim como se as temperaturas utilizadas forem elevadas haverá uma brusca diminuição no grau de umidade dos grãos, influenciando nas suas características físicas. Entre estas características, o desenvolvimento de fissuras corresponde a formação de rachaduras internas nos grãos, originadas pelos gradientes de umidade e temperatura durante o cultivo, colheita, secagem e armazenamento (TALHAFERRO, 2016).

Um alto índice de fissuras foi observado no presente estudo, evidenciando-se que de forma proporcional ao aumento do grau de umidade e da temperatura de

secagem das amostras, houve elevação no índice de fissuras (Figura 1b). Este comportamento ocorreu devido a tensões no interior dos grãos, geradas pela hidratação e secagem dos grãos. De acordo com Thompson (200-) quando grãos secos até uma faixa de umidade crítica são submetidos a condições de alta umidade, como na hidratação, seu endosperma ainda é flexível e pode expandir sem causar danos internos. Porém quando são secos novamente até um grau de umidade abaixo do teor crítico, gera-se estresse mecânico acima do limite de força do endosperma podendo causar a quebra ou formação de fissuras no grão.

Em seu estudo, Talhaferro (2016) encontrou resultados semelhantes em grãos de arroz irrigado, o aumento da temperatura de secagem acima de 38°C aumentou significativamente o índice de fissuras. Corroborando com os resultados encontrados por Menezes et al. (2012) que avaliou os efeitos de diferentes temperaturas de secagem sobre a integridade física, qualidade fisiológica e composição química de sementes de arroz, e constatou que o aumento na temperatura de secagem promoveu o aumento no índice de fissuras.

Temperaturas de massa de grãos superiores a 38°C não são recomendadas para a realização da secagem, em razão da provável ocorrência de choque térmico (SOSBAI, 2018), a qual pode resultar na quebra dos grãos.

O índice de fissuras também é diretamente influenciado pela relação da temperatura com o gradiente de umidade. No processo de secagem dos grãos de arroz, estes não são secos de forma uniforme, o que ocasiona a diferença de temperatura de transição vítrea entre eles. Em temperaturas inferiores a temperatura de transição vítrea o amido do grão está na forma vítrea. Já em temperaturas maiores que esta, o amido passa para o estado emborrachado, no qual possui maior difusividade, calor e volume específico, e coeficiente de expansão térmica. Tais diferenças nas características de cada estado do amido em diferentes regiões do endosperma do grão, possibilita a formação de fissuras (YANG, et al., 2003; PERDON; SIEBENMORGEN; MAUROMOUSTAKOS, 2000).

Os resultados do tempo mínimo de cocção (Figura 1c) demonstram que o maior grau de umidade das amostras resultou em um menor tempo mínimo de cocção. O que provavelmente está diretamente relacionado ao alto índice de fissuras ocasionado pela correlação entre o crescimento da temperatura e do grau de umidade das amostras de arroz integral. A ocorrência de fissuras nos grãos

aumentou a absorção de água, aumentando a gelatinização do amido, e reduzindo o tempo de cozimento.

A influência das fissuras sobre a redução do tempo de cozimento foi demonstrada no estudo de Mohoric et al. (2004), no qual por meio de imagens de ressonância magnética pode-se observar que a gelatinização do amido ocorreu mais rapidamente nas regiões das fissuras, devido a maior velocidade de absorção de água nestas regiões.

A indução de formação de fissuras mediada pela hidratação e desidratação dos grãos, é um dos fatores e fenômenos físico-químicos usados em técnicas de produção de arroz de cozimento rápido ou instantâneo (BATISTA; SANTOS; VANIER, 2018). Contudo é escasso o número de estudos na literatura, em relação as características tecnológicas e de cocção do arroz integral, visto que a maioria dos estudos são realizados com arroz integral parboilizado ou pré-cozido antes da secagem, que não apresentam o mesmo comportamento de cocção.

Neste estudo, o menor tempo mínimo de cocção foi de 14 minutos, sendo este 30% menor que o tempo mínimo de cocção do ensaio controle que foi de 20 minutos (Figura 1c). Em um estudo recente Batista et al. (2019) ao desenvolver um arroz integral de cocção rápida, o qual foi completamente cozido e posteriormente seco, encontrou tempos mínimos de cocção entre 5,5 e 10,9 minutos. Revelando uma diferença de 3,1 minutos entre o seu maior tempo e o menor tempo mínimo de cocção do arroz integral estudado, que foi apenas hidratado e seco.

