



ROGÉRIO DE JESUS SILVA

**AMIDO RESISTENTE NO ARROZ: PAPEL DO
BENEFICIAMENTO E DO HMT COMBINADO COM ÁCIDO
CÍTRICO**

**LAVRAS – MG
2020**

ROGÉRIO DE JESUS SILVA

**AMIDO RESISTENTE NO ARROZ: PAPEL DO BENEFICIAMENTO E DO HMT
COMBINADO COM ÁCIDO CÍTRICO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos para a obtenção do título de Doutor.

Profa. Dra. Joelma Pereira
Orientadora

**LAVRAS – MG
2020**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo próprio autor.

Silva, Rogério de Jesus.

Amido resistente no arroz: papel do beneficiamento e do HMT
combinado com ácido cítrico / Rogério de Jesus Silva. - 2020.
95 p.

Orientadora: Joelma Pereira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2020.
Bibliografia.

1. Arroz. 2. Amido resistente. 3. Tratamento hidrotérmico
calor-baixa umidade. I. Pereira, Joelma. II. Título.

ROGÉRIO DE JESUS SILVA

**AMIDO RESISTENTE NO ARROZ: PAPEL DO BENEFICIAMENTO E DO HMT
COMBINADO COM ÁCIDO CÍTRICO**

**RESISTANT STARCH IN RICE: THE ROLE OF PROCESSING AND HMT
COMBINED WITH CITRIC ACID PROCESSI**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 15 de junho de 2020.

Dra. Aurineuza Batista Teixeira Condé	EPAMIG
Dra. Elisângela Elena Nunes Carvalho	UFLA
Dra. Ellen Cristina de Souza	UFLA
Dr. Michel Cardoso de Angelis Pereira	UFLA

Profa. Dra. Joelma Pereira
Orientadora

**LAVRAS – MG
2020**

A você, minha avó Analina Maria, minha inspiração, exemplo de dignidade, honestidade, e que me deu o mais puro e verdadeiro amor.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pelas inúmeras chances de recomeçar, e por me guiar até aqui.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, pela oportunidade concedida para a realização do Doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo fomento à pesquisa.

À minha admirada orientadora, professora Dra. Joelma Pereira, pelos conhecimentos e experiências valiosas a mim passadas. Pela maternidade generosa e voluntária concedida a nós orientados. Pela amizade e exemplo de honestidade e humildade. Pelo comprometimento com a minha formação profissional.

À minha família, meus pais João e Lizenir e irmãos Wagner e Paula, por todo o apoio e torcida de sempre, pelo amor incondicional, e carinho nos momentos extremos deste trajeto.

A todos os integrantes, colegas e amigos do Laboratório de Grãos, Raízes e Tubérculos, em especial ao Raul Viana, pela recepção atenciosa e parceria quase que unilateral e à Bruna, Priscila e Gabriel, pelo prazer da convivência diária e pelo auxílio na condução do experimento.

A todos os funcionários do Departamento de Ciências dos Alimentos, em especial à Ana Alice, Lucilene, Felipe – Titi – pela disponibilidade e auxílio em tudo que foi necessário.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), por ceder as amostras de arroz e informações inerentes. Em especial ao Professor Luiz Roberto Guimarães Guilherme - Beбето, à pós-doc Ana Paula, e ao técnico Fábio Aurélio, da EPAMIG.

Aos professores e técnicos dos Laboratórios de Bioquímica de Alimentos, do Laboratório de Frutas e Hortaliças do Departamento de Alimentos da UFLA e do Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME), pelas portas abertas para a realização de análises experimentais.

Aos meus amigos Ana Lázara, Rafael, Douglas, Hugo e Luiz Carlos, por todo o apoio emocional, convivência e auxílio nos trabalhos. E também aos meus amigos Farley, Leonardo, Thiago, Rafael, Diego e Jean, pelos conselhos e momentos ímpares compartilhados nessa jornada.

Aos professores do Departamento de Ciência dos Alimentos, pelos ensinamentos transmitidos no decorrer deste curso. Em especial ao Prof. Dr. Roney Alves, pela amizade e apoio estatístico dos experimentos.

A todos os demais que não foram citados, mas que de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO GERAL

O amido resistente tem sido considerado uma importante substância prebiótica, pois, pode promover a seletividade de microrganismos benéficos no intestino, bem como possibilitar a produção de ácidos graxos de cadeia curta por estes probióticos. O processamento do arroz reduz drasticamente o teor de fibras do grão, que por sua vez, é considerado alimento base na alimentação humana. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi melhorar o teor de amido resistente diretamente em grãos de arroz, avaliando as etapas de processamento (polimento e parboilização) e a aplicação do HMT (alta temperatura e baixa umidade) isolado ou em conjunto com tratamento ácido. No primeiro experimento foram obtidas as seguintes amostras: arroz polido (AP), integral (AI), parboilizado (PP) e parboilizado integral (PI). Em seguida, todas as amostras foram submetidas ao tratamento HMT combinado com ácido cítrico $0,2 \text{ Mol l}^{-1}$ (HMTac) e codificadas TAP (AP+HMTac), TAI (AI+HMTac), TPP (PP+HMTac) e TPI (PI+HMTac). Nesta etapa foram avaliados: teor de amilose; amido resistente (AR), amido não resistente (ANR) e amido total (AT); cor; qualidade do cozimento (tempo ótimo de cozimento - TOC, perda de sólidos, absorção de água - AA e coeficiente de expansão de volume - CEV). O arroz Caravera apresentou 13,02% de amilose. O teor de amido resistente variou de 0,22% (AI) até 4,82% (TPP), o conteúdo de amido não resistente foi de 78,70% (TPP) a 84,68% (AP) e o de amido total de 81,10% (TPP) a 85,06% (AP). Além disso, TAP foi o tratamento que apresentou a maior perda de AR pelo cozimento (~53,8%). Já o TPI apresentou acréscimo de ~15,7% decorrente da cocção no teor de AR. O TOC variou de 17,33 a 27,52 minutos, a perda de sólidos de 4,69 a 16,83 %, a absorção de água de 195,29 a 266,20 % e o CEV variou de 2,66g g⁻¹ a 3,12 g g⁻¹. Houve redução na claridade (L), aumento na vermelhidão (a*) e no amarelecimento (b*). A parboilização e o HMTac aumentam o AR, porém, o cozimento reduziu o conteúdo de AR na maioria das amostras, exceto nas amostras AI e TPI (ambas integrais). Em virtude da amostra TPP ter apresentado a maior média para AR, foi escolhida para avaliação do efeito da concentração de ácido cítrico no tratamento dos grãos. Foram aplicadas as concentrações de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 e 0,6 Mol l⁻¹ e, denominadas HMTac-1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente, além da amostra padrão (HMTac-0) na qual foi aplicado apenas o HMT, utilizando-se água destilada. Foram realizadas análises de: qualidade do cozimento; textura; composição centesimal; cor; gelatinização e amido resistente. O HMTac afetou o TOC, porém, entre as concentrações do ácido não houve diferença, a absorção de água reduziu e a perda de sólidos aumentou de 6,96 a 23,35 %. Em relação a textura, a coesividade não foi influenciada, na elasticidade, apenas HMTac-6 diferiu dos demais tratamentos e a dureza dos grãos de arroz aumentou em função da dosagem do ácido (de 10,45 N para 17,68 N). Quanto a composição química, as proteínas e gorduras foram reduzidas. Na cor, a claridade (L) e o amarelecimento (b*) diminuíram, e a vermelhidão foi maior em HMTac-1, porém, o aumento da dosagem de ácido cítrico reduziu estes valores. Por sua vez, o cozimento reduziu os efeitos do HMTac na cor. A faixa de temperatura da gelatinização foi ampliada e a energia necessária (ΔH) também foi maior. O conteúdo de AR aumentou 93 % em HMTac-6 (5,77 %) em relação à amostra não tratada (HMTac-0) (2,99 %). Além disso, os valores de AR do Experimento 2 são para o arroz cozido, isso representa aumento de 50% em HMTac-6 (5,77%) em relação a TPP (3,77%), amostra do Experimento 1. Assim, a partir desses experimentos, foi possível verificar que houve melhoria nutricional nos grãos de arroz da variedade BRSMG Caravera em sua forma de consumo (cozido), sendo necessários futuros estudos para avaliar seus benefícios à saúde.

Palavras-chave: Parboilização. Prebióticos. Textura. Ácido cítrico.

GENERAL ABSTRACT

Resistant starch has been considered an important prebiotic substance, as it can promote the selectivity of beneficial microorganisms in the intestine, as well as enable the production of short chain fatty acids by these probiotics. The processing of rice dramatically reduces the fiber content of the grain, which in turn is considered to be the basis of food for human consumption. In this sense, the objective of this work was to improve the starch content directly in rice grains, evaluating the processing steps (polishing and parboiling) and the application of HMT (Heat-moisture treatment) alone or in conjunction with acid treatment. In the first experiment, they were formulated as follows: polished rice (PR), brown (BR), parboiled (PP) and parboiled brown (PB). Then, all of them were submitted to HMT treatment combined with 0.2 Mol l⁻¹ citric acid (HMTca) and encoded TPR (PR + HMTca), TBR (BR + HMTca), TPP (PP + HMTca) and TPB (PB + HMTca). In this step, it was obtained: amylose content; resistant starch (RS), non-resistant starch (NRS) and total starch (TS); color; cooking quality (optimal cooking time - OCT, loss of solids, water absorption - WA and volume expansion coefficient - VEC). Caravera rice showed 13.02% amylose. The resistant starch content ranged from 0.22% (BR) to 4.82% (TPP), the content of non-resistant starch was 78.70% (TPP) to 84.68% (PR) and that of starch total from 81.10% (TPP) to 85.06% (PR). In addition, TPR was the treatment that showed the greatest loss of PR through cooking (~ 53.8%). The TPB increased ~ 15.7 % due to cooking in the RS content. The OCT varied from 17.33 to 27.52 minutes, the loss of solids from 4.69% to 16.83%, the water absorption from 195.29 to 266.20 % and the CEV varied from 2.66 to 3.12 g g⁻¹. Reduction in clarity (L), increase in redness (a *) and non-yellowing (b *). Parboiling and HMTca increase RS, however, cooking reduced the RS content in most of the sample, except for BR and TPB (both integrals). Because the TPP sample had the highest mean for RS, it was chosen to assess the effect of citric acid concentration on the treatment of grains. The rules of 0.1 were applied; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5 and 0.6 Mol l⁻¹ e, named HMTac-1, 2, 3, 4, 5 and 6, in addition to the standard sample (HMTac-0) in which only HMT was sent using distilled water. The analyzes were analyzed: quality of cooking; texture; proximate composition; color; gelatinization and resistant starch. HMTac affected OCT, however, between the practices of acid no difference, water absorption reduced and the loss increased from 6.96% to 23.35%. Regarding texture, cohesiveness was not influenced, in elasticity only HMTac-6 differed from the other treatments and hardness of rice grains increased as a function of the acid dosage (from 10.45 N to 17.68 N). As for the chemical composition, proteins and fats were reduced. In color, the clarity (L) and yellowing (b *) decreased, and the redness was greater in HMTac-1, but the increase in the citric acid dosage reduced these values. In turn, cooking reduced the effects of HMTca on color. The temperature range of gelatinization was increased and the required energy (ΔH) was also greater. The RS content increased 93% in HMTac-6 (5.77%) in relation to the untreated sample (HMTca-0) (2.99 %). In addition, the AR values of Experiment 2 are for cooked rice, this represents a 50% increase in HMTca-6 (5.77%) compared to TPP (3.77%), sample from Experiment 1. Thus, from these experiments it was possible to verify that there was nutritional improvement in the rice grains of the variety BRSMG Caravera in its consumption (cooked) form, being added to future studies to evaluate its health benefits.

Keywords: Parboiling. Prebiotics. Texture. Citric acid.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

Figura 1 - Principais países produtores de arroz no mundo.....	20
Figura 2 - Estrutura do grão de arroz.	23
Figura 3 - Diagrama de beneficiamento para obtenção do arroz branco polido, integral, parboilizado integral e parboilizado polido.....	24
Figura 4 - Organização das cadeias de amilose de amilopectina.	27
Figura 5 - Representação dos arranjos moleculares do grânulo de amido.....	30
Figura 6 - Microfotografia de amido de batata sob luz polarizada.	31
Figura 7 - Curva de viscosidade típica do RVA com os parâmetros comumente avaliados.	33

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 2

Figura 1 - Parâmetros de qualidade do cozimento do arroz submetido ao HMTac (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; e 0,6 Mol l-1 de ácido cítrico).....	78
Figura 2 - Parâmetros de textura do arroz submetido ao HMTac (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; e 0,6 Mol L-1 de ácido cítrico).....	79
Figura 3 - Relação linear entre o conteúdo AR e concentração de ácido cítrico utilizada no tratamento HMT.	87

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

- Tabela 1 - Composição centesimal de grãos de arroz em diferentes formas de beneficiamento (integral, branco, parboilizado e parboilizado integral) com base na literatura científica.22
- Tabela 2 - Limites máximos de tolerância expressos em %/peso para arroz beneficiado. 25
- Tabela 3 - Temperaturas de gelatinização de amidos provenientes de diferentes fontes botânicas.32

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 2

- Tabela 1 - Valores médios + desvios-padrão da composição química de grãos de arroz cozidos submetidos ao HMT com diferentes concentrações de ácido cítrico...81
- Tabela 2 - Valores médios + desvios-padrão dos resultados de cor (L, a* e b*) de grãos de arroz (crus e cozidos) submetidos ao HMT com diferentes níveis de ácido cítrico.83
- Tabela 3 - Atributos térmicos obtidos através das curvas de DSC de grãos de arroz submetidos ao HMT com diferentes níveis de ácido cítrico..... 85

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

%	Porcentagem
α	Alfa
p	Ró
°C	Grau Celcius
μm	Micrometro
ΔH	Varição da Entalpia
a^*	Coordenada vermelho/verde (+a indica vermelho e -a indica verde)
AAC	Conteúdo de amilose aparente
AM	Amido
AMD	Amido digerível
AR	Amido Resistente
B^*	Coordenada amarelo/azul (+b indica amarelo e -b indica azul)
BRSMG	Código Cultivar Arroz BRSMG Caravera
BR	Brown rice
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CHO	Carboidrato
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CVE	Coefficient of Volume Expansion
DMSO	Dimetilsulfóxido de metilo
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
EPAMIG	Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
FAO	Food and Agriculture Organizathion
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FIB	Fibra
FOS	Fruto-oligossacarídeos
g	Gramas
GOS	Galacto-oligosacarídeos
H	Hidrogênio

HCl	Ácido Clorídrico
HMT	Heat–Moisture Treatment
HMTac	Heat–Moisture Treatment combinado com tratamento com ácido cítrico
I₂	Iodo
IN	Instrução Normativa
IMO	Isomalto-oligossacarídeos
ISAPP	Associação Científica Internacional de Probióticos e Prebióticos
J	Joule
Kgf	Quilograma-força
KI	Iodeto de potássio
L*	Claridade (0 a 100)
l	Litro
LMD	Amido lentamente digerível
n	Repetições
NaHCO₃	Bicarbonato de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
nm	Nanômetro
M	Molaridade
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
mL	Mililitro
mm	Milímetro
min	Minutos
Mol	Molaridade
O	Oxigênio
OCT	Optimum Cooking Time
OH	Hidroxila
pH	Potencial Hidrogeniônico
PB	Parboiled Brown Rice
PP	Parboiled Polished
PR	Polished Rice
R	Coefficiente de Determinação
RS	Resistant Starch