Dentre os atributos de cor, somente o valor do croma foi significativo, sendo influenciado pela umidade e temperatura nos diferentes ensaios. Os maiores valores de Croma situaram-se na região do ponto central, com valores próximos a 17 (Figura 1d), indicando que dependendo do ensaio houve diminuição na intensidade da cor do arroz integral. No entanto não houve variação significativa nos valores do ângulo de tonalidade (Hue) e no valor de L* (luminosidade). Os modelos para estes parâmetros apresentaram coeficientes de regressão de 48,55% e 41,61%, ambos não significativos dentro das condições estudadas. O que indicou falta de ajuste dos modelos aos dados, não sendo possível apresentá-los. Demonstrando que as amostras de arroz integral mantiveram a coloração amarelo castanho.

A diminuição na intensidade do valor de Croma também foi relatada por Le e Jittanit (2015) que estudou a otimização das condições operacionais da produção de

arroz integral instantâneo com micro-ondas seguido de secagem convectiva por ar quente, e constatou que houve diminuição de intensidade na cor do arroz integral, considerando a causa desta como o sendo decorrente do tempo de secagem mais longo.

De forma sequencial os demais parâmetros tecnológicos o modelo matemático não apresentaram significância no modelo, tais como: grau de umidade, porcentagem de grãos inteiros, porcentagem de grãos quebrados e índice de acidez (Tabela 3) apresentaram coeficientes de regressão de 33,56%, 60,60%, 54,23% e 67,80%. O que indica falta de ajuste dos modelos aos dados, não sendo possível apresentá-los.

Tabela 3 – Parâmetros tecnológicos das amostras de arroz integral após a hidratação e secagem, que não apresentaram significância no modelo

Ensaio	Umidade (%)	Grãos inteiros (%)	Grãos quebrados (%)	Índice de acidez (mg de KOH/ g de amostra)
1	11,33±0,15	97,70±0,32	2,45±0,36	0,44±0,03
2	11,07±0,20	97,61±0,15	2,52±0,17	0,50±0,02
3	11,30±0,29	97,86±0,34	2,29±0,33	0,51±0,05
4	11,10±0,01	97,45±0,12	2,63±0,15	0,54±0,08
5	10,86±0,12	97,83±0,07	2,27±0,07	0,41±0,02
6	10,66±0,12	97,67±0,11	2,43±0,12	0,39±0,01
7	11,33±0,15	97,64±0,14	2,40±0,15	0,39±0,01
8	10,90±0,09	97,77±0,11	2,19±0,12	0,55±0,02
9	11,27±0,32	97,52±0,35	2,53±0,41	0,42±0,05
10	10,56±0,11	97,78±0,13	2,36±0,12	0,38±0,01
11	11,20±0,10	97,48±0,27	2,64±0,29	0,43±0,03
12*	10,05±0,28	97,46±0,20	2,57±0,21	0,56±0,08

*Ensaio controle.

Fonte: o autor.

Embora os modelos matemáticos não tenham sido significativos, os parâmetros apresentados exibiram valores desejados. Como esperado, a variação do grau de umidade das amostras de arroz integral não foi significativa, pois todas foram secas até o mesmo grau de umidade final de aproximadamente 9,0%. Estes valores estão próximos ao da amostra controle e dentro da faixa de umidade

recomendada pela legislação para a comercialização de arroz beneficiado, que é de no máximo 14% (BRASIL, 2009).

De forma semelhante os resultados do rendimento dos ensaios, correspondente ao percentual de grãos inteiros e quebrados, também não apresentou variação significativa, e nem diferiu dos valor do ensaio controle. Contrastando com o alto índice de fissuras encontrado, o qual é conhecido pela influência sobre o aumento da quebra dos grãos de arroz.

Como já relatado o alto índice de fissuras é oriundo da variação dos gradientes de temperatura e umidade, sendo descrito por Akowuah, Addo e Bart-Plange (2012) como um interferente na qualidade do beneficiamento do arroz em casca, que reduz o rendimento.

Diante disto pode-se supor que o rendimento de grãos inteiros dos ensaios não foi reduzido devido estes serem integrais, e não terem passado pela etapa de polimento. Visto que nesta etapa os impactos mecânicos aliados as fissuras poderiam resultar na maior quebra dos grãos de arroz, diminuindo assim o seu rendimento.

O entendimento e a minimização das fissuras é um objetivo das indústrias arroseiras em função de que o rendimento de grãos inteiros é uma importante característica de determinação da qualidade do arroz (ODEK, 2017). Um alto rendimento de grãos inteiros é importante economicamente para as indústrias de beneficiamento devido a estes possuírem maior valor comercial (TELÓ et al., 2011).

A variação não significativa nos índices de acidez (Tabela 3) também foi um resultado desejado, dado este que demonstra que as condições do método de processamento estudado não favoreceram a atividade de enzimas lipoxigenase e lipase que degradam os lipídios. Por ser coberto pela camada de farelo onde estão situados os lipídios e as enzimas que os degradam, o arroz integral possui uma menor vida útil devido a ação destas induzir a reação de rancidez (CHEN; BERGMAN; MCCLUNG, 2019). Esta reação de degradação dos lipídios forma ácidos graxos livres, os quais são quantificados para expressar a acidez do produto (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Os valores de acidez encontrados foram menores que o encontrado por Pestana (2007) em farelo de arroz parboilizado, o qual foi de 1,27 mg de KOH/g. Isto

indica que não houve a ocorrência de reações de degradação dos lipídios durante o período entre o término da secagem das amostras e a realização da análise.

3.2 HIDRATAÇÃO, CONGELAMENTO E SECAGEM

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos ensaios submetidos ao método de processamento combinado de hidratação, congelamento e secagem em estufa de circulação de ar forçada a 38 °C.

Tabela 4 – Parâmetros tecnológicos das amostras de arroz integral após a hidratação, congelamento e secagem

Ensaio	Umidade (%)	Grãos inteiros (%)	Grãos quebrados (%)	Fissuras (%)	Tempo mínimo de cocção (minutos)
1	10,05±0,28 ^b	97,46	2,57	2,0±0,58 ^c	20,00±0,00 ^b
2 (10%)	10,76±0,24 ^a	96,60	2,76	10,0±1,00 ^b	22,00±0,00 ^a
3 (20%)	10,57±0,20 ^{ab}	95,89	3,33	100±0,00 ^a	18,33±0,58 ^c
4 (30%)	10,50±0,10 ^{ab}	92,08	7,08	100±0,00 ^a	16,67±0,58 ^d

1: ensaio controle; 2: grãos integrais congelados com 10% de umidade; 3: grãos integrais congelados com 20% de umidade; 4: grãos integrais congelados com 30% de umidade; Valores na mesma coluna com letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: o autor.

A umidade final do ensaio 4 após a secagem mostrou variação significativa em relação ao ensaio controle (Tabela 4), no entanto os valores de umidade de todos os ensaios estão dentro da faixa de conservação recomendada para a comercialização do arroz beneficiado, que é de no máximo 14% (BRASIL, 2009).

As amostras de arroz integral utilizadas no presente estudo foram obtidas de marca comercial, portanto já haviam sido secas. Ao submetê-las a hidratação para condicioná-las a crescentes graus de umidade, objetivou-se favorecer o crescimento de cristais de gelo maiores durante o congelamento, e aumentar o grau de umidade para que na posterior secagem fosse formado um maior número de fissuras, a fim de que estas aumentassem a absorção de água e diminuíssem o tempo mínimo de cocção do arroz integral.

Condizentes com os objetivos da aplicação do método combinado de hidratação, congelamento e secagem, o índice de fissuras aumentou

significativamente, de acordo com o aumento do grau de umidade em que as amostras de arroz integral foram condicionadas. Refletindo num proporcional decréscimo do percentual de grãos inteiros, e de forma inversa, num acréscimo de grãos quebrados, afetando o rendimento (Tabela 4). Possivelmente este comportamento ocorreu em função do rompimento das células do amido, decorrente da formação de maiores cristais de gelo formados pelo congelamento lento. O congelamento lento produz cristais de gelo maiores, que causam mais danos a estruturas celulares quando comparados com o congelamento rápido (YU; MA; SUN, 2010).

Também concordante aos objetivos do estudo, os ensaios apresentaram diminuição no tempo mínimo de cocção, de forma proporcional ao aumento do grau de umidade de condicionamento e do índice de fissuras (Tabela 4). O tempo mínimo de cocção do ensaio 4 (30% de umidade) exibiu redução de 16,65%, passando de 20 minutos no ensaio controle para 16,67 minutos no respectivo ensaio.

Segundo Yu, Ma e Sun (2010) a secagem e o congelamento resultam numa estrutura porosa após a reidratação e descongelamento. Conforme exposto por Wu et al. (2016) em seu estudo histológico sobre os efeitos da camada de aleurona no cozimento do arroz, a porosidade foi responsável pela maior taxa de absorção de água, sendo esta o principal determinante para controlar a qualidade do arroz cozido.

O processo de congelamento e secagem interferiu nos parâmetros de cor das amostras de arroz integral, promovendo o aumento dos valores de L* de 57,02 para 66,8; de Croma de 16,17 para 18,21; e reduziu os valores do ângulo Hue de 84,70 para 81,48, em comparação ao ensaio controle (Tabela 5). Verificando-se que as amostras de arroz integral passaram da coloração amarelo castanho no ensaio controle para amarelo castanho claro nos demais ensaios.