RVA	Rapid Viscosity Analyser
S	Segundo
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SOS	Oligossacarídeos de soja
T_0	Temperatura inicial de gelatinização
T_p	Temperatura de pico de gelatinização
T_c	Temperatura final de gelatinização
TBR	Tratamento HMT em Brown Rice
TOC	Tempo ótimo de cozimento
TPB	Tratamento HMT
TPP	Tratamento HMT
TPR	Tratamento HMT
TS	Total starch
UMI	Umidade
XOS	Xilo-oligossacarídeos
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE Introdução geral	18
1	INTRODUÇÃO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	Arroz	20
2.1.1	Aspectos nutricionais do arroz	21
2.2	Beneficiamento do arroz	23
2.2.1	Parboilização	25
2.3	Amido	26
2.3.1	Estrutura do amido	27
2.3.2	Gelatinização e retrogradação	31
2.4	Digestibilidade do amido	33
2.4.1	Atividade prebiótica do amido resistente	35
2.5	Modificações do amido	36
2.5.1	Tratamento com calor e baixa umidade (HMT)	37
2.5.2	HMT combinado com tratamento ácido	38
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
	REFERÊNCIAS	41
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS*	50
	ARTIGO 1 COMBINATION OF PROCESSING AND HEAT-MOISTURE TREATMENTS WITH CITRIC ACID OVER THE RESISTANT STARCH, COOKING PROPERTIES AND COLOR OF RICE GRAINS	51
1	INTRODUCTION	52
2	MATERIAL AND METHODS	53
2.1	Raw material	53
2.2	Experimental planning	53
2.2.1	Parboiling	54
2.2.2	Heat-moisture treatment with citric acid (HMTca)	54
2.3	Characterization of rice	54
2.3.1	Extraction of starch	54
2.3.2	Starch characterization	55
2.3.3	Apparent amylose content (AAC)	55
2.4	Determination of resistant starch (RS), non-resistant starch (NRS) and total starch (TS)	56

2.5	Cooking quality	56
2.5.1	Optimum cooking time (OCT).....	56
2.5.2	Water absorption (WA).....	56
2.5.3	Coefficient of volume expansion (CVE).....	57
2.5.4	Loss of soluble solids (LSS)	57
2.6	Color analysis	57
2.7	Statistical analysis	57
3	RESULTS AND DISCUSSION	58
3.1	Characterization of rice and of starch rice.....	58
3.2	Resistant (RS), non-resistant (NRS) and total starch (TS)	58
3.3	Cooking Quality	61
3.4	Color.....	63
3.5	Correlations of the cooking tests, RS, NRS, TS and color	65
4	CONCLUSION	67
	REFERENCES.....	67
	ARTIGO 2 - MELHORIA DO AMIDO RESISTENTE EM GRÃOS DE ARROZ PARBOILIZADO POR HMT COMBINADO COM ÁCIDO CÍTRICO	70
1	INTRODUÇÃO.....	71
2	MATERIAL E MÉTODOS	73
2.1	Material.....	73
2.2	Parboilização e beneficiamento	74
2.3	Tratamento de calor-baixa umidade com ácido cítrico (HMTac).....	74
2.4	Qualidade do cozimento do arroz HMTac	75
2.4.1	Tempo ótimo de cozimento (TOC)	75
2.4.2	Absorção de água (ABS).....	75
2.4.3	Perda de sólidos (PS)	75
2.5	Textura instrumental do arroz HMTac.....	75
2.6	Composição centesimal do arroz HMTac.....	76
2.7	Análise de cor do arroz do arroz HMTac.....	76
2.8	Calorimetria exploratória diferencial (DSC) do arroz HMTac	76
2.9	Digestibilidade do amido do arroz HMTac	77
2.10	Análise estatística	77
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77

3.1	Qualidade do cozimento	77
3.2	Textura instrumental.....	79
3.3	Composição centesimal.....	80
3.4	Cor.....	81
3.5	Gelatinização	84
3.6	Amido resistente.....	86
4	CONCLUSÃO	88
	REFERÊNCIAS.....	90

PRIMEIRA PARTE

Introdução geral

1 INTRODUÇÃO

O arroz é considerado a principal fonte de energia para mais da metade da população mundial, podendo representar até 20% das calorias consumidas por um indivíduo durante o dia (SCHATZ *et al.*, 2014; FAO, 2008). Como base alimentar, este cereal pode representar uma fonte importante de fibras alimentares, pois, nas versões integrais, o conteúdo de fibras pode chegar a 5% (BECKER-ALGERI *et al.*, 2017; PAIVA *et al.*, 2016). O consumo recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), para fibras, é de pelo menos 25 gramas diariamente, sendo que a ingestão adequada de fibras está associada à saúde digestiva e risco reduzido de várias doenças não transmissíveis, como o câncer, obesidade, hipercolesterolemias, doenças cardiovasculares e diversas outras, e, são reconhecidas como essenciais para a saúde humana (SOLIMAN, 2019; VERONESE *et al.*, 2018; WHO/FAO, 2003).

Dentre os diversos tipos de fibras alimentares, podem ser destacados os amidos resistentes, que apresentam características prebióticas, pois, são capazes de resistir às etapas de digestão no estômago, chegando ao intestino grosso onde pode ser fermentado seletivamente (fermentação probiótica) pela microbiota intestinal (FUENTES- ZARAGOZA *et al.*, 2011). Isto promove a redução de bactérias patogênicas e suas enfermidades e diversos outros benefícios à saúde, tais como redução do colesterol, aumento da resposta imunológica, diminuição do risco de câncer, aumento da absorção de nutrientes, dentre outras (ZHOU *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2013a).

No Brasil, as formas mais consumidas de grãos de arroz processado são arroz branco, integral, parboilizado e parboilizado integral, sendo o primeiro, de maior preferência e consumo (CONAB, 2015). Segundo Elias *et al.* (2012), cerca de 25% do arroz consumido no Brasil é parboilizado. Já em países asiáticos este percentual pode chegar a 60% (BHATTACHARYA; ALI, 2015). A preferência pelo arroz branco pode estar associada a características sensoriais, como a cor e a textura (BALBINOT *et al.*, 2018; HOUSSOU *et al.*, 2016).

Apesar disso, as versões integrais possuem maior valor nutricional, pois, preservam o conteúdo de fibras alimentares, vitaminas e lipídeos que estão presentes em maior concentração nas camadas mais externas do grão (farelo e gérmen) (PAIVA *et al.*, 2016; STORCK; SILVA; COMARELLA, 2009). No sentido de melhorar o conteúdo de amido resistente na parte interna do arroz (endosperma), diversas tecnologias têm sido estudadas, como

a aplicação de modificações físicas e químicas durante o beneficiamento (CHENG; CHEN; YEH, 2019; SIRISOONTARALAK *et al.*, 2016).

O processo de parboilização, uma tecnologia que basicamente consiste na maceração, gelatinização e secagem do arroz, é capaz de promover maior rendimento econômico, pois, promove a ‘soldagem’ de fissuras em grãos quebrados. Além da migração de micronutrientes para o interior do endosperma do grão (ELIAS *et al.*, 2012). Entretanto, também provoca o amarelamento devido à incorporação de pigmentos da casca e do farelo, reação de Maillard, e também pode apresentar maior dureza, sendo necessário maior tempo de cozimento do grão (BALBINOT *et al.*, 2018).

O tratamento hidrotérmico de baixa umidade e calor (HMT) também tem se destacado. Este processo consiste em modificar fisicamente os grânulos de amido do arroz sem alterar a estrutura molecular dos grânulos (HOOVER, 2010). Dentre os benefícios promovidos por esta tecnologia, pode-se destacar a melhoria nas propriedades funcionais do arroz por meio do melhoramento do teor de amidos resistentes (CHENG; CHEN; YEH, 2019; SILVA *et al.*, 2017; ARNS *et al.*, 2015).

Alguns estudos mostraram maior eficácia do tratamento HMT quando combinado com tratamento ácido em amidos isolados (SHAIRIK, 2019; HUNG; VIEN; PHI, 2016). Entretanto, o efeito destes tratamentos de forma combinada em grãos de arroz inteiros ainda é desconhecido.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar o efeito de diferentes condições de processamento (parboilização e polimento) e do tratamento HMT combinado com tratamento com ácido cítrico na digestibilidade do amido, na composição centesimal e na qualidade tecnológica de grãos de arroz.

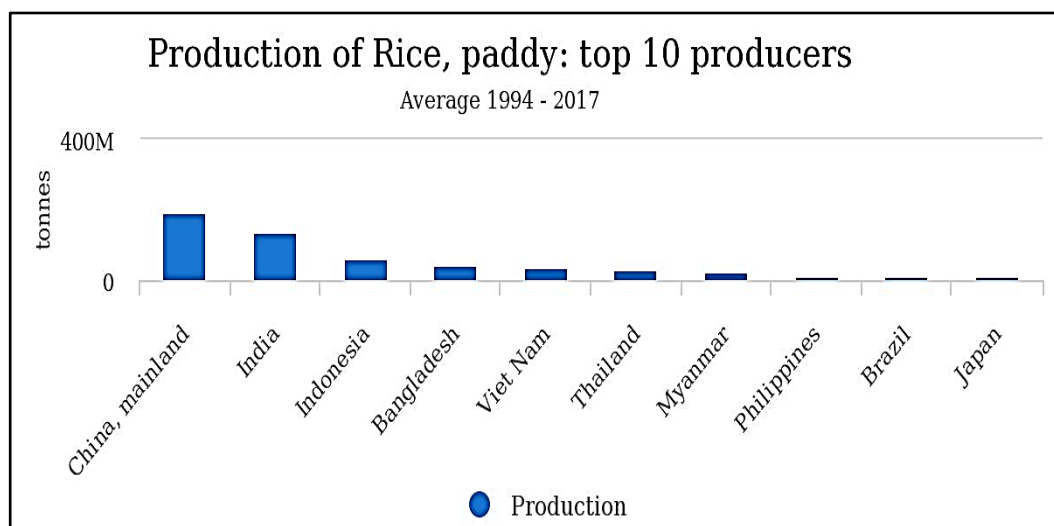
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma espécie de cereal pertencente à divisão Angiosperma, da classe das monocotiledôneas, da ordem Glumiflora, da família Poaceae, da subfamília Bambusoideae ou Oryzoideae, da tribo Oryzeae, e do gênero *Oryza*. Este gênero foi descrito por Lineu em 1753, sendo que possui duas espécies mais cultivadas, a *Oryza sativa* L. (asiático) e a *Oryza glaberrima* Steud. (africano) (LONDO *et al.*, 2006).

Dentre os cereais, esse grão é o segundo mais consumido pela população mundial, ficando atrás apenas do milho. De acordo com a FAOSTAT (2019), a produção mundial de arroz em 2017 foi de aproximadamente 770.000.000 milhões de toneladas. Entre os continentes, a Ásia (90,2%) se destaca como maior produtor, seguido pela África (4,8%), Américas (4,6 %), Europa (0,5%) e Oceania (0,1%). Na Figura 1, estão relacionados os dez países com maior produção de grãos de arroz. Destacando-se, a China, a Índia e a Indonésia como os três maiores produtores, com cerca de 212,7, 168,5 e 81,4 milhões de toneladas em 2017, respectivamente, já o território brasileiro se destaca como o 9º maior produtor do grão.

Figura 1 - Principais países produtores de arroz no mundo.



Fonte: FAOSTAT (2019).

Outro dado relevante, é que o Brasil se destaca como maior produtor de arroz entre os países não asiáticos. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), na safra

2018/19 foram produzidos cerca de 10,4 milhões toneladas de arroz. Deste total, em torno de 89,2% foram provenientes do cultivo sob irrigação e os 10,8% restantes foram oriundos do sistema sequeiro (CONAB, 2020).

A CONAB também estima um aumento de pelo menos 6,5% da produção na safra 2019/2020 em relação à safra passada (2018/19). Segundo o mesmo órgão, isto pode ser explicado pelo aumento da proporção do plantio de arroz irrigado, que gera uma maior produtividade, isso vem permitindo a manutenção da produção ajustada ao consumo nacional e a diminuição do *déficit* importação/exportação (CONAB, 2020).

Apesar da produção do grão estar distribuída em todas as regiões do Brasil, o cultivo deste cereal tem maior concentração na Região Sul (cerca de 80% da produção), sendo representados quantitativamente por Santa Catarina e o Rio Grande do Sul que foram responsáveis por aproximadamente 90,2% dos grãos colhidos no país na última safra, dentre os estados de outras regiões destacam-se o Mato Grosso, Tocantins e o Maranhão (CONAB, 2019).

2.1.1 Aspectos nutricionais do arroz

O arroz pode ser considerado um dos principais componentes da alimentação básica para mais da metade da população mundial (FAO, 2008). Juntamente com o feijão, o consumo de arroz representa em média 23% da energia consumida por indivíduos durante o dia no Brasil (LOUZADA *et al.*, 2015; SCHATZ *et al.* 2014). Os grãos de arroz podem ser consumidos após diferentes formas de beneficiamento, comumente são comercializados como arroz integral, arroz branco polido, arroz parboilizado polido e arroz parboilizado integral. Sendo que, estes tratamentos, estão diretamente relacionados à composição nutricional dos grãos (PAIVA *et al.*, 2016).

Na Tabela 1, estão compilados experimentos de diferentes composições centesimais em distintas formas de beneficiamento e variedades de arroz.

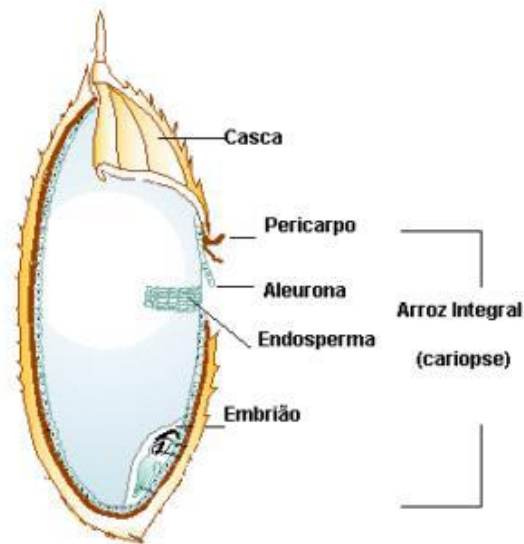
Tabela 1 - Composição centesimal de grãos de arroz em diferentes formas de beneficiamento (integral, branco, parboilizado e parboilizado integral) com base na literatura científica.

Tipo	*Composição (% , base seca)					Referências bibliográficas
	CHO	PROT	LIP	FIB	CINZ	
Arroz Integral	74,84 (72,0-77,50)	8,15 (6,24-10,90)	2,56 (1,90-2,91)	3,24 (1,1-4,80)	1,45 (1,20-1,90)	Petroni <i>et al.</i> (2017); Kariyawasam <i>et al.</i> (2016); Nepa-Unicamp (2011).
Arroz Branco Polido	87,10 (89,97-83,37)	8,23 (8,94-7,45)	0,40 (0,34-0,51)	2,87 (2,34-3,40)	0,47 (0,30-0,57)	Becker-Algeri <i>et al.</i> (2017); Reddy <i>et al.</i> (2017); Storck (2004).
Arroz parboilizado integral	87,27 (85,91-88,40)	6,86 (5,29-7,90)	2,75 (1,83-3,20)	4,25 (3,35-4,89)	1,90 (1,60-2,30)	Becker-Algeri <i>et al.</i> (2017); Paiva <i>et al.</i> (2016); Chukwu e Oseh (2009).
Arroz parboilizado	84,41 (79,28-88,88)	8,15 (5,67-9,44)	0,86 (0,69-1,11)	1,54 (1,43-1,63)	0,74 (0,67-0,87)	Pal <i>et al.</i> (2018); Petroni <i>et al.</i> (2017); Storck (2004).

CHO=Carboidratos; PROT=Proteínas; LIP=Lipídeos; FIB=Fibra; Cinz.=Cinzas. * Valores expressos em média e intervalos encontrados.

Desta forma, pode se destacar que o grau de beneficiamento dos grãos está diretamente ligado à composição final do produto (STORCK; SILVA; COMARELLA, 2009). Sabe-se que as camadas de farelo de arroz consistem em polissacarídeos não amiláceos (celulose e lignina), gordura e fibra alimentar, já as camadas de germe e de aleurona contêm proteínas, gorduras e boa quantidade de vitaminas e minerais, e no endosperma estão presentes basicamente carboidratos (principalmente amido) e partes das proteínas (JULIANO, 1985). Esta estrutura pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 - Estrutura do grão de arroz.