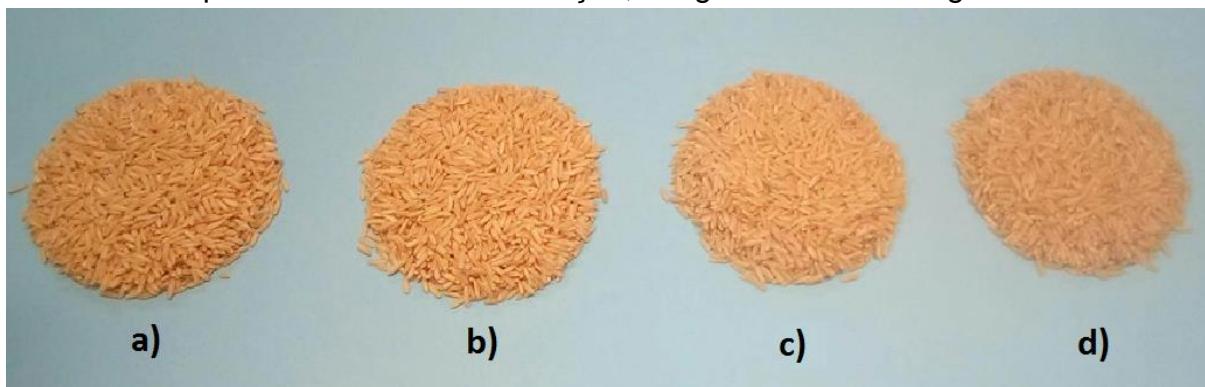
Tabela 5 - Parâmetros colorimétricos das amostras de arroz integral após a hidratação, congelamento e secagem

Ensaio	Ângulo de tonalidade (Hue)	Croma	L* (luminosidade)
1	84,70±1,18 ^a	16,17±0,29 ^b	57,02±0,68 ^c
2 (10%)	81,47±0,75 ^b	16,90±0,73 ^b	62,58±0,43 ^b
3 (20%)	81,55±0,78 ^b	18,02±0,09 ^a	66,50±0,31 ^a
4 (30%)	81,76±0,46 ^b	18,21±0,29 ^a	66,81±0,18 ^a

1: ensaio controle; 2: grãos integrais congelados com 10% de umidade; 3: grãos integrais congelados com 20% de umidade; 4: grãos integrais congelados com 30% de umidade; Valores na mesma coluna com letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: o autor.

Uma possível causa para a mudança de coloração das amostras de arroz integral, é de que esta ocorreu devido a presença das ceras presentes na camada de farelo. Quimicamente as ceras são ésteres de ácidos graxos de cadeia longa com um álcool graxo de cadeia longa (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2012) e possuem ponto de fusão entre 77-79 °C (DASSANAYAKE, et al., 2009), sendo removidas do óleo de arroz por um processo denominado de Winterização, no qual por meio de resfriamento do óleo cristaliza as ceras, que são retiradas através de filtração (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2012). Semelhante a este processo, as condições do método de processamento combinado de hidratação, congelamento e secagem provavelmente promoveram a cristalização das ceras ao congelar os grãos de arroz integral, as quais depositaram-se na superfície destes, o que explica a alteração da cor, tornando as amostras mais opacas (Figura 2).

Figura 2 – Mudanças de coloração das amostras de arroz integral após o processamento de hidratação, congelamento e secagem.



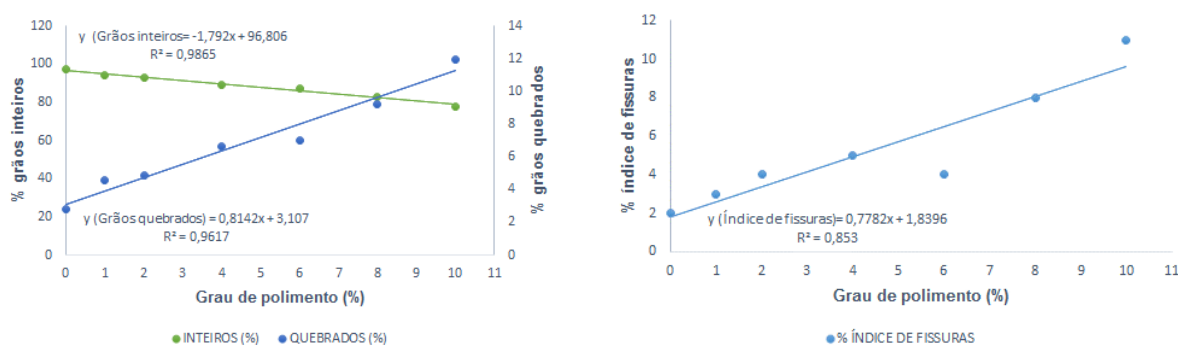
a) Ensaio controle; b) Ensaio condicionado a 10% de umidade antes do congelamento; c) Ensaio condicionado a 20% de umidade antes do congelamento; d) Ensaio condicionado a 30% de umidade antes do congelamento. Fonte: o autor.

3.3 POLIMENTO PARCIAL

Através de análise de tendência, considerando-se como significativos os efeitos que apresentaram R^2 superiores a 0,75, verificou-se os efeitos da aplicação do método de polimento parcial sobre os parâmetros avaliados.

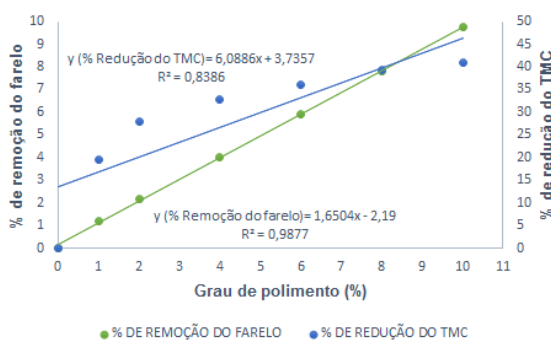
A umidade dos ensaios exibiu valores de 10,05% a 12,09%, não apresentando comportamento linear positivo em relação ao aumento do grau de polimento das amostras (R^2 de 0,71), estando dentro da faixa de 14% de umidade recomendada pela legislação para a comercialização do arroz beneficiado (BRASIL, 2009).

Figura 3 – Tendências dos parâmetros tecnológicos das amostras de arroz integral submetidas a diferentes graus de polimento (a), do rendimento (b), do índice de fissuras e (c) da redução do tempo mínimo de cocção



(a)

(b)



(c)

Fonte: o autor.

Na figura 3a, observa-se que quanto maior o grau de polimento das amostras de arroz integral, menor foi o rendimento dos ensaios, havendo aumento no percentual de grãos quebrados e diminuição no percentual de grãos inteiros. O que pode ser justificado pelo alto índice de fissuras que apresentou comportamento linear positivo em relação ao grau de polimento (R^2 0,85) (Figura 3b), sendo este associado ao aumento da quebra dos grãos de arroz, o que consequentemente reduz o rendimento. Como explanado por Cnossen, Jiménez, Siebenmorgen (2003), a incidência de fissuras nos grãos constitui-se como um dos principais problemas da indústria de arroz pois reduz o percentual de grãos inteiros, os quais são determinantes no valor comercial do arroz.

No processo de polimento são removidos de 7 a 12% do farelo do grão de arroz, podendo essa fração de remoção ser maior ou menor dependendo das exigências do mercado (PAIVA, 2014). Neste estudo estudou-se os efeitos da faixa de remoção de 0 a 10% do farelo (Tabela 2), sobre o tempo de cocção e nas características tecnológicas do arroz integral. Com os resultados obtidos pôde-se traçar a tendência dos efeitos do grau de polimento, notando-se uma correlação linear positiva (R^2 de 0,98) de influência deste sobre o aumento do percentual de redução do tempo mínimo de cocção do arroz parcialmente polido (R^2 de 0,83) (Figura 3c). Esta correlação coincide com a explicação de Billiris et al. (2012) que conferiu a menores graus de polimento a atribuição de fator limitante na cinética de absorção de água do endosperma que afeta a taxa de cozimento do arroz.

Refletindo o efeito desta correlação, os ensaios com os graus de polimento mínimos, o ensaio 2 (1%), 3 (2%) e 4 (4%) possuíram tempos mínimos de cocção de 16,33, 14,67 e 13,67 minutos, sequencialmente apresentando uma redução no seu tempo mínimo de cocção de 18,35%, 26,65% e 31,65%, em comparação com o ensaio controle (Figura 3c).

Os ensaios com graus de polimento maiores, os ensaios 5 (6%), 6 (8%) e 7 (10%), não diferiram estatisticamente entre si, apresentando valores de tempo mínimo de cocção de 13, 12,33 e 12 minutos, e valores de redução deste de 36,05%, 39,35% e 40,97%, respectivamente (Figura 3c). Esta redução no tempo mínimo de cocção foi maior do que as dos resultados encontrados por Monks et al. (2013) para os mesmos dois maiores graus de polimento estudados (8 e 10%). Os valores dos tempos mínimos de cocção obtidos por ele foram de 28 minutos para o

arroz integral e 19 minutos para os ensaios com graus de polimento de 8 a 14%, não havendo diferença significativa entre os parcialmente polidos.