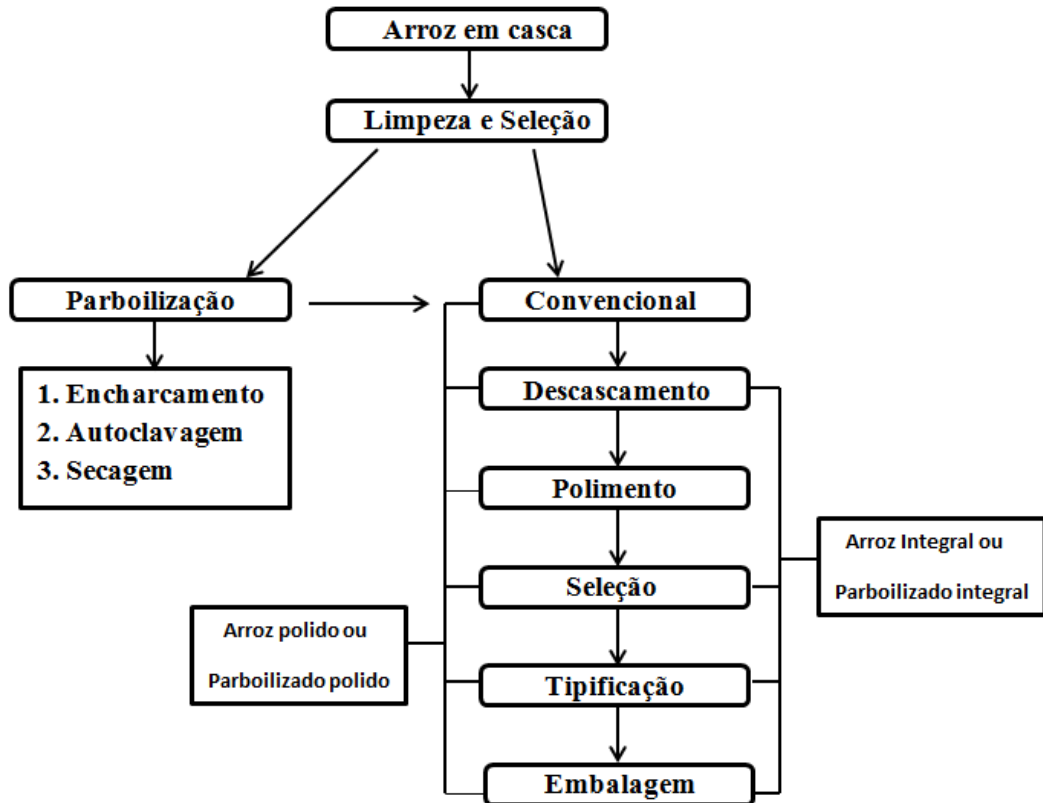


Fonte: Galera (2006).

2.2 Beneficiamento do arroz

O esquema genérico de processamento do arroz está representado na Figura 3. É importante destacar, que parâmetros como o tempo, a regulação dos engenhos e as porcentagens de grãos inteiros, quebrados, de casca e de farelo estão diretamente relacionados com a variedade, classificação de formato e tamanho, manejos agrícolas, temperaturas durante o estágio de desenvolvimento da cultura e local de cultivo (BHATTACHARYA; ALI, 2015; GUTKOSKI; ELIAS, 1994).

Figura 3 - Diagrama de beneficiamento para obtenção do arroz branco polido, integral, parboilizado integral e parboilizado polido.



Fonte: Adaptado de Amato e Elias (2005).

A primeira etapa do beneficiamento do arroz é o descascamento que remove as camadas mais externas por meio do atrito com os grãos, principalmente a casca que representa cerca de 20 a 30% do peso total do grão. Após isto, tem-se o arroz integral, que, posteriormente, será separado de grãos remanescentes (marinheiros), classificado, embalado e armazenado e/ou distribuído para a comercialização (BHATTACHARYA; ALI, 2015; CASTRO, 1999).

Apesar do arroz integral estar apto à comercialização, em virtude de aspectos sensoriais, como por exemplo, a cor, textura e a cozedura, os consumidores apresentam maior preferência pelo arroz branco polido (HOUSSOU *et al.*, 2016). Sendo assim, as indústrias submetem os grãos integrais ao polimento (ou brunimento), que consiste na retirada das camadas de pericarpo, gérmen e aleurona da cariopse do arroz (FIGURA 2), geralmente por abrasão, sendo o subproduto, denominado de farelo de arroz, e, pode representar de 8% a 13% do peso de grão (PARRADO *et al.*, 2006). Além disso, é de suma importância ressaltar que, quanto mais severo e prolongado este processo, maior será o percentual de grãos quebrados ao final.

Esses grãos polidos (ou brunidos) são separados por meio classificadores rotativos, chamados de *Trieurs*, que possuem alvéolos de numerações distintas, sendo 2, 1 e 0, capazes de separar os grãos de arroz inteiros, os grãos de arroz de tamanho $\frac{3}{4}$ e os grãos de tamanho $\frac{1}{2}$, respectivamente. Além dos subprodutos de tamanho $\frac{1}{4}$ e a quirera.

No Brasil, a classificação é realizada em tipos, de acordo com a IN 06/2009 do MAPA, sendo assim, o arroz polido deve atender aos limites de tolerância para grãos quebrados e quirera, descritos na Tabela 2.

Tabela 2- Limites máximos de tolerância expressos em %/peso para arroz beneficiado.

Tipo	Integral	Polido	Parboilizado	Parboilizado polido integral		
	Total de Quebrados e Quirera	Total de Quebrados e Quirera	Quirera (máximo)	Total de Quebrados e Quirera	Total de Quebrados e Quirera	Quirera (máximo)
1	4,00	7,50	0,50	2,50	7,50	0,50
2	7,50	15,00	1,00	4,00	15,00	1,00
3	12,50	25,00	2,00	6,00	25,00	2,00
4	15,00	35,00	3,00	8,00	35,00	3,00
5	20,00	45,00	4,00	10,00	45,00	4,00

Fonte: Adaptado de Brasil (2009).

2.2.1 Parboilização

A parboilização consiste em um tratamento hidrotérmico em grãos de arroz (em casca) antes do beneficiamento. Durante o processo, os grânulos de amido fundem-se irreversivelmente (gelatinização), alterando sua estrutura de cristalina para amorfa (TIAN *et al.*, 2018; SWASDISEVI *et al.*, 2010). Isso proporciona mudanças benéficas no cereal, dentre as principais estão a soldagem dos grãos quebrados (redução de perdas econômicas e de qualidade), a migração de micronutrientes como os minerais e vitaminas da casca, do pericarpo e do gérmen para o interior do grão (melhoria nutricional), inibição de microrganismos e suas toxinas, melhora na qualidade do cozimento e nas características sensoriais do arroz cozido (SRISANG; CHUNGCHAROEN, 2019; XU *et al.*, 2019; HU *et al.*, 2017; LEETHANAPANICH; MAUROMOUSTAKOS; WANG, 2016).

Tradicionalmente, a primeira etapa da parboilização do arroz é o encharcamento (hidratação) dos grãos, caracterizada pela imersão do arroz em casca em solução aquosa. Nesta etapa, a temperatura e o tempo de hidratação devem ser suficientes para que os grânulos de amido aumentem a umidade até em torno de 32%, e estão diretamente relacionados, sendo que, à medida que se aumenta a temperatura do meio ocorre a diminuição do tempo de

imersão, podendo representar reduções importantes de custo (BALBINOTI *et al.*, 2018; MIAH *et al.*, 2002).

No entanto, Miah *et al.* (2002) ressaltam que o encharcamento com umidade excessiva e em temperaturas elevadas pode favorecer o rompimento da casca, ocasionando a lixiviação de nutrientes e afetando as propriedades de cozimento do grão.

A autoclavagem com vapor d'água e aplicação de pressão atmosférica podem ser consideradas o principal método para a gelatinização do amido durante a parboilização. Apesar das especificidades que cada variedade possui, os processos industriais tradicionais variam a pressão de autoclavagem entre de 0,5 a 1,2 Kgf cm⁻², durante 10 a 30 min (ELIAS; OLIVEIRA; VANIER, 2015; DUTTA; MAHANTA, 2014).

Entretanto, existem diversos outros estudos na literatura sobre estes parâmetros, como por exemplo, nos experimentos de Islam, Shimizu e Kimura (2001) que encontraram propriedades reológicas satisfatórias usando vapor a 120 °C com até 1,0 kgf cm⁻² e de Xu *et al.* (2019) que avaliaram as características de qualidade do arroz parboilizado pré-tratado por pressões ultra alta (100-600 MPa) e verificaram efeitos positivos para valores entre 100 e 200 MPa no grau de gelatinização do amido. Os mesmos autores também relataram tendências opostas entre 200-600 MPa.

É sabido que os grãos precisam ser secos até a umidade de 12% a 13% antes do descascamento. Segundo Elias *et al.* (1994), nas indústrias de beneficiamento, primeiramente, utiliza-se secador de leito fluidizado, que reduz a umidade de 30-35% para 24-28%. Logo após, os grãos são colocados em um secador de coluna inteira até a umidade de 18-20%. E, por fim, o arroz passa por secadores intermitentes até alcançarem a umidade final (AMATO; ELIAS, 2005). Além disso, convém ressaltar, que após a parboilização o arroz segue o diagrama apresentado na Figura 3. E, posteriormente, estes grãos podem ser comercializados tanto na forma 'parboilizado integral' quanto 'parboilizado polido', sendo o consumo de arroz parboilizado polido, o de maior aceitação (AMATO; ELIAS, 2005; ABIAP, 2007).

2.3 Amido

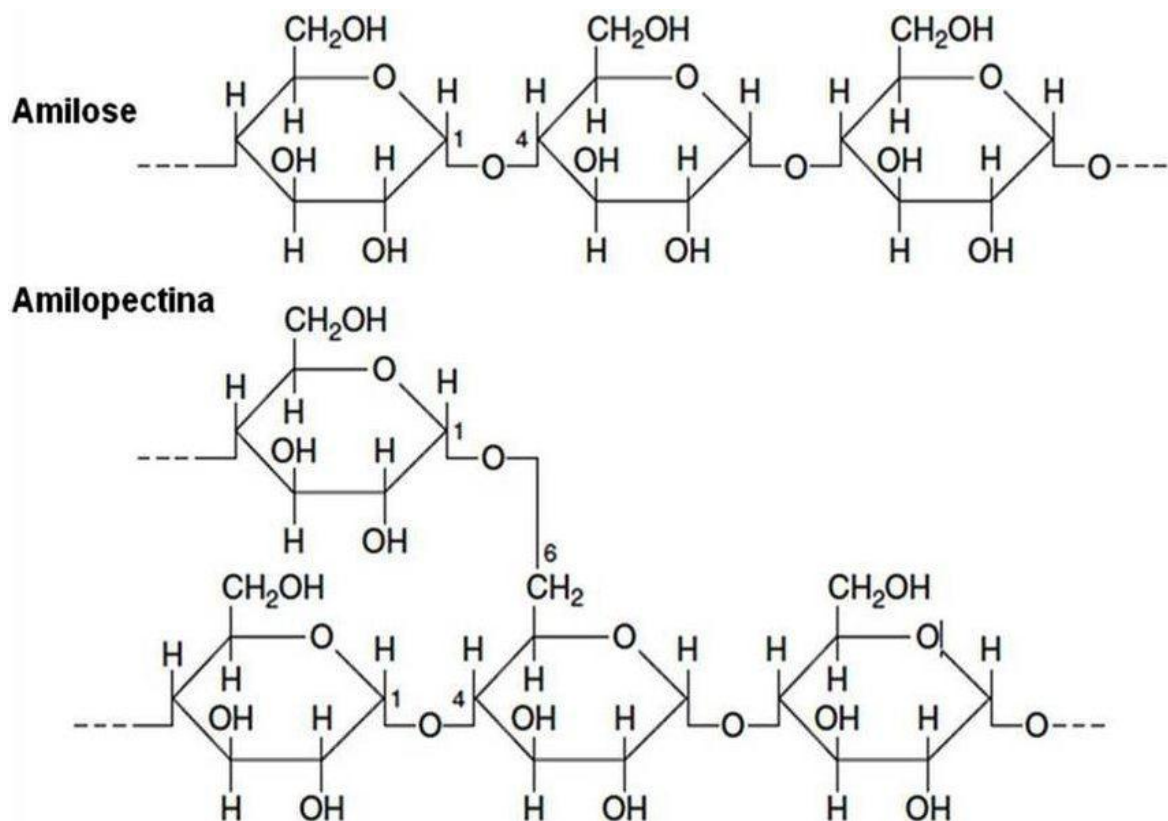
O amido é um polissacarídeo sintetizado naturalmente por vegetais como um carboidrato de reserva de energia (LAJOLO; MENEZES, 2006). Entretanto, também constitui a principal fonte de carboidratos na alimentação humana, representando 80% a 90% de todos os CHO's consumidos na dieta (WHO/FAO, 1998).

Na indústria, o amido possui diversas aplicações tecnológicas como ingrediente e/ou como aditivo na formulação dos produtos (ex.: produtos de panificação e confeitaria, lácteos, cárneos, molhos prontos, fármacos, sopas prontas, produtos de estética, embalagens e inúmeras outras aplicações). No entanto, estas aplicações estão diretamente relacionadas com as propriedades de cada tipo de amido, que varia principalmente de acordo com as fontes botânicas e suas técnicas de manejo, além de modificações químicas, físicas e enzimáticas dos grânulos de amido realizadas pelas indústrias (LEONEL, 2007).

2.3.1 Estrutura do amido

Estes polímeros são constituídos de unidades de glicose. Para amilose, os monômeros são unidos por ligações glicosídicas alfa 1-4 e se apresentam em forma espiral e linear, já para amilopectina são encontradas ligações alfa 1-4 e alfa 1-6 que formam cadeias ramificadas (FIGURA 4). As proporções em que essas estruturas aparecem diferem em relação às fontes botânicas, variedades de uma mesma espécie e, mesmo numa mesma variedade, de acordo com o grau de maturação da planta (LEONEL, 2007, DENARDIN; SILVA, 2009).

Figura 4 - Organização das cadeias de amilose de amilopectina.



Fonte: Adaptado de Bewley et al. (2013).

O amido encontra-se nas plantas sob a forma de grânulos. As fontes convencionais de amido são os cereais (arroz, trigo e milho), raízes (mandioca) e tubérculos (batata). Também tem sido explorado em fontes consideradas não convencionais, como por exemplo, a araruta, o biri, a mandioquinha-salsa, dentre outros (LEONEL, 2007; LAJOLO; MENEZES, 2006).

Cada espécie vegetal apresenta características próprias na sua composição amilacea, dentre estas, pode-se destacar a forma e tamanho e a distribuição dos grânulos, que também podem ser influenciadas pelo estágio de maturação do vegetal. Alguns tipos de grãos de amido podem apresentar-se em formatos arredondados, ovais, achatados e até parcialmente quadriculados. Na Figura 5, podem ser observadas micrografias de diferentes fontes botânicas de amido, estudadas por Leonel (2007) e de amido de arroz estudado por Arns *et al.* (2015).

Figura 5 - Micrografias de amidos de diferentes fontes botânicas.

Figura 5A - Amido de Araruta.

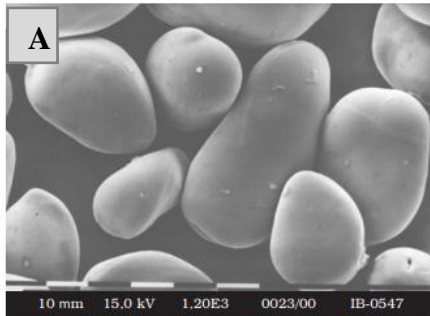


Figura 5B - Amido de Batata-doce.

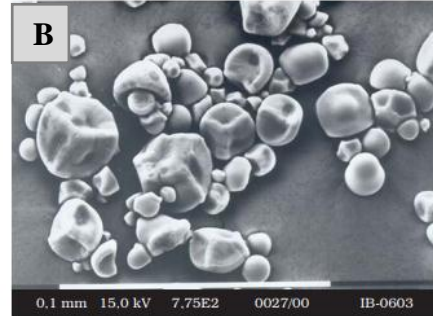


Figura 5C - Amido de gengibre.

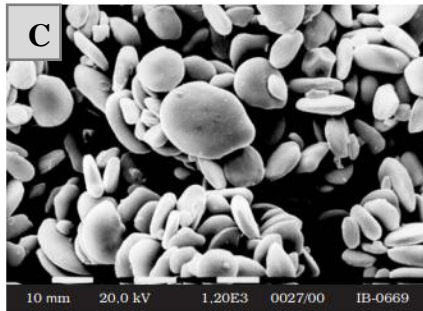


Figura 5D - Amido de mandioca.

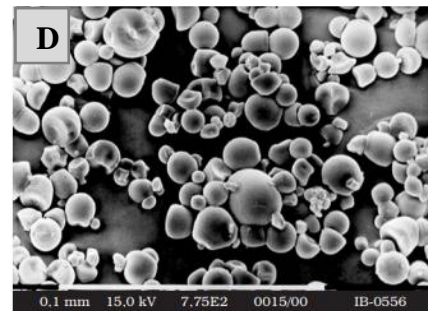


Figura 5E - Amido nativo de arroz.