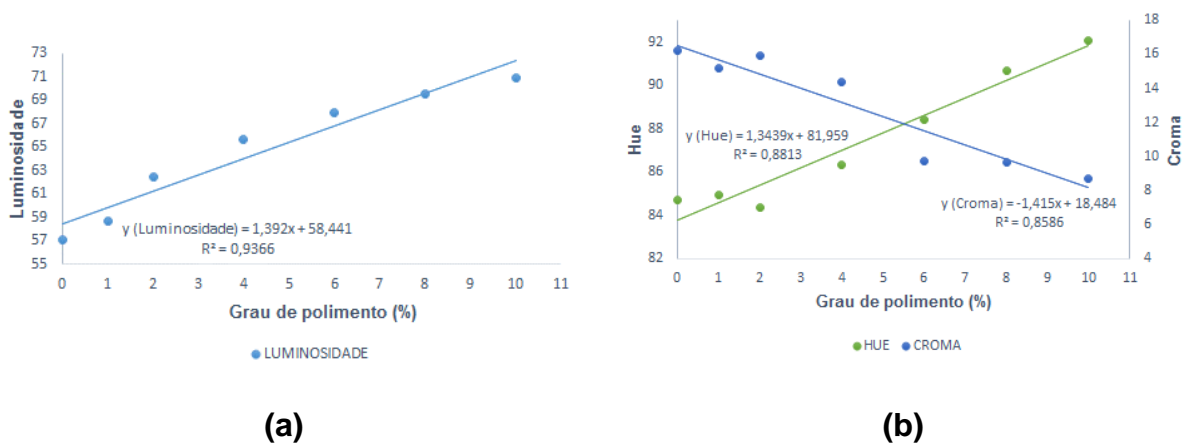
A legislação brasileira não estabelece uma definição específica para o arroz parcialmente polido, assim como limites para o grau de polimento do arroz. Neste estudo considerou-se como arroz polido, os ensaios com graus de polimento dentro da faixa de 8 a 14%, conforme reportado por Monks et al. (2013) como sendo a faixa mais utilizada pelas indústrias de arroz brasileiras para o polimento do arroz.

Mesmo não considerando-se os demais ensaios com graus de polimento menores como arroz polido, estes não podem ser considerados como sendo arroz integral, pois segundo a legislação essa definição é atribuída aos grãos de arroz que somente foram descascados (BRASIL, 2009). Porém estes ainda apresentam a camada de farelo em frações diferentes, a qual somente o arroz na sua forma integral possui. Na camada de farelo estão situados importantes compostos nutricionais do arroz (BASSINELO; CASTRO, 2004). Embora não tenham sido avaliadas as mudanças nas características nutricionais oriundas do processamento de polimento parcial do arroz, com base em estudos que relacionam o aumento do grau de polimento com o decréscimo do conteúdo de nutrientes (MONKS et al., 2010; PAIVA, 2014) presume-se que a remoção mínima do farelo do grão mantém parte destes compostos, favorecendo nutricionalmente o consumo do arroz.

Desta forma pode-se supor que os ensaios com menores taxas de remoção do farelo apresentam vantagens do ponto de vista nutricional, sobre os demais ensaios com maior grau de polimento, embora o seu tempo mínimo de cocção tenha sido superior.

A cor das amostras de arroz integral foi influenciada pela remoção do farelo. Observa-se que o aumento no grau de polimento promoveu aumento nos valores de L (luminosidade), que passou de 57 para 70 (Figura 4a), o ângulo de tonalidade aumentou de 84 para 92, enquanto que os valores de croma reduziram de 16 para 8 (Figura 4b). Isso interferiu na coloração das amostras, que passaram de amarelo castanho para branco acinzentado. A mudança na coloração decorreu em função do incremento no valor de L^* , que é causado pelo aumento do grau de polimento, que segundo Itani et al. (2002) acontece devido aos pigmentos do arroz estarem situados de forma predominante nas camadas externas do grão, cuja a fração de remoção aumenta de forma proporcional ao aumento do grau de polimento.

Figura 4 – Tendências dos parâmetros colorimétricos das amostras de arroz integral submetidas a diferentes graus de polimento (a), dos valores de L* (b), dos ângulos Hue e Cromo



Fonte: o autor.

De acordo com Mohapatra e Bal (2007) a maior parte dos consumidores tem preferência pelo arroz branco com alto grau de polimento, com pouco ou nenhum farelo restante no endosperma, sendo a cor do arroz um determinante na sua qualidade, influenciando no preço do mesmo.

4. CONCLUSÃO

Constatou-se que os três métodos estudados tiveram efeitos sobre o tempo de cocção e nas características tecnológicas do arroz integral. De forma positiva todos os processos aumentaram a absorção de água do arroz integral, diminuindo o seu tempo mínimo de cocção.

O método de polimento parcial foi o que apresentou maior efeito redutor sobre o tempo de cocção do arroz integral, como também melhorou o atributo de cor deste, pois a tornou mais clara, o que é uma característica que influi na preferência dos consumidores. Porém provavelmente diminuiu o valor nutricional do arroz integral. No entanto, juntamente com o processamento combinado de hidratação seguida do congelamento e secagem, foram os dois processamentos que impactaram negativamente no importante parâmetro formador do preço comercial do arroz, o

rendimento de grãos inteiros. Além disso, a aplicação destes métodos implicaria na inclusão de etapas adicionais ao processo, aumentando os custos operacionais.

O método de processamento de hidratação seguida de secagem apresentou o segundo melhor efeito redutor sobre o tempo mínimo de cocção do arroz integral, e não diminuiu o rendimento de grãos inteiros. Portanto conclui-se que dentre os métodos estudados, este foi o que influenciou de maneira mais positiva os parâmetros de qualidade do arroz integral.

EFFECTS OF DIFFERENT PROCESSING METHODS ON COOKING TIME AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF BROWN RICE

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effects of different processing methods on the cooking time and on the technological characteristics of brown rice. The methods studied were: I) hydration and drying (HD); II) hydration, freezing and drying and (HFD) and III) partial grain polishing (PGP). Being performed assessments of yield, degree of humidity, index of cracks (IC), colorimetric profile, acidity index and minimum cooking time (MCT). The results demonstrated that the HD method increased the IC that went from 2% in the standard sample to 97%, and decreased the MCT from 20 to 14 minutes, not influencing the moisture contents which remained around 10%, on yield of whole and broken grains which presented values around 97.70% and 2,50% respectively, and at the acid value which was around 0.55 mg KOH / g sample. Similarly, the HFD method increased the IC, decreased MCT from 20 to 16 minutes, reduced whole grains and increased broken grains. In the case of PGP, there was an increase in the IC and decreased of MCT, from 20 to 12 minutes in the polish of 10%, however considering keep a larger fraction of the bran, polishing with up to 2% reduced the MCT to 14.67 minutes, and reduced whole grains from 97% to 93%. It was concluded that the HD method was the most appropriate, because it reduced the MCT by 30%, not influencing the yield of whole grains, besides maintaining the technological characteristics of the grains.

Key words: Cooking time. Hydration. Bran layer. Fissure.

REFERÊNCIAS

- AKOWUAH, J. O.; ADDO, A.; BART-PLANGE, A. **Influence of drying temperature and storage duration on fissuring and milling quality of jasmine 85 rice variety.** Journal of Science and Technology, Kumasi, v. 32, n. 2, p. 26-33, 2012.
- BARBOSA, F. F. et al. **Manejo térmico do ar na secagem estacionária e seus efeitos no desempenho industrial de arroz branco e parboilizado.** Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, Curitiba, v. 27, n. 2, p. 271-280, jul./dez. 2009.
- BATISTA, C. S.; SANTOS, J. P.; VANIER, N. L. **Desenvolvimento de arroz de cozimento rápido: Do processamento à qualidade do produto final.** Labgrãos Magazine, Pelotas, v. 2, n. 2, 2018.
- BATISTA, et al. **Impact of cooking temperature on the quality of quick cooking brown rice.** Food Chemistry, v. 286, p. 98-105, 2019.
- BASSINELLO, P. Z.; CASTRO, E. M. **Arroz como alimento.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 101-108, 2004.
- BILLIRIS, M. A. **Rice degree of milling effects on hydration, texture, sensory and energy characteristics.** Part 1. Cooking using excess water. Journal of Food Engineering, v.113, n. 4, p.1559-1568, 2012.
- BLOCK, J. M.; BARRERA-ARELLANO, D. **Temas Selectos en Aceites y Grasas.** 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2012.
- 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.
- CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos.** Planaltina: Embrapa cerrados, 2010. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77765/1/doc-276.pdf>>. Acesso em: 8 jun. 2019.
- 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, jul., 2019.
- CNOSSSEN, A. G.; JIMÉNEZ, M. J.; SIEBENMORGEN, T. J. **Rice fissuring response to high drying and tempering temperatures.** Journal of Food Engineering, v. 59, p. 61-69, 2003.
- COLINA, J.; GUERRA, M. **Obtención y evaluación de arroz integral de cocción rápida.** Interciencia, v. 34, n. 10, 2009.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Arroz: Análise Mensal-Abril/2019**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 22 mai. 2019.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária**. Brasília, v. 6, Safra 2018/2019, 2018. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Cultura do Arroz**. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_03_01_16_56_00_a_cultura_do_arroz_-_conab.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2019.