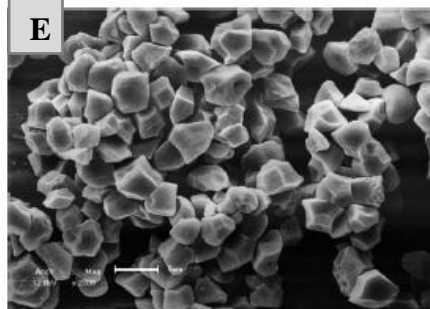


Figura 5F - Amido nativo de arroz.

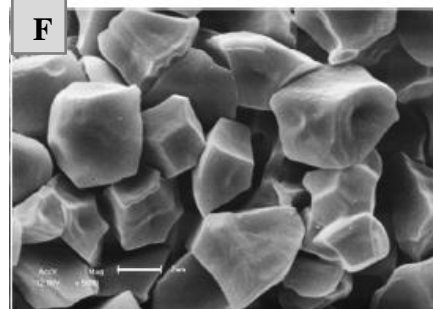


Figura 5G - Amido modificado (HMT) de arroz.

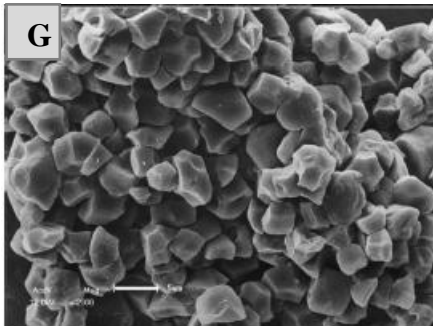
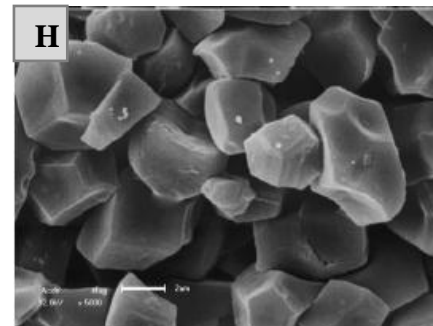


Figura 5H - Amido modificado (HMT) de arroz.

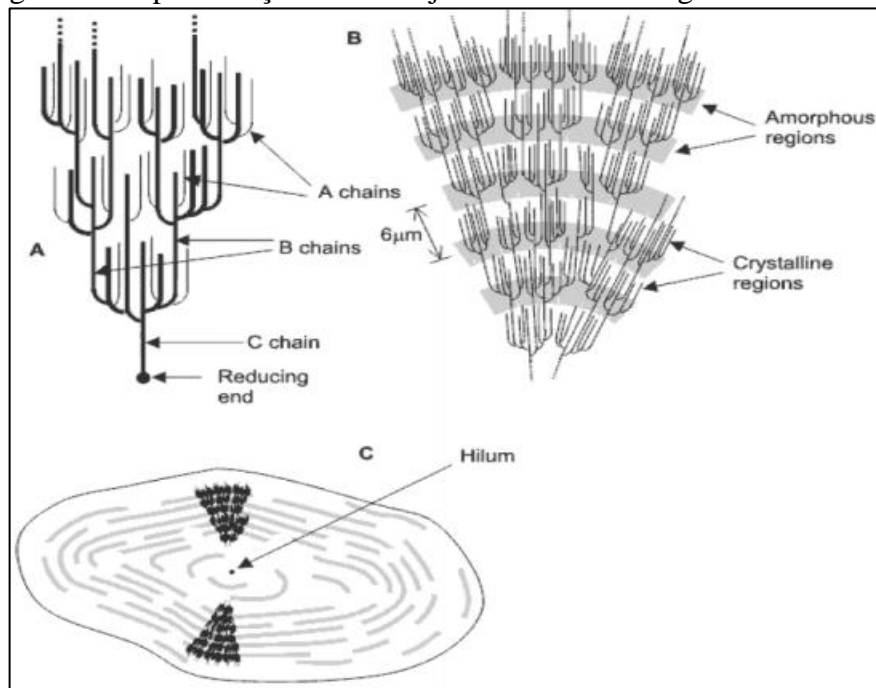


Fonte: Adaptado de Leonel (2007) (A, B, C e D) e Arns et al. (2015) (E, F, G e H).

As moléculas de amilopectina se organizam dentro do grânulo de três formas, sendo classificadas com A, B e C (FIGURA 6A). A organização é constituída apenas por cadeias de glicose (α -1,4) sem ramificações: A é composto por uma cadeia não redutora de glicoses unidas por ligações α -(1,4) sem ramificações, mas que ligam as cadeias B por ligações α -

(1,6). Nas cadeias do tipo B são encontradas ligações em α -(1,4) e α -(1,6), ligadas a pelo menos uma estrutura tipo A. A estrutura C é única composta por ligações α -(1,4) e α -(1,6), com grupamento terminal redutor (glicose) (LAJOLO; MENEZES, 2006; DENARDIN; SILVA, 2009).

Figura 5 - Representação dos arranjos moleculares do grânulo de amido.



Fonte: Adaptado de Parker e Ring (2001).

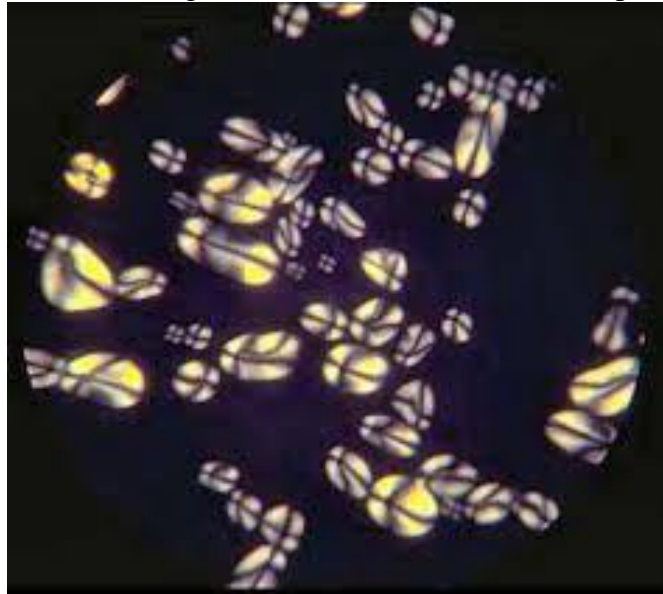
(A) Classificação das cadeias da amilopectina em tipo A, B e C. (B) Estrutura da amilopectina formando as regiões amorfas e cristalinas no grânulo de amido. (C) Modelo da estrutura interna do grânulo de amido com a visualização dos anéis de crescimento e centro ou *hilum*.

Segundo Denardin e Silva (2009) a localização exata da amilose ainda não é totalmente esclarecida. Entretanto, acredita-se que a molécula ocupe espaços vazios entre as cadeias da amilopectina, de forma aleatória entre as regiões amorfas de cristalinas. E que as moléculas de amilose de maior comprimento estejam mais próximas do centro dos grãos de amido e, provavelmente, participam das duplas hélices com a amilopectina, enquanto as moléculas menores presentes nas periféricas, podendo ser facilmente lixiviadas (OATES, 1997; LAJOLO; MENEZES, 2006).

O grânulo de amido na sua forma nativa é birrefringente quando visto microscopicamente sob luz polarizada (FIGURA 7). O que resulta na forma ‘Cruz de Malta’ causada pela refração da luz na superfície do grão de amido, o que caracteriza a orientação radial das macromoléculas. O centro ou *hilum*, encontrado no centro da cruz (Figura 6C), é considerado o ponto original de crescimento do grânulo. Esta característica é útil para

verificar se houve aplicação de métodos de processamento em determinadas amostras, o principal fator para a desorganização é a gelatinização (LAJOLO; MENEZES, 2006).

Figura 6 - Microfotografia de amido de batata sob luz polarizada.



Fonte: SBF Disponível em: <http://www.sbfgnosia.org.br/Ensino/amido.html>. Acesso em: 13 abr. 2020.

2.3.2 Gelatinização e retrogradação

Em temperatura ambiente, o amido é considerado insolúvel em água, porém, quando se aumenta a temperatura em soluções aquosas (> 60%), os grânulos começam a romper as ligações de hidrogênio mais fracas entre as cadeias de amilose e amilopectina e permitem a entrada e a ligação da água no interior do grão de amido, o que provoca diminuição das estruturas cristalinas e aumento da viscosidade até o rompimento total do grão, caracterizada pela formação de um gel, esta propriedade é denominada gelatinização (DAIUTO, 2005; PEREDA *et al*, 2005).

Este fenômeno ocorre em um determinado intervalo de temperatura, mais conhecido como temperatura de gelatinização, que varia de acordo com a fonte botânica (LEONEL, 2007).

Na Tabela 3, pode-se observar algumas temperaturas de gelatinização de amidos convencionais.

Tabela 3 - Temperaturas de gelatinização de amidos provenientes de diferentes fontes botânicas.

Fonte de amido	Faixa de temperatura de gelatinização (°C)
Arroz	68-77
Batata	58-68
Trigo	58-64
Milho	62-72
Centeio	57-70
Cevada	52-59
Mandioca	59-69
Batata doce	58-72

Fonte: Adaptado de Van Beynum e Roels (1985).

Segundo Singh *et al.* (2003), quando as moléculas de amido são aquecidas em excesso de água, a estrutura cristalina é rompida, e as moléculas de água formam ligações de hidrogênio entre a amilose e amilopectina, expondo seus grupos hidroxil, o que causa um aumento no inchamento e na solubilidade do grânulo. Isto pode variar de acordo com a fonte do amido, fornecendo evidências da interação entre as cadeias de amido dentro dos domínios amorfos e cristalinos. A extensão destas interações é influenciada pela proporção amilose-amilopectina e pelas características dessas moléculas (distribuição e peso molecular, grau e comprimento de ramificações e conformação) (MATSUGUMA *et al.*, 2009).

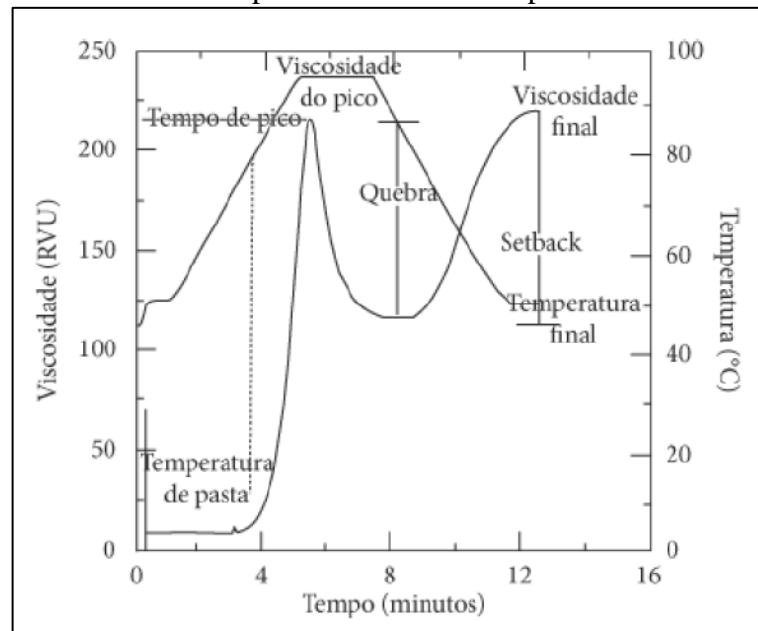
Com o resfriamento do amido gelatinizado, pode ocorrer um processo denominado retrogradação, que consiste na reassociação de moléculas de amido formando novamente estruturas cristalinas (recristalização), podendo provocar rigidez no gel, sedimentação de partículas e a expulsão de água (sinérese). É importante ressaltar, que o processo é mais facilitado em cadeias de amilose, visto que, as moléculas de amilopectina apresentam ramificações, o que dificulta estas reassociações (DENARDIN; SILVA, 2009).

Usualmente, duas análises são utilizadas para reproduzir e avaliar estes efeitos: por meio do Viscoamilógrafo Brabender, que se baseia na promoção do inchamento dos grânulos e na aferição mecânica da resistência dos grânulos a dissolução pelo calor ou a fragmentação pela agitação. No entanto, devido ao longo tempo de análise e a quantidade de amostra necessária, esta metodologia já foi quase totalmente substituída pelo RVA (*Rapid Viscosity*

Analyser). A análise de RVA possibilita a obtenção do perfil de empastamento do amido e os principais parâmetros são: a temperatura de pasta, o pico de viscosidade, o tempo para atingir o pico e a quebra, a viscosidade final e a tendência a retrogradação (FRANCO *et al.*, 2002).

Na Figura 8, é possível observar o comportamento típico de viscosidade de soluções de amido pelo RVA. Em princípio, quando se aquece a amostra, ocorre um aumento na viscosidade, devido ao inchamento dos grãos. Em seguida, um pico de viscosidade é obtido durante o empastamento, quando os grânulos, em sua maioria, estão totalmente inchados, havendo também grânulos intactos e o alinhamento molecular dos polímeros solubilizados ainda não ocorreu dentro do campo de atrito do instrumento. Durante a fase de temperatura (95 °C) e agitação constante, os grânulos começam a quebrar, a solubilização dos polímeros continua e o alinhamento molecular ocorre dentro do campo de atrito do instrumento, causando diminuição da viscosidade (THOMAS; ATWELL, 1999).

Figura 7 - Curva de viscosidade típica do RVA com os parâmetros comumente avaliados.



Fonte: Newport Scientific (1998).

2.4 Digestibilidade do amido

Os carboidratos representam cerca de 60 % da energia calórica (em média 1.866 kcal/dia) consumida diariamente por um indivíduo saudável. Dentre estes, o amido pode ser considerado a principal fonte de carboidratos da dieta (LOUZADA *et al.*, 2015). E nos grãos de arroz, o percentual deste polissacarídeo pode representar até 80%, o que reforça a sua importância nutricional (NEPA-UNICAMP, 2011).

O processo de digestão do amido tem início ainda na boca, por meio do contato com enzimas salivares (α -amilases) que já na ingestão e mastigação, dão início à clivagem do amido em oligossacarídeos de cadeias mais curtas. No estômago estes são ainda mais fragmentados pela presença da pepsina, lipase gástrica e também do ácido clorídrico, porém, sem a hidrólise significativa. Desta forma, a digestão destes carboidratos só ocorre no intestino humano pela α -amilase pancreática (GUERRA *et al.*, 2012; PERERA; MEDA; TYLER, 2010).

Entretanto, em alguns casos, a digestão enzimática no intestino pode não ocorrer e, conseqüentemente, quantidades substanciais de amido podem chegar ao cólon humano. Estes componentes amiláceos não digeríveis são descritos como amidos resistentes (AM) (JIANG *et al.*, 2020). A extensão da hidrólise e/ou a não digestão do amido no intestino delgado está relacionada a diversos fatores, como por exemplo, as propriedades estruturais, modificações químicas, etapas de processamento e de calor, dentre outros, capazes de tornar estas moléculas inacessíveis e/ou resistentes à digestão humana (ZHANG; AO; HAMAKER, 2006; ENGLYST; CUMMINGS, 1985; ENGLYST; KINGMAN; CUMMINGS, 1992).

De acordo com Pascual (2010) o entendimento da digestibilidade do amido no organismo é de grande relevância, pois, afeta respostas metabólicas do corpo, como por exemplo, os níveis de glicose e insulina no sangue. Com base na digestão, na liberação de glicose e sua absorção, o amido é classificado em rapidamente digerível (AMD), pois, é digerido e absorvido pelas enzimas em até 20 minutos de ensaio de digestão *in vitro*; Lentamente digerível (LMD), que pode ser completamente digerido entre 20 e 120 minutos; E o amido resistente (AM), que resiste a simulação enzimática (ZHANG; AO; HAMAKER, 2006; ENGLYST; KINGMAN; CUMMINGS, 1992; ENGLYST; CUMMINGS, 1986).

Na literatura, os amidos resistentes estão divididos em cinco tipos. O Tipo 1 (AR1), que consiste no amido difícil de digerir devido a sua rigidez estrutural; O tipo 2 (AR2), que representa os grânulos de amido em produtos crus que resistem à digestão e/ou envoltos por cloroplastos/paredes celulares; O tipo 3 (AR3), definido como o amido retrogradado formado após a gelatinização; O tipo 4 (AR4), que engloba os produtos amiláceos quimicamente modificados; e o tipo 5 (AR5), que tem sido relacionados a amidos complexados com lipídeos (RAIGOND; EZEKIEL; RAIGOND, 2015; ZHANG *et al.*, 2013a).

2.4.1 Atividade prebiótica do amido resistente

Na literatura, a definição mais aceita para alimentos com atividade prebiótica foi descrita por Gibson e Roberfroid (1995) Os autores descreverem como “Um ingrediente alimentar não digerível que afeta beneficemente o hospedeiro ao estimular seletivamente o crescimento e/ou a atividade de uma ou um número limitado de bactérias no cólon”. No entanto a Associação Científica Internacional de Probióticos e Prebióticos (ISAPP), definiu, em 2016, como “Um substrato que é seletivamente utilizado por microrganismos hospedeiros que conferem benefício à saúde” (GIBSON *et al.*, 2017).

No entanto, para ser considerado como substancia prebiótica, os compostos também devem cumprir os seguintes requisitos: (i) no trato gastrointestinal: não podem ser hidrolisados nem absorvidos em sua parte superior; (ii) ser de fermentação seletiva para microrganismos probióticos; promover o equilíbrio na composição da microbiota intestinal; (iii) induzir efeitos benéficos para a saúde do hospedeiro (GIBSON *et al.*, 2004).

Várias substâncias prebióticas já são bem estabelecidas na literatura e também nas indústrias de alimentos. Os principais grupos são: os galactooligossacarídeos (GOS), xilooligossacarídeos (XOS), isomalto-oligossacarídeos (IMO), oligossacarídeos de soja (SOS), lactulose, inulina e seus derivados, o amido resistente, pectinas, arabinoxilanas, grãos integrais e diversas outras substâncias que também exercem ações modulação da microbiota intestinal (MOHANTY *et al.*, 2018; VALCHEVA; DIELEMAN, 2016; AL-SHERAJI *et al.*, 2013).

No caso de amidos e produtos amiláceos, esta propriedade funcional pode ser observada em principio para os amidos resistentes, que por sua vez, são descritos como a porção do amido que resiste à desintegração no sistema digestivo e, segue para o intestino grosso, onde pode ser utilizado pela microbiota intestinal como substratos fermentáveis (ZHANG *et al.*, 2013a).

Estudos *in vivo*, já mostraram benefícios à saúde como a prevenção de câncer intestinal, aumento da absorção de nutrientes, diminuição do colesterol e diversos outros, que estão relacionados aos produtos gerados no processo fermentativo, principalmente, os ácidos graxos de cadeia curta (HALD *et al.*, 2016; HAENEN *et al.*, 2013; KLOSTERBUER *et al.*, 2013).

O efeito seletivo do amido resistente na composição da microbiota intestinal também foi amplamente estudado por diversos autores (SUN; SU; ZHU, 2016; LYTE *et al.*, 2016; KIFFER *et al.*, 2016; HU *et al.*, 2015; TACHON *et al.*, 2013). Os experimentos revelam o

aumento de grupos de microrganismos considerados benéficos (probióticos), em especial, as bifidobactérias, os lactobacilos e de *Ruminococcus* (UPADHYAYA *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2013b; ZE *et al.*, 2012; RODRÍGUEZ-CABEZAS *et al.*, 2010).

Além disso, o amido resistente promove a redução significativa de patógenos, como *Escherichia coli*, *Escherichia-Shige*, *Klebsiella* e *Pseudomonas* (ZHOU *et al.*, 2015; HAENEN *et al.*, 2013). Segundo Sun *et al.* (2015), a ingestão controlada de AR provoca diminuição desejável no número total de microrganismos presentes no organismo. Destacando-se a diminuição de bactérias patológicas como *Escherichia coli*, *Escherichia-Shige*, *Klebsiella* e *Pseudomonas*. Destacando-se a redução da família dos gêneros Firmicutes e de Proteobacterias. Também se verifica um aumento nas populações de *Ruminococcus*, *Lactobacillus spp.*, *Atopobium spp.*, *Faecalibacterium prausnitzii*, *Megasphaera elsdenii*, *Coprococcus* e *Turicibacter* (ORDIZ *et al.*, 2015; SUN *et al.*, 2015; LESMES *et al.*, 2008; SIEW-WAI *et al.*, 2010).

Neste sentido, diversos mecanismos são discutidos nestes trabalhos, relacionando o consumo de amido resistente com o efeito na microbiota intestinal. Dentre estes, a competição dos microrganismos probióticos por espaço nos preceptores de aderência, diminuição do tempo de permanência de patógenos devido a regulação do fluxo intestinal e à diminuição de nutrientes necessários para o desenvolvimento destes microrganismos maléficos, como no caso do ferro essencial para as proteínas de transporte intracelular. Além da presença dos ácidos graxos de cadeia curta que regulam o pH do intestino, promovendo assim, o efeito seletivo com a diminuição de patógenos e aumento da microbiota de probióticos (ORDIZ *et al.*, 2015; ZHOU *et al.*, 2015; HAENEN *et al.*, 2013).

É importante destacar, que apesar dos experimentos apresentarem resultados satisfatórios para o amido resistente de forma geral, os tipos mais estudados são o 2 e o 3. Sendo que se observa melhores resultados para o tipo 3 (AR3) (ZE *et al.*, 2012). Segundo Zhang *et al.* (2013b) a superfície mais áspera do AR3 que facilita a aderência destas bactérias e produtos gerados (principalmente butirato) aumenta esta seletividade. Alguns trabalhos também compararam a dieta com amido resistente a outros tipos de fibras, como nos ensaios de Umu *et al.* (2015), que ao submeterem porcos à dieta sem fibras, com alginato e com AR, verificaram que somente o AR modificou a composição microbiana de forma seletiva.

2.5 Modificações do amido

As demandas tecnológicas por amidos com parâmetros específicos para cada produto levaram ao surgimento de técnicas de modificação do amido nativo. Como a modificação das características de cozimento (gomificação); a diminuição da retrogradação e a tendência das pastas em formarem géis; o aumento da estabilidade das pastas ao resfriamento e descongelamento; a transparência das pastas ou géis e a adesividade; a melhora da textura das pastas ou géis e a formação de filmes; a adição de grupamentos hidrofóbicos e com poder emulsificante e; a redução da digestibilidade (CEREDA *et al.*, 2001).

Essas modificações podem ser por vias físicas (extrusão, pulverização), vias químicas (oxidação, fosfatação, acetilação, succinilação), vias enzimáticas (desramificação e/ou despolimerização por alfa e beta-amilases e também por vias combinadas (CEREDA *et al.*, 2001). Neste sentido, algumas formas de modificação têm sido utilizadas para a melhoria da resistência do amido ao processo digestório, como por exemplo, o anelamento, intercruzamento (*cross-linkig*), aplicação de altas pressões, parboilização, irradiação, processos hidrotérmicos, tratamentos ácidos, dentre outros (CHENG; CHEN; YEH, 2019; CHI *et al.*, 2019; SHI; SUN; SHI, 2019; POLESI *et al.*, 2017; ASHWAR *et al.*, 2016; HUNG, VIEN; PHI, 2016).

O método físico, conhecido como tratamento hidrotérmico de calor e baixa umidade (HMT), se destaca como uma tecnologia sustentável e segura, pois, na maioria das vezes só são utilizadas a umidade e a temperatura (XIA; LI; GAO, 2016). Além disso, com o objetivo de aumentar a estabilidade térmica e potencializar os efeitos do HMT, podem ser aplicados alguns métodos combinados, como por exemplo, o tratamento HMT e tratamentos de recozimento (BOONNA; TONGTA, 2018); o HMT combinado com a reticulação (PARK *et al.*, 2018); e o HMT combinado com ácidos orgânicos (HUNG; VIEN; PHI, 2016).

2.5.1 Tratamento com calor e baixa umidade (HMT)

O tratamento com calor e baixa umidade, cujo termo técnico em inglês utilizado é *heat-moisture treatment* (HMT) pode ser considerado uma tecnologia emergente de modificação de amidos isolados, cereais e produtos amiláceos (YAN *et al.*, 2020; KAUR; SINGH, 2019; PARK *et al.*, 2018). Durante este procedimento, os grãos de amido são acondicionados em umidades menores que 35% e submetidos a temperaturas entre 84 a 120°C, por períodos de tempo que podem variar de 0,25 a 16 horas (dependendo do grau de modificação) (ZAVAREZE; DIAS, 2011). É extremamente importante destacar que, apesar

das temperaturas aplicadas estarem acima das faixas de temperatura de gelatinização, este fenômeno não ocorre, em virtude das baixas umidades utilizadas no HMT (HOOVER, 2010).

Dentre os objetivos da aplicação do HMT, pode-se destacar as alterações em parâmetros como a digestibilidade do amido (amido resistente), propriedades de pasta, cristalinidade e gelatinização do amido (HORMDOK; NOOMHORM, 2007, JIRANUNTAKUL *et al.*, 2011; WATCHARATEWINKUL *et al.*, 2010). Neste sentido, vários pesquisadores têm estudado a influência desta tecnologia em teores de amidos resistentes de diferentes fontes e/ou produtos. Como no trabalho de Wang *et al.* (2018) que aplicaram o HMT com 30% de umidade no amido nativo de arroz, e aumentaram em aproximadamente 410% os teores de amido resistente (AM) e lentamente digerível (LMD).

Apesar de ainda ser pouco explorada, essa tecnologia também tem sido aplicada diretamente em grãos de arroz. Tal interesse se deve à importância deste grão como alimento na intervenção dietética dos indivíduos, visto que, pode ser considerado um produto de alimentação base mundialmente (TOUTOUNJI *et al.*, 2019). Silva *et al.* (2017) aplicaram o HMT em diferentes níveis de umidade (entre 13 e 18%) e verificaram aumento significativo para amido resistente. E também Cheng *et al.* (2019) que aplicaram o HMT (umidade:13%; temperatura: 121 °C; tempo: 30 minutos) após a parboilização e verificaram aumento de aproximadamente 400% nos teores de amido resistente e lentamente digerível.

Em revisão de literatura, os autores Zavareze e Dias (2011) destacam diversos mecanismos que ocasionam a melhoria dos teores de amido resistente nos produtos. Dentre eles, estão o fortalecimento das ligações de hidrogênio à reaproximação intermolecular e à recristalização (retrogradação), formando hélices duplas, fortemente estabilizadas por uma ligação de hidrogênio. Ainda de acordo Ashwar *et al.* (2016) estes fenômenos são considerados modificações físicas do grão de amido, e não alteram a estrutura granular.

2.5.2 HMT combinado com tratamento ácido

A tecnologia HMT também está sendo utilizada em inúmeros experimentos de forma combinada com ácidos orgânicos em amidos diversos, em sua maioria, com o objetivo de melhorar os teores de amidos resistentes. O efeito combinado do ácido pode ser explicado pela despolimerização do amido causada pelas hidrolises das cadeias, o que melhora a mobilidade e o realinhamento das cadeias resultantes durante o HMT, conseqüentemente, potencializando a melhoria dos percentuais de AM nos produtos (HUNG; VIEN; PHI, 2016; KIM; HUBER, 2013; LIN *et al.*, 2011).

Os autores Xia, Li e Gao (2016) relataram valores acima de 70% de AM em amido isolado de batata doce previamente tratados com HMT e, em seguida, submetidos a aplicação de ácido cítrico. Já Hung, Vien e Phi (2016) testaram diferentes ácidos (lático, cítrico e acético) em amido de arroz e verificaram melhor desempenho para o ácido cítrico, sendo que aumentou de 6,3-10,2% (amido nativo) para 18,5-23,9% (após tratados com HMT) e para 35,3-39,0% (HMT combinado com ácido cítrico).

Dentre os principais mecanismos dos ácidos orgânicos na digestibilidade do amido está a hidrólise de ligações glicosídicas nos grânulos. Teoricamente, em primeiro estágio, os ácidos hidrolisam as partes mais amorfas dos grãos de amido e, posteriormente, também podem clivar regiões mais cristalinas, produzindo fragmentos com cadeias mais curtas (LIU *et al.*, 2014; HOOVER, 2000). Desta forma, espera-se que durante a retrogradação, ocorra a formação da dupla hélice de forma mais ordenada, o que dificultaria o acesso das enzimas durante o processo digestivo. Além disso, no caso do ácido cítrico durante o aquecimento ocorrem reações de desidratação, resultando no anidrido cítrico, que por sua vez, reage com as cadeias de amido e formam o citrato de amido. Este complexo pode promover associações entre amilose e amilopectina, o que impede o inchaço dos grânulos de amido (XIE; LIU, 2004).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A etapa de polimento está diretamente ligada ao teor de amido resistente do arroz e qualidade do cozimento dos grãos, visto que a barreira física proporcionada pela camada de aleurona mostrou influência direta no resultado da aplicação da parboilização e do HMTac.

Por sua vez, a parboilização do arroz aumentou em até cinco vezes os teores de amido resistente. Já o método HMTac potencializou em até 13 vezes este efeito, podendo ser considerado uma tecnologia eficiente para o aumento do conteúdo de amido resistente em grãos de arroz.

Assim, torna-se necessário encontrar dosagens intermediárias (exemplo: HMTac-3 e HMTac-4) que ofereçam qualidade aceitável e níveis de amido resistentes aos grãos de arroz, e que ao mesmo tempo, apresentem efeitos benéficos sobre a saúde do consumidor. Portanto, é fundamental que os benefícios encontrados na literatura em relação ao consumo de amido resistente, futuramente sejam também estudados *in vivo*, no que se refere às amostras estudadas no presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABIAP. Associação Brasileira de Arroz Parboilizado. **Dados de 2007**. Disponível em: <http://www.abiap.com.br/ArrozProcesso.phpAndgt>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- MATO, G. W.; ELIAS, M. C. **Parboilização do arroz**. Porto Alegre: Ricardo Lenz Ziede, 2005.
- AL-SHERAJI, S. H. *et al.* Prebiotics as functional foods: A review. **Journal of functional foods**, v. 5, n. 4, p. 1542-1553, 2013.
- ARNS, B. *et al.* Impact of heat-moisture treatment on rice starch, applied directly in grain paddy rice or in isolated starch. **LWT-Food Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 708-713, 2015.
- ASHWAR, B. A. *et al.* Production of resistant starch from rice by dual autoclaving-retrogradation treatment: In vitro digestibility, thermal and structural characterization. **Food Hydrocolloids**, v. 56, p.108-117, 2016.
- BALBINOTI, T. C. V. *et al.* Parboiled rice and parboiling process. **Food Engineering Reviews**, v. 10, p. 165–185, 2018.
- BECKER-ALGERI, T. A. *et al.* Efeito do beneficiamento e aplicação de tratamento térmico na composição química e digestibilidade proteica do arroz. **Revista CSBEA**, v. 3, n. 1, p 1-7, 2017.
- BEWLEY, J. D. *et al.* Structure and Composition. In: BEWLEY, J. D. *et al.* (Orgs.). *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. New York: Springer, p. 1-25, 2013.
- BHATTACHARYA, K. R.; ALI, S. Z. **An introduction to rice-grain technology**. WPI Publishing, 2015.
- BOONNA, S.; TONGTA, S. Structural transformation of crystallized debranched cassava starch during dual hydrothermal treatment in relation to enzyme digestibility. **Carbohydrate polymers**, v. 191, p. 1-7, 2018.
- BRASIL. MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **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, 2009.
- CASTRO, E. M. *et al.* **Qualidade de grãos em arroz**. Embrapa Arroz e Feijão, 1999.
- CAKMAK, I. *et al.* Iodine biofortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy. **Plant and Soil**, v. 418, n. 1-2, p. 319-335, 2017.
- CEREDA, M. P. **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2001. V. 1.

CHENG, K.; CHEN, S.; YEH, A. Physicochemical properties and in vitro digestibility of rice after parboiling with heat moisture treatment. **Journal of cereal science**, v. 85, p. 98-104, 2019.

CHI, C. et al. Dry heating and annealing treatment synergistically modulate starch structure and digestibility. **International journal of biological macromolecules**, v. 137, p. 554-561, 2019.

CHUKWU, O.; OSEH, F. J. Response of nutritional contents of rice (*Oryza sativa*) to parboiling temperatures. **American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture**, v. 3, n. 3, p. 381-387, 2009.

CONAB. Companhia Nacional De Abastecimento. **A cultura do arroz**. Brasília: Conab, 2015.

_____. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2018/19**. Décimo segundo levantamento, setembro 2019. Brasília: Conab, 2019.

_____. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2019/20**. Décimo levantamento, julho 2020. Brasília: Conab, 2020.