COSTA, P. F. P. et al. **Redução da dureza do arroz integral através da germinação controlada dos grãos em casca**. In: XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (CBCTA) e X CIGR Section VI International Technical Symposium, 2016, Gramado. Anais XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (CBCTA) e X CIGR Section VI International Technical Symposium, 2016.

DASSANAYAKE, L. S. K. et al. **Physical Properties of Rice Bran Wax in Bulk and Organogels**. Journal of the American Oil Chemists' Society, v. 86, p. 1163-1173, 2009.

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.

EIFERT, E. C. **Secagem, armazenamento e beneficiamento**. In: BARRIGOSI, J. A. F. (Ed.). Recomendações técnicas para a cultura de arroz irrigado no Mato Grosso do Sul. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p. 129-134, 2009.

ELIAS, M. C. F. et al. **Industrialização de arroz por processo convencional e por parboilização**. In: ELIAS, M. C. F.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L. (Ed.). Qualidade de arroz da pós-colheita ao consumo. Pelotas: Ed. Universidade da UFPEL, 2012. cap. 4, p. 43-55.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. 1º Edição digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

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.

JULIANO, B. O.; BECHTEL, D. B. **The rice grain and its gross composition**. In: JULIANO, B. O. (Ed). Rice: chemistry and technology. 2. ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, p. 17-57, 1985.

KONICA MINOLTA SENSING INC. **Precise color communication**. Osaka: Minolta Co. Ltda., 2007.62 p.

LE, T. Q.; JITTANIT, W. **Optimization of operating process parameters for instant brown rice production with microwave-followed by convective hot air drying**. Journal of Stored Products Research, v. 61, p. 1-8, 2015.

MENEZES, et al. **Temperaturas de secagem na integridade física, qualidade fisiológica e composição química de sementes de arroz**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 430-436, out./dez. 2012.

MOHAPATRA, D.; BAL, S. **Effect of degree of milling on specific energy consumption, optical measurements and cooking quality of rice**. Journal of Food Engineering, v. 80, ed. 1, p. 119-125, 2007.

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.

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.

MONKS, J. L. F. **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.

ODEK, Z. R. **Application of X-ray Imaging as a Technique for Fissure Detection in Rough Rice Kernels**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade do Arkansas, Fayetteville, 2017.

PAIVA, F. F. **Efeitos da intensidade de polimento e da parboilização em parâmetros químicos e tecnológicos de arroz com pericarpo preto e vermelho**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2014.

PARAGINSKI, et al. **Propriedades tecnológicas e de cocção em grãos de arroz condicionados em diferentes temperaturas antes da parboilização**. Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, v. 17, n. 2, p. 146-153, 2014.

PERDON, A. A.; SIEBENMORGEN, T. J.; MAUROMOUSTAKOS, A. **Glassy state transition and rice drying: development of a brown rice state diagram**. Cereal Chemistry, v. 77, n. 6, p. 708-713, 2000.

PESTANA, V. R. **Avaliação da qualidade do óleo de arroz e do conteúdo de tocoferóis e orizanóis durante o processo de refino**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2007.

PORTELLA, J.A.; EICHELBERGER, L. **Secagem de grãos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 194 p.

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.

SILVA, L. M. M. et al. **Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de guandu**. Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, v. 17, n. 4, p. 310-318, out./dez. 2014.

SOSBAI - 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: 18 abr. 2019.

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.

TALHAFERRO, J. S. **Efeito das condições de secagem sobre a integridade física e desempenho de cocção de grãos de arroz irrigado**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), Universidade Federal do Pampa, Itaqui, RS, 2016.

TELÓ, G. M. **Qualidade de grãos de arroz irrigado colhidos com diferentes graus de umidade em função da aplicação de fungicida**. Ciência Rural, Santa Maria, v.41, n.6, p.960-966, jun, 2011.

THOMPSON, J. F. **Rice Fissuring**. 200-. Disponível em: <http://www.kcomfg.com/_docs/pdfs/rice_fissuring.pdf>. Acesso em 9 jun. 2019.

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.

WU, J. et al. **Effects of aleurone layer on rice cooking: A histological investigation**. Food Chemistry, v. 191, p. 28-35, 2016.

YANG, W. et al. **Relationship of Kernel Moisture Content Gradients and Glass Transition Temperatures to Head Rice Yield**. Biosystems Engineering, v. 85, ed. 4, p. 467-476, 2003.

YU, S.; MA, Y.; SUN, D. **Effects of freezing rates on starch retrogradation and textural properties of cooked rice during storage**. LWT-Food Science and Technology, v. 43, ed. 7, p. 1138-1143, 2010.