DAIUTO, E.R. **Características de féculas de tuberosas e suas relações com resistências dos géis sob condições de estresse aplicada na industrialização de alimentos**. 2005. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2005.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009.

DUTTA, H.; MAHANTA, C. L. Traditional parboiled rice-based products revisited: Current status and future research challenges. **Rice Science**, 2014, v. 21, n. 4, p. 187-200, 2014.

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. **Qualidade de arroz da pós-colheita ao consumo**. Pelotas: UFPEL, 2012. Cap. 4. p.43-55.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L. **Qualidade de arroz na pós-colheita e na agroindústria: análise, conservação e tipificação**. Pelotas: Santa Cruz, 2015.

ENGLYST, H. N.; CUMMINGS, J. H. Digestion of the polysaccharides of some cereal foods in the human small intestine. **The American journal of clinical nutrition**, v. 42, n. 5, p. 778-787, 1985.

_____. Digestion of the carbohydrates of banana (*Musa paradisiaca sapientum*) in the human small intestine. **The American journal of clinical nutrition**, v. 44, n. 1, p. 42-50, 1986.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European journal of clinical nutrition**, v. 46, p. 33-50, 1992.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAO expects rice production to rise by 1.8 percent in 2008**: Market situation remains difficult in the short-term – lower rice trade. 2008. Disponível em: <http://www.fao.org/newsroom/en/news/2008/1000820/index.html>.. Acesso em: 13 dez. 2019

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. **World rice paddy production**. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 13 dez. 2019.

FRANCO, C. M. L. *et al.* **Culturas de Tuberosas amiláceas latino americanas**. Propriedades gerais do amido. São Paulo: Cargill, 2002.

FUENTES- ZARAGOZA, E. *et al.* Resistant starch as prebiotic: A review. **Starch- Stärke**, v. 63, n.7, p. 406-415, 2011.

GALERA, J. S. **Substituição parcial da farinha de trigo por farinha de arroz (*Oryza sativa* L.) na produção de “sonho” – estudo modelo**. 2006. 99 f. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2006.

GIBSON, G. R.; ROBERFROID, M. B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. **The Journal of nutrition**, v. 125, n. 6, p. 1401-1412, 1995.

GIBSON, G. R. *et al.* The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. **Nature reviews Gastroenterology & hepatology**, v. 14, n. 8, p. 491-502, 2017.

GUERRA, A. *et al.* Relevance and challenges in modeling human gastric and small intestinal digestion. **Trends in biotechnology**, v. 30, n. 11, p. 591-600, 2012.

GUTOSKI, L. C.; ELIAS, M. C. Estudo da água de maceração de arroz a 60 °C em diferentes condições e manejo. **Instituto Rio-Grandense de Arroz – IRGA: Lavoura Arrozeira**, v. 47, n. 414, p. 6-10, 1994.

HAENEN, D. *et al.* Resistant Starch Induces Catabolic but Suppresses Immune and Cell Division Pathways and Changes the Microbiome in Proximal Colon of Male Pigs. **The Journal of nutrition**, v. 143, n. 12, p. 1889-98, 2013.

HALD, S. *et al.* Effects of Arabinoxylan and Resistant Starch on Intestinal Microbiota and Short-Chain Fatty Acids in Subjects with Metabolic Syndrome: A Randomised Crossover Study. **Plos One**, v. 11, n. 7, p. e0159223, 2016.

HOOVER, R. Acid-treated starches. **Food Reviews International**, v. 16, n.3, p. 369-392, 2000.

HOOVER, R. The impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 50, n. 9, p. 835-847, 2010.

HOUSSOU, A. F. P. *et al.* Comparison of parboiled and white rice obtained from ten varieties cultivated in Benin. **International Food Research Journal**, v. 23, n. 6, p. 24-79, 2016.

HORMDOK, R.; NOOMHORM, A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. **LWT-Food Science and Technology**, v. 40, n.10, p. 1723-1731, 2007.

HU, Y. *et al.* Manipulation of the gut microbiota using resistant starch is associated with protection against colitis-associated colorectal cancer in rats. **Carcinogenesis**, v. 37, n. 4, p. 366-375, 2015.

HU, Z. Q. *et al.* Effect of parboiling on phytochemical content, antioxidant activity and physicochemical properties of germinated red rice. **Food chemistry**, v. 214, p. 285-292, 2017.

HUNG, P. V.; VIEN, N. L.; PHI, N. T. L. Resistant starch improvement of rice starches under a combination of acid and heat-moisture treatments. **Food Chemistry**, v. 191, p. 67-73, 2016.

ISLAM M. R.; SHIMIZU N.; KIMURA T. Quality evaluation of parboiled rice with physical properties. **Food Science Technology Research**, v. 7, p. 57-63, 2001.

JIANG, F. *et al.* The preparation, formation, fermentability, and applications of resistant starch. **International journal of biological macromolecules**, v. 150, p. 1155-1161, May. 2020.

JIRANUNTAKUL, W. *et al.* Microstructural and physicochemical properties of heat-moisture treated waxy and normal starches. **Journal of Food Engineering**, v. 104, p. 246-258, 2011.

JULIANO, B. O. **Rice: chemistry and technology**. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1985.

LAJOLO, F. M.; MENEZES, E.W. **Carboidratos em alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: UNICAMP, 2006.

LEETHANAPANICH, K.; MAUROMOUSTAKOS, A.; WANG, Y. Impacts of parboiling conditions on quality characteristics of parboiled commingled rice. **Journal of cereal science**, v. 69, p. 283-289, 2016.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 579-588, 2007.

LIU, H. *et al.* The effect of high moisture heat-acid treatment on the structure and digestion property of normal maize starch. **Food chemistry**, v. 159, p. 222-229, 2014.

LIN, J. *et al.* Partial-degradation and heat-moisture dual modification on the enzymatic resistance and boiling-stable resistant starch content of corn starches. **Journal of Cereal science**, v. 54, n. 1, p. 83-89, 2011.

LYTE, M. *et al.* Resistant starch alters the microbiota-gut brain axis: Implications for dietary modulation of behavior. **PLoS ONE**, v. 11, n. 1, p. 1-23, 2016.

LONDO, J. P. Phylogeography of Asian wild rice, *Oryza rufipogon*, reveals multiple independent domestications of cultivated rice, *Oryza sativa*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, p. 9578-9583, 2006.

LOUZADA, M. L. C. et al. Ultra-processed foods and the nutritional dietary profile in Brazil. **Rev. Saúde Pública**, São Paulo, v. 49, Epub July 10, 2015.

KAUR, M.; SINGH, S. Influence of heat-moisture treatment (HMT) on physicochemical and functional properties of starches from different Indian oat (*Avena sativa* L.) cultivars. **International journal of biological macromolecules**, v. 122, p. 312-319, 2019.

KIEFFER, D. A. et al. Resistant Starch Alters Gut Microbiome and Metabolomics Profiles Concurrent with Amelioration of Chronic Kidney Disease in Rats. *American journal of physiology. Renal physiology*, v. 2, p. 00513.2015, 2016.

KIM, J.; HUBER, K. C. Heat-moisture treatment under mildly acidic conditions alters potato starch physicochemical properties and digestibility. **Carbohydrate polymers**, v. 98, n. 2, p. 1245-1255, 2013.

KLOSTERBUER, A. S. *et al.* Gastrointestinal effects of resistant starch, soluble maize fibre and pullulan in healthy adults. **The British journal of nutrition**, v. 110, n. 6, p. 1068-74, 2013.

MATSUGUMA, L. S. *et al.* Characterization of native and oxidized starches of two varieties of Peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza*, b.) from two production areas of paraná state, Brazil. **Food/feed science and technology**, v. 52, n. 3, p.701-713, 2009.

MIAH, M. *et al.* Parboiling of rice. Part I: effect of hot soaking time on quality of milled rice. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 37, p. 527-537, 2002.

MOHANTY, D. *et al.* Prebiotics and synbiotics: Recent concepts in nutrition. **Food bioscience**, v. 26, p. 152-160, 2018.

NEPA. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO)**. Campinas: UNICAMP, 2011.

NEWPORT SCIENTIFIC. Applications manual for the rapid viscotm analyzer using thermocline for windows. **Newport Scientific Pty Ltda.**, v. 1, n. 2, p. 2-26, 1998.

OATES, C.G. Towards and understanding of starch granule structure and hydrolysis. **Trends in Food Science & Technology**, v. 8, p. 375-382, 1997.

ORDIZ, M. I. *et al.* The effect of dietary resistant starch type 2 on the microbiota and markers of gut inflammation in rural Malawi children. **Microbiome**, v. 3, p. 37, 2015.

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

PARKER, R.; RING, S. G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, v. 34, p. 1-17, 2001.

PARRADO, J. et al. Preparation of a rice bran enzymatic extract with potential use as functional food. **Food Chemistry**, v. 98, p. 742-748, 2006.

PARK, E. Y. *et al.* Effect of dual modification of HMT and crosslinking on physicochemical properties and digestibility of waxy maize starch. **Food Hydrocolloids**, v. 75, p. 33-40, 2018.

PASCUAL, C. S. C. I. **Efeitos da parboilização do arroz (*Oryza sativa* L.) integral sobre os compostos bioativos e a disponibilidade do amido**. 2010. 102 f. Tese (Doutorado em Bromatologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ORDOÑEZ-PEREDA, J. A. Carboidratos. In: _____. **Tecnologia dos alimentos: componentes dos alimentos e processos**. São Paulo: Artmed, v. 2, p. 63-79, 2005.

PAL, P. *et al.* Effect of parboiling on phenolic, protein, and pasting properties of rice from different paddy varieties. **Journal of food science**, v. 83, n. 11, p. 2761-2771, 2018.

PERERA, A.; MEDA, V.; TYLER, R. T. Resistant starch: A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. **Food Research International**, v. 43, n. 8, p. 1959-1974, 2010.

PETRONI, K. *et al.* Proximate composition, polyphenol content and anti-inflammatory properties of white and pigmented Italian rice varieties. **Universal Journal of Agricultural Research**, v. 5, n. 5, p. 312-321, 2017.

POLESI, L. F. *et al.* Starch digestibility and physicochemical and cooking properties of irradiated rice grains. **Rice Science**, v. 24, n. 1, p. 48-55, 2017.

RAIGOND, P.; EZEKIEL, R.; RAIGOND, B. Resistant starch in food: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 10, p. 1968-1978, 2015.

REDDY, C. K. *et al.* Effects of polishing on proximate composition, physico-chemical characteristics, mineral composition and antioxidant properties of pigmented rice. **Rice Science**, v. 24, n. 5, p. 241-252, 2017.

RODRÍGUEZ-CABEZAS, M. E. et al. The combination of fructooligosaccharides and resistant starch shows prebiotic additive effects in rats. **Clinical Nutrition**, v. 29, n. 6, p. 832-839, 2010.

SCHATZ, M. C. *et al.* Whole genome de novo assemblies of three divergent strains of rice, *Oryza sativa*, document novel gene space of aus and indica. **Genome biology**, v. 15, n. 11, p. 506, 2014.

SIEW-WAI, L. *et al.* Fermentation of Metroxylon sagu resistant starch type III by *Lactobacillus* sp. and *Bifidobacterium bifidum*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 4, p. 2274-2278, 2010.

SHAIKH, F. *et al.* Comparative study on effects of citric and lactic acid treatment on morphological, functional, resistant starch fraction and glycemic index of corn and sorghum starches. **International journal of biological macromolecules**, v. 135, p. 314-327, 2019.

- SHI, J.; SUN, Z.; SHI, Y. Improved in vitro assay of resistant starch in cross-linked phosphorylated starch. **Carbohydrate polymers**, v. 210, p. 210-214, 2019.
- SINGH, N. *et al.* Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, p. 219–231, 2003.
- SILVA, W. M. F. *et al.* Starch digestibility and molecular weight distribution of proteins in rice grains subjected to heat-moisture treatment. **Food Chemistry**, v. 219, p. 260-267, 2017.
- SOLIMAN, G. A. Fibra alimentar, aterosclerose e doenças cardiovasculares. **Nutrientes**, v. 11, n. 5, p. 1155, 2019.
- SRISANG, N.; CHUNGCHAROEN, T. Quality attributes of parboiled rice prepared with a parboiling process using a rotating sieve system. **Journal of Cereal Science**, v. 85, p. 286-294, 2019.
- SIRISOONTARALAK, P. *et al.* Effects of soaking and acidification on physicochemical properties of calcium- fortified rice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 8, p. 2796-2804, 2016.
- STORCK, C. R.; SILVA, L. P.; COMARELLA, C. G. Influência do processamento na composição nutricional de grãos de arroz. **Alimentos e Nutrição**, v. 16, n. 3, p. 259-264, 2009.
- STORCK, C. R. **Variação na composição química em grãos de arroz submetidos a diferentes beneficiamentos**. 2004. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2004.
- SUN, Y. *et al.* Responses in colonic microbial community and gene expression of pigs to a long-term high resistant starch diet. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, p. 1-10, 2015.
- SUN, Y.; SU, Y.; ZHU, W. Microbiome-metabolome responses in the cecum and colon of pig to a high resistant starch diet. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, p. 779, 2016.
- SWASDISEVI, T. *et al.* Effect of pre-steaming on production of partially-parboiled rice using hot-air fluidization technique. **Journal of Food Engineering**, v. 96, p. 455-462, 2010.
- TACHON, S. *et al.* The intestinal microbiota in aged mice is modulated by dietary resistant starch and correlated with improvements in host responses. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 83, n. 2, p. 299-309, 2013.
- TIAN, J. *et al.* Parboiling reduced the crystallinity and in vitro digestibility of non-waxy short grain rice. **Food chemistry**, v. 257, p. 23-28, 2018.
- THOMAS, D. J.; ATWELL, W. A. Gelatinization, pasting and retrogradation. In: _____. **Starches**. St Paul: American Association of Cereal Chemists, 1999.
- TOUTOUNJI, M. R. *et al.* Intrinsic and extrinsic factors affecting rice starch digestibility. **Trends in Food Science & Technology**, v. 88, p. 10-22, 2019.

- UMU, Ö. C. O. *et al.* Resistant starch diet induces change in the swine microbiome and a predominance of beneficial bacterial populations. **Microbiome**, v. 3, n. 1, p. 16, 2015.
- UPADHYAYA, B. *et al.* Impact of dietary resistant starch type 4 on human gut microbiota and immunometabolic functions. **Scientific Reports**, v. 6, p. 28797, 2016.
- VALCHEVA, R.; DIELEMAN, L. A. Prebiotics: definition and protective mechanisms. **Best Practice & Research Clinical Gastroenterology**, v. 30, n. 1, p. 27-37, 2016.
- VAN BEYNUM, G. M. A.; ROELS, J. A. **Starch conversion technology**. Londres: Applied Science Public, 1985.
- VERONESE, N. *et al.* Fibra alimentar e resultados de saúde: uma revisão abrangente de revisões sistemáticas e metanálises. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 107, n. 3, p. 436-444, 2018.
- XIA, H.; LI, Y.; GAO, Q. Preparation and properties of RS4 citrate sweet potato starch by heat-moisture treatment. **Food Hydrocolloids**, v. 55, p. 172-178, 2016.
- XIE, X. S.; LIU, Q. Development and physicochemical characterization of new resistant citrate starch from different corn starches. **Starch- Stärke**, v. 56, n. 8, p. 364-370, 2004.
- XU, X. *et al.* Effect of ultra-high pressure on quality characteristics of parboiled rice. **Journal of Cereal Science**, v. 87, p. 117-123, 2019.
- YAN, Y. *et al.* Effect of plasma-activated water on the structure and in vitro digestibility of waxy and normal maize starches during heat-moisture treatment. **Food Chemistry**, v. 306, p. 125589, 2020.
- WANG, H. *et al.* Insights into the multi-scale structure and digestibility of heat-moisture treated rice starch. **Food chemistry**, v. 242, p. 323-329, 2018.
- WATCHARATEWINKUL, Y *et al.* Enzyme digestibility and acid/shear stability of heat-moisture treated canna starch. **Starch - Stärke**, v. 62, n. 3-4, p. 205-216, 2010.
- WHO. World Health Organization. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Carbohydrates in human nutrition**. Rome: FAO food and nutrition paper, 1998.
- ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 317-328, 2011.
- ZE, X. *et al.* Ruminococcus bromii is a keystone species for the degradation of resistant starch in the human colon. **The ISME Journal**, v. 6, n. 8, p. 1535-1543, 2012.
- ZHANG, G.; AO, Z.; HAMAKER, B. R. Slow digestion property of native cereal starches. **Biomacromolecules**, v. 7, n. 11, p. 3252-3258, 2006.
- ZHANG, J. *et al.* A Diet High in Resistant Starch Modulates Microbiota Composition , SCFA Concentrations , and Gene Expression in Pig Intestine 1 – 3. **The Journal of Nutrition**, v. 143, p. 274-283, 2013a.

ZHANG, Y. *et al.* The in vitro effects of retrograded starch (resistant starch type 3) from lotus seed starch on the proliferation of *Bifidobacterium adolescentis*. **Food & Function**, v. 4, n. 11, p. 1609-1616, 2013b.

ZHOU, Z. *et al.* Responses of fecal bacterial communities to resistant starch intervention in diabetic rats. **Starch - Stärke**, v. 68, n. 9-10, p. 1008-1015, 2015.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS*

ARTIGO 1 COMBINATION OF PROCESSING AND HEAT-MOISTURE TREATMENTS WITH CITRIC ACID OVER THE RESISTANT STARCH, COOKING PROPERTIES AND COLOR OF RICE GRAINS

Rogério de Jesus Silva^{1,*}, Douglas Correa de Souza², Roney Alves da Rocha¹, Joelma Pereira¹

¹Department of Food Science, Federal University of Lavras, Lavras 37200-900, Minas Gerais, Brazil

²Department of Agriculture, Federal University of Lavras, Lavras 37200-900, Minas Gerais, Brazil

***Corresponding author:** Rogério de Jesus Silva

Department of Food Science, Federal University of Lavras, Lavras 37200-900, Minas Gerais, Brazil

E-mail: rogerioneto1@hotmail.com

Phone: +55 XX (77) 9 9131-7213

Keyword: Parboiling; Dietary fiber; Prebiotics; HMTca.

ABSTRACT

The effects of treatment methods (polishing and parboiling) and the heat-moisture treatment with citric acid on resistant starch content, cooking quality and rice grain color were evaluated. A portion of BRSMG Caravera rice was parboiled and another one was only processed, both after dehusking, in which 50 % was polished and the remainder was kept brown, totaling four treatments (polished (PR), brown rice (BR), parboiled polished (PP) and parboiled brown (PB) rice), which were subjected to heat-moisture treatment with 30 % citric acid (HMTca) and called TPR, TBR, TPP and TPB, respectively. The isolated rice starch characterization revealed purity of 99.28% and apparent amylose content of 13.02 % of the raw material. The resistant starch (RS) content ranged from 0.22% (BR) to 4.82 % (TPP), the non-resistant (NRS) one was from 78.70% (TPP) to 84.68 % (PR), and the total starch (TS) from 81.10% (TPP) to 85.06 % (PR). In addition, TPR showed the highest reduction of RS after cooking (~53.8 %), while TPB RS content increased ~15.7 % due to cooking in the RS content. The cooking quality was affected by processing, the optimum cooking time (OCT) ranged from 16.83 to 27.33 min, the solids loss from 4.69 % to 16.83 %, the water absorption from 195.29 % to 266.20 %, and Coefficient of volume expansion (CVE) from 2.52 g/g to 3.12 g/g. The color also changed, reducing in the lightness (L*), varying from 73.51 to 37.06, increasing in the redness (a*), varying between 0.76 and 12.59, and increasing for the yellowing (b*), varying from 17.17 to 27.80. The processing methods and the HMTca increased the RS, but affected the quality and reduced the lightness and the yellowing of samples, although all the treatments showed good quality.

1. INTRODUCTION

Rice (*Oryza sativa* L.) represents one of the main foods consumed by the world population. According to the Food and Agriculture Organization (FAO), about 770 million tons of the grains were produced in 2017 [1]. Nutritionally, this cereal is present in human food as a source of carbohydrates. However, relevant contents of resistant starch are also observed in experimentally modified rice grains [2].

Resistant starch represents the portion of the starch resistant to disintegration in the digestive system, following to the large intestine where it can be used by the gut microbiota as fermentable substrate [3]. Resistant starch provides several health benefits such as intestinal cancer prevention, improved nutrient absorption, cholesterol lowering and others related to the products generated in the fermentation process, mainly short-chain fatty acids [4,5,6].

In the literature, the resistant starch is divided into five types. Type 1 (RS1) consists of non-digestible starch due to its structural rigidity; Type 2 (RS2) represents the starch granules in raw products that resist digestion; Type 3 (RS3) is the retrograded starch formed after gelatinization; Type 4 (RS4) encompasses chemically modified starch products; and type 5 (RS5) has been related to starch-lipid complexes [7].

The processing may affect directly the amount of resistant starch in rice, e.g., parboiling which may promote a significant increase in these contents [8]. Another relevant point is the knowledge on the amylose content of the rice grain, since it is related to the development of resistant starch in the rice grain [9]. Rice is classified usually as low amylose content when showing less than 22 %, medium when between 23 and 27 %; and high when more than 28 % amylose content [10].

Several technologies are being studied to increase the resistant starch content of foods, such as irradiation and hydrothermal treatment (HMT) [11,12]. The latter has been extensively studied for samples of starch extracted from rice, e.g. in the study by Hung et al.

[13], which applied HMT combined with food grade organic acids (acetic, lactic and citric acid) and reported levels close to 40 % RS, especially when citric acid is used. However, the application of technologies directly to rice grains is innovative, and there are still few studies found in the literature. Among these studies, Silva et al. [12] reported an increase of resistant starch content in paddy rice treated by HMT.

In this context, the aim of the present study was to apply the HMT combined with citric acid in rice grains obtained by different forms of processing (polished, brown, parboiled and parboiled brown rice) and to evaluate the effect on starch digestibility and on cooking of the cooked rice.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 *Raw material*

The rice grains from the *BRSMG Caravera* variety were gently donated by the Agricultural Research Agency of the State of Minas Gerais (EPAMIG), based at the Federal University of Lavras, MG, Brazil. This variety was chosen due to the great commercial availability in Brazil.

2.2 *Experimental planning*

The study totaled eight different procedures on rice grains, varying only the processing methods. In summary, a rate of rice grains was processed only in the test mill (Suzuki, Japan), with 50 % kept integral (called *BR*) and continued for a polishing step (called *PR*). Another aliquot of paddy rice was subjected to parboiling (as described below), 50 % of which was kept integral and called *PB* and the rest was subjected to polishing and coded with *PP*. Finally, as *BR*, *PR*, *PB* and *PP* were subjected to heat and humidity treatment with chemical

acid (*HMTca*) and coded as *TBR*, *TPR*, *TPB*, *TPP*, according to the previous four versions previously.

2.2.1 Parboiling

Parboiling was performed by the method described by Elias [18], with some adaptations. About 200 g paddy rice was weighed together with 250 mL distilled water in a 1 L beaker. The samples were left then in a water bath (Fanem, model 147, Brazil) at 65 °C for 5 h and autoclaved (Fabre, model 104, Brazil) at 120 °C for 30 min at 12.45 mPa pressure. The grains were dried in the sun using suspended nylon fabrics for 72 h. Finally, the parboiled rice samples were processed and stored in flasks properly capped at room temperature until performing the analyses and/or *HMTca*.

2.2.2 Heat-moisture treatment with citric acid (*HMTca*)

After parboiling and dehusking, the grains were subjected to *HMTca* according to the method described by Hung et al. [13], with modifications. Briefly, the samples were weighed and about 30 % volume of citric acid solution (0.2 M) (food degree) was added in a glass flask (100 ml). Thereafter, the flasks were capped and kept at room temperature for 24 h and then placed in an oven at 110 °C for 8 h. After the treatment, the grains were washed with distilled water and dried in the sun on nylon meshes for 48 h. The samples were conditioned in flasks with lids at room temperature until analysis.

2.3 Characterization of rice

2.3.1 Extraction of starch

After processing the rice, the grains were ground in an industrial mill (Lucre, Brazil) and the rice flour was used for the starch isolation according to the method described by Cardoso et al. [14]. A total of 50 g of rice flour was weighed into a 500 mL beaker, 400 mL of

0.2 % NaOH was added and left to rest overnight at 4 °C. Thereafter, the resulting material was centrifuged at 1500 g for 20 min, resuspended with distilled water and centrifuged three more times. The starch was neutralized with 0.01 M HCl and centrifuged two more times and the precipitate was oven dried at 40 °C and stored in polyethylene flasks at room temperature until determination of purity and amylose content.

2.3.2 Starch characterization

To verify the purity of the isolated starch, the moisture content, crude protein, lipids, moisture and ash content were determined using the AOAC [15] official methods. The crude protein was performed by the Kjeldahl method; lipids by the Soxhlet extraction method; moisture content by the gravimetric method in an oven at 105 °C; and ash by incineration in muffle at 550-570 °C

2.3.3 Apparent amylose content (AAC)

To determine the AAC, the colorimetric method described by Morrison and Laignelet [16] and adapted by Bhat and Riar [17] was used. Briefly, 70 mg (dry basis) of the isolated starch (previous item) was weighed into test tubes, being added 10 ml of the urea complex (6M)-DMSO (1:9) under stirring. Thereafter, the tubes were kept in a boiling water bath for 10 min and then in a convection oven at 100 °C for 1 h. The tubes were kept at rest until stabilization at room temperature and then 0.5 ml of the solution was pipetted into a 50 ml volumetric flask containing 25 ml distilled water and 1 mL I₂ and KI (100 mg I₂ and 1000 mg KI into 50 ml distilled water). Finally, the volume was fulfilled with distilled water. Absorbance of the samples was measured at wavelength of 635 nm in spectrophotometer (Cole-Parmer, Germany). Amylose content was calculated by Equation 1.

$$AAC (\%) = (28.414 \times \text{blue value}) - 6.218 \quad (1)$$

Where, the blue value is the sample absorbance at 635 nm.

2.4 *Determination of resistant starch (RS), non-resistant starch (NRS) and total starch (TS)*

The resistant starch, non-resistant starch and total starch content of the grains was determined using the K-RSTAR enzymatic assay kit (Megazyme, Ireland) according to method 32-40 described by the AACC [19]. It is important to emphasize that the moisture content of the samples were previously determined for use in calculations.

2.5 *Cooking quality*

2.5.1 *Optimum cooking time (OCT)*

To determine the optimum cooking time, about 10 g of each sample in beaker was weighed and 500 mL boiling distilled water was placed in a heating plate. After 15 min of cooking, three grains were taken and pressed between two glass slides. The procedure was repeated at 30-s intervals until the complete disappearance of white spots (total starch gelatinization) [20,21].

2.5.2 *Water absorption (WA)*

About 10 g rice was cooked in 500 mL distilled water in the OCT. After draining the water, the grains were kept at rest for 5 min on paper towel and then weighed. The coefficient of water absorption was determined by the relation: (cooked rice weight/raw rice weight) [21,22].

2.5.3 *Coefficient of volume expansion (CVE)*

The Coefficient of volume expansion was determined using a graduated pipette. Previously, the displaced volume of 100 mL kerosene per 10 g raw rice was measured, and then 10 g rice was cooked in the OCT. Such procedure was repeated once. The calculation was performed by the relation: (volume displaced by cooked rice/volume displaced by raw rice) [20,22].

2.5.4 *Loss of soluble solids (LSS)*

Approximately 10 g rice was cooked in 500 ml distilled water at the optimum cooking time. Afterwards, the cooking water was measured in a beaker and a 10 mL aliquot was collected on a previously weighed Petri dish. The plate was maintained in a convection oven at 95 °C for 5 h, cooled for 30 min in a desiccator with silica and weighed. The rate of loss of soluble solids was determined by the relation: $\{(water\ volume \times weight\ of\ dry\ residue \times 100)/10\ mL\}/weight\ of\ raw\ rice$ [20].

2.6 *Color analysis*

The colorimetric analysis of raw and cooked rice samples was performed in a colorimeter (Minolta CR-400, Tokyo, Japan) by the CIELAB system, considering the color attributes L (100 = white; 0 = black), a^* (+60 = red; -60 = green), and b^* (+60 = , yellow, -60 = , blue), using about 10 g sample, evenly distributed in a glass Petri dish (100 x 12 mm). The analyses were performed in five different points (quintuplicates).

2.7 *Statistical analysis*

The results were expressed as average \pm standard deviation and were analyzed by analysis of variance (ANOVA), Tukey's test ($p < 0.05$) and/or Student's t-test ($p < 0.05$). All

experiments were performed in triplicate. In addition, the data were subjected to the Pearson correlation test among the evaluated parameters. All statistical treatments were performed in the SAS software (Studio Version, USA).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Characterization of rice and of starch rice

For a better knowledge base, the *BRSMG Caravera* rice grain starch was isolated and characterized in this experiment. The isolated starch showed high purity degree (99.28 %) with protein contents of 0.34 ± 0.12 , lipids of 0.11 ± 0.04 and ash of 0.27 ± 0.10 %. The results are similar to those of other articles, for example, to the found by Hung et al. [13], which also isolated starch from rice grains and reached a purity of 99.36 %, a satisfactory result, allowing determining the AAC.

The AAC found in this study (average contents of 13.02 ± 0.39 %) was considered as low and may be related with the low RS content found in the beneficiated (peeled and/or polished) rice grains (*PR* and *BR*) (Table 1). This was also observed in the study of Shu et al. [23], the authors showed that the inasmuch as the concentration of amylose in the rice grains increased, the RS content also increased. Thus, it may be suggested that the low amylose concentration of *BRSMG Caravera* rice may adversely affect the improvement of resistant starch content with *HMTca* in whole grains.

3.2 Resistant (RS), non-resistant (NRS) and total starch (TS)

The results found for RS, NRS and TS are presented in Table 1. The effect of processing and parboiling on the RS content was gradual, i.e., the processed samples had the lowest averages, with *PR* (0.38 %) and *BR* (0.22 %). In the samples that were parboiled, the values increased from five to six times, reaching contents of 1.93% for *PP* and 1.34 % for *PB*.

Regarding the samples treated with *HMTca*, an even greater increase was verified, being 1.42 %, 2.76 %, 3.75 %, and 4.84 % for *TBR*, *TPB*, *TPP*, and *TPR*, respectively. In the comparison between the samples before (*PR*, *BR*, *PP*, and *PB*) and after of treatment with *HMTca* (*TPR*, *TBR*, *TPP*, and *TPB*), there was a significant difference for all the samples.

Table 1: Average of contents of *RS*, *NRS* and *TS* in rice grains subjected to different processings.

Sample	RS (%)		NRS (%)		TS (%)	
	Raw	Cooked	Raw	Cooked	Raw	Cooked
PR	0.38±0.0 ^{a,A}	0.48±0.0 ^{a,A}	84.68±0.6 ^{a,A}	71.53±0.5 ^{b,A}	85.06±0.5 ^{a,A}	72.01±0.5 ^{b,A}
TPR	3.55±0.0 ^{a,B}	1.64±0.0 ^{b,B}	79.50±0.3 ^{a,B}	65.01±0.3 ^{b,B}	83.05±0.3 ^{a,B}	66.66±0.4 ^{b,B}
BR	0.22±0.0 ^{a,A}	0.46±0.0 ^{b,A}	82.19±0.2 ^{a,A}	74.99±0.3 ^{b,A}	82.41±0.1 ^{a,A}	75.45±0.3 ^{b,A}
TBR	1.42±0.1 ^{a,B}	1.01±0.0 ^{b,B}	79.68±0.5 ^{a,B}	74.95±0.2 ^{b,A}	81.10±0.5 ^{a,B}	75.96±0.2 ^{b,A}
PP	1.93±0.1 ^{a,A}	1.37±0.1 ^{b,A}	81.69±0.3 ^{a,A}	75.91±0.4 ^{b,A}	83.62±0.3 ^{a,A}	77.28±0.4 ^{b,A}
TPP	4.84±0.0 ^{a,B}	3.77±0.0 ^{b,B}	78.70±0.4 ^{a,B}	69.68±0.8 ^{b,B}	83.54±0.4 ^{a,A}	73.45±0.7 ^{b,B}
PB	1.34±0.1 ^{a,A}	1.42±0.1 ^{a,A}	80.73±0.3 ^{a,A}	74.97±0.4 ^{b,A}	82.07±0.3 ^{a,A}	76.39±0.4 ^{b,A}
TPB	2.76±0.0 ^{a,B}	3.19±0.1 ^{b,B}	79.88±0.8 ^{a,A}	76.39±0.7 ^{b,B}	82.64±0.8 ^{a,A}	79.58±0.7 ^{b,B}

Legend: RS= Resistant Starch; NRS= Non Resistant Starch; TS= Total Starch.

^{a-b} - Lowercase letters indicate a statistical difference ($p<0.05$) between the raw and cooked samples on the same row by the Student's t-test.

^{A-B} - Capital letters indicate statistical difference ($p<0.05$) between the grouped samples (with or without *HMTca*) on the same column by the Student's t-test.

The processing methods and the *HMTca* promoted relevant changes in the starch composition of the analyzed rice grains. The *TPP* sample showed the highest *RS* content, followed by *TPR*, *TPB*, *PP*, *TBR*, *PB*, *PR* and *BR* (in the same order). In relation to the processing, it was observed that parboiling already promoted the development of *RS* in the grains, which was already expected, since other studies had already studied the effect of this process, such as the experiment by Stork, Silva and Comarella [8], which verified an increase of up to 30 % in *RS* when applied this process in different rice varieties.

In the literature, this effect is attributed to changes in the crystalline structure of the starch due to the applied hydrostatic pressure that can increase the gelatinization temperature

of the starch, which remains ungelatinized even after cooking. Another important factor is the phenomenon of retrogradation of the starch that occurs during the cooling of the rice subjected to parboiling, forming crystalline structures inaccessible by the gastrointestinal tract enzymes [24,25,26].

The effect of *HMTca* on RS content in rice grains was significant, but lower than the found by Hung et al. [13], which applied this treatment to rice starch and reached levels close to 36 % for RS in medium-amylose starch. However, this lower result is justified by the greater difficulty of citric acid reaching the starch chains in the grain when compared to the isolated starch in the form of powder. In brown grains, the effects were proportionally higher than the data found by Silva et al. [12], which applied the conventional HMT in paddy rice and found an increase from 16 % to 18 % in RS.

In relation to NRS, the results contrasted to the RS data, i.e., when the RS content increased, the NRS decreased (between 79.68 and 84.68 %). In the case of TS (variation between 81.10 and 85.06 %), no significant difference between *PP* and *TPP* and between *PB* and *TPB* was observed when compared with each other by the paired t-test at 5 % probability.

Another way of comparison was the evaluation of RS, NRS and TS before and after the cooking process. These results showed significant reduction ($p < 0.05$) by the paired t-test for all treatments in these parameters, except for *PR* and *PB*, which did not differ for RS and TS was reduced after cooking. Moreover, there was a significant increase in the *TPB* sample for resistant starch content in cooked rice. In Fig. 1 is shown the cooking effect in the RS parameter. The sample with the greatest reduction (about 53.8 %) was the *TPR*. Among the samples that showed increase, the *BR* stands out with approximately 109 %; however, in representative terms, the *TPB* is highlighted with an increase from 2.76 to 3.19 %, representing 15.7 %.

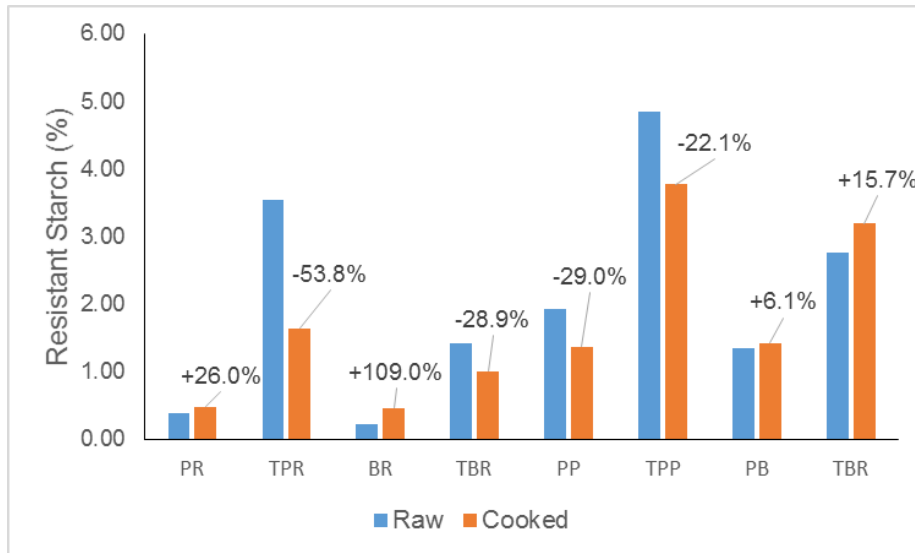


Figure 1: Comparison between the RS content in rice grains before and after cooking.

The aleurone layer of the brown grains probably also hindered the performance of HMTca in *BR*, *PB* and *TPB*, suggesting that the fibers form a physical barrier that hinders the formation of RS. However, it was also observed that this barrier prevented the loss of RS during cooking. In the case of *TPB*, there was a significant increase of RS in relation to the same raw sample. The NRS levels decreased when the RS increased. Furthermore, there was greater loss of solids in the *PR*, *TPR* and *TPP* samples, which was correlated with NRS and hence with TS. Such behavior is also related probably to the absence of the aleurone layer and the hydrolysis caused by citric acid during HMT.

3.3 Cooking Quality

The evaluation of the cooking characteristics of rice grains subjected to different types of processing (*PR*, *BR*, *PP* and *PB*), as well as to *HMTca* (*TPR*, *TBR*, *TPP* and *TPB*) are presented in Table 2. It was possible to observe that the samples presented significantly different OCT ($p < 0.05$) by the Tukey's test with variation between 17.33 and 27.33 min. For loss of soluble solids (between 4.69 and 16.83 %), only *BR*, *PP*, *PB* and *TPB* did not differ among themselves, but differed from the others at 5 %.

Table 2: Average of contents of the cooking tests (OCT, loss of soluble solids, water absorption and CVE) of the rice grains subjected to different processing.

Samples	OCT (min)	Loss of soluble solids (%)	Water absorption (%)	CVE (g/g)
PR	19.77±0.31 ^{b,C}	12.38±0.73 ^{a,C}	266.20±2.76 ^{b,C}	3.12±0.07 ^{a,AB}
TPR	16.83±0.44 ^{a,A}	16.83±0.27 ^{b,D}	253.71±1.15 ^{a,C}	3.00±0.07 ^{a,A}
BR	27.33±0.26 ^{b,F}	5.49±0.24 ^{a,A}	219.44±1.12 ^{a,B}	2.59±0.22 ^{a,C}
TBR	24.17±0.32 ^{a,E}	7.17±0.48 ^{b,B}	230.74±1.98 ^{b,B}	2.97±0.47 ^{a,BC}
PP	18.50±0.43 ^{b,B}	5.15±0.58 ^{a,A}	233.25±2.49 ^{b,B}	2.87±0.09 ^{a,C}
TPP	17.33±0.65 ^{a,A}	10.96±0.31 ^{b,E}	225.71±2.99 ^{a,B}	2.52±0.07 ^{a,AB}
PB	22.50±0.33 ^{a,D}	4.92±0.62 ^{a,A}	195.29±1.03 ^{a,A}	2.66±0.13 ^{a,C}
TPB	24.17±0.22 ^{b,E}	4.69±0.61 ^{a,A}	196.12±1.89 ^{a,A}	2.74±0.10 ^{a,C}

Legend: OCT= Optimum cooking time; CVE= Coefficient of volume expansion.

^{a-b}- Lowercase letters indicate statistical difference ($p<0.05$) between the grouped samples (with or without HMTca) on the same column by the Student's t-test.

^{A-E}- Capital letters indicate statistical difference ($p<0.05$) between the samples on the same column by the Tukey's test.

However, for comparison purposes, the paired Student's t test at 5 % probability was used only between the processed (*PR*, *BR*, *PP* and *PB*) and hydrothermally treated samples using citric acid (*TPR*, *TBR*, *TPP* and *TPB*). In this statistical analysis, it was better evidenced that this treatment significantly influenced all parameters in this comparison, except for *CVE*. Additionally, between *PB* and *TPB*, there was also no difference with each other for loss of soluble solids and water absorption.

Parboiling (*PP* and *PB*) and *HMTca* treatment (*TPR*, *TBR*, *TPP* and *TPB*) affected the cooking quality of rice grains. The samples showed different cooking times, however, this cannot be considered necessarily a negative factor. The loss of soluble solids was naturally higher in polished rice samples (*PR*, *PP*, *TPR* and *TPP*). This was also observed by Wu et al. [27], which reported loss of solids close to 5 % for brown rice and 9 % for polished rice samples. For the authors, this occurs mainly because these layers form a natural physical barrier that prevents the leaching of the starch. Furthermore, for the samples that were subjected to *HMTca*, this loss was probably higher due to partial chemical hydrolysis in the starch granules [28]. However, it is important to emphasize that the loss of soluble solids had

a higher relation with NRS and a weak correlation with RS, this can be considered positive, since it is of great interest to maintain the RS content.

In relation to the water absorption parameter (between 195.03 and 266.20 %), the brown parboiled samples (*PB* and *TPB*) did not differ from each other but differed from the brown rice and parboiled polished samples (*BR*, *TBR*, *PP* and *TPP*, respectively), which also did not differ among themselves. The same occurred with the samples of polished rice (*PR* and *TPR*) that did not show any differences, but differed ($p < 0.05$) from all the others by the Tukey Test. This can be considered the formation of three groups with percentage of water absorption different, basically, in brown parboiled, brown and polished rice. In the statistical analysis of CVE (between 2.52 g/g and 3.12 g/g), it was found that *BR*, *TBR*, *PP*, *PB* and *TPB* did not show any difference among themselves, but differed from the others. For *PR*, *TPR* and *TPP*, there was also no significant difference ($p < 0.05$) among themselves.

The culinary yield and the palatability characteristics of cooked rice are directly related to the amount of water absorption (WA) and the Coefficient of volume expansion (CVE). Others studies also reported similar results, including the experiment by Guimarães et al. [29], which found values between 260.42 and 277.54 % for WA and from 321.17 to 365.65 % for CVE in polished rice subjected to irradiation.

3.4 Color

In the case of samples of the studied rice, a greater influence of the parameters L (between 37.06 and 73.51 for raw rice and 52.77 and 77.74 for cooked rice) and b* (between 17.17 and 27.80 for raw and from 5.72 to 22.51 for the cooked). However, the parameter a* also presented variation between samples, with values close to zero for *PR* with values of 0.76 and -1.57 (raw and cooked, respectively) up to 10.85 (*TPB*) and 12.86 (*TPP*) in the raw samples (Table 3), this certainly is linked to *HMTca*. In the statistical analysis, it was verified

that there was difference among all samples when compared before and after the *HMTca*, except between *PP* and *TPP* (raw) in the parameter L^* and between *PB* and *TPB* (cooked) in parameter b^* , by Student's t-test at 5 % probability. The samples also showed a significant effect ($p<0.05$) on the comparison between before and after cooking, except for *TPP* in the parameter L^* and *PB* in the parameter b^* (Table 3).

Table 3: Results of color (L , a^* and b^*) of the raw and cooked rice samples.

Samples	Color					
	L		a*		b*	
	Raw	Cooked	Raw	Cooked	Raw	Cooked
PR	73.51±0.1 ^{a,A}	77.74±0.7 ^{b,A}	0.76±0.0 ^{a,A}	-1.57±0.1 ^{b,A}	17.17±0.1 ^{a,A}	5.72±0.4 ^{b,A}
TPR	58.91±0.9 ^{a,B}	69.82±0.3 ^{b,B}	9.16±0.6 ^{a,B}	3.73±0.0 ^{b,B}	27.80±0.6 ^{a,B}	17.26±0.0 ^{b,B}
BR	64.81±0.4 ^{a,A}	68.80±0.1 ^{b,A}	4.91±0.1 ^{a,A}	1.77±0.0 ^{b,A}	22.38±0.5 ^{a,A}	17.34±0.4 ^{b,A}
TBR	53.54±0.4 ^{a,B}	62.47±0.1 ^{b,B}	9.61±0.1 ^{a,B}	5.67±0.0 ^{b,B}	25.55±0.1 ^{a,B}	20.18±0.1 ^{b,B}
PP	56.03±0.1 ^{a,A}	69.10±1.1 ^{b,A}	8.99±0.0 ^{a,A}	2.91±0.1 ^{b,A}	26.91±0.1 ^{a,A}	18.65±0.4 ^{b,A}
TPP	43.98±0.2 ^{a,B}	65.69±0.0 ^{a,A}	12.59±0.1 ^{a,B}	6.13±0.0 ^{b,B}	26.09±0.0 ^{a,B}	22.51±0.1 ^{b,B}
PB	45.98±0.2 ^{a,A}	56.83±0.6 ^{b,A}	9.36±0.0 ^{a,A}	6.34±0.0 ^{b,A}	21.06±0.0 ^{a,A}	21.98±0.5 ^{a,A}
TPB	37.06±0.0 ^{a,B}	52.77±0.7 ^{b,B}	10.85±0.0 ^{a,B}	7.96±0.1 ^{b,B}	22.19±0.2 ^{a,B}	18.17±0.3 ^{b,A}

^{a-b} - Lowercase letters indicate a statistical difference ($p<0.05$) between the raw and cooked samples by the Student's t-test.

^{A-B} - Capital letters indicate statistical difference ($p<0.05$) between the grouped samples (*HMTca*) on the same column by the Student's t-test.

The rice coloration showed different characteristics for the different types of processing (parboiling and polishing). As expected, the *PR* and *BR* samples showed higher values of L and lower a^* and b^* values, while the *PP* and *PB* samples showed a higher trend of a^* (reddish) and b^* (yellowish). This behavior is explained by the presence of bran fiber layers and/or parboiling. According to Fonseca et al. [30], there are several physicochemical factors that cause this color change, but the main cause is the migration of red and yellow pigments presents from the husk and the bran of rice by diffusion to the endosperm and by the absorption latter after opening the husk.

The *HMTca* also reduced lightness (L) and increased the yellow coloration of the grains (b^*). This can be attributed to non-enzymatic browning reactions such as caramelization and Maillard reaction of possible monosaccharides generated by hydrolysis caused by citric acid and by high temperatures during the process. Correlation analysis showed that the samples were darkened as the RS content increased. Others studies also reported similar behavior in starch treated by different mechanisms that promote starch cleavage, such as in rice samples that were irradiated by Polesi et al. [31].

3.5 Correlations of the cooking tests, RS, NRS, TS and color

In order to better understand the results, a linear correlation (R^2) analysis was performed among the studied parameters (Table 4). For RS, a strong negative correlation was observed ($p < 0.7$) in relation to NRS in the raw samples, i.e., the increase of RS promoted a decrease in NRS content. Other relevant information is that the results of the cooking test strongly correlated ($p < 0.7$) with the NRS content and there was a weak and/or moderate correlation ($p > 0.7$) for RS with these parameters, this may suggest that cooking affects less the RS content compared to the NRS content. Among these, the strong negative correlation between the loss of soluble solids and the NRS content in cooked rice is highlighted, indicating that the higher the loss, the lower the non-resistant starch.

Among the color data, it is possible to highlight that L moderately correlated negatively with RS in both raw and cooked samples, suggesting that the increase of the RS reduces the lightness of the samples. In contrast, when the RS content was increased, a^* (yellowing) also increased. For NRS, the correlation is negative for a^* and b^* , indicating a decrease in the yellow and red coloring of the rice with a higher NRS content.

Table 4: Correlations between the parameters RS, NRS, Color (L, a* and b*) and cooking quality (OCT, LSS, WA and CVE) of the rice grains subjected to different processings.

	RS (%) raw	NRS (%) raw	RS (%) Cooked	NRS (%) cooked	OCT (min)	LSS (%)	WA (%)	CVE (%)	L Raw	L Cooked	a* Raw	a* Cooked	b* Raw	b* Cooked
RS (%) raw	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NRS (%) raw	-0.72 ^{***}	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RS (%) cooked	0.85 ^{***}	-0.67 ^{**}	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NRS (%) cooked	-0.57 ^{**}	0.17 [*]	-0.16 [*]	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OCT (Min)	-0.65 ^{**}	0.13 [*]	-0.31 ^{**}	0.67 ^{**}	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LSS (%)	0.42 ^{**}	-0.01 [*]	0.01 [*]	-0.94 ^{***}	-0.67 ^{**}	1	-	-	-	-	-	-	-	-
WA (%)	-0.03 [*]	0.38 ^{**}	-0.41 ^{**}	-0.59 ^{**}	-0.47 ^{**}	0.75 ^{***}	1	-	-	-	-	-	-	-
CVE (%)	-0.43 ^{**}	0.08 [*]	-0.09 [*]	0.87 ^{***}	0.57 ^{**}	-0.93 ^{***}	-0.63 ^{**}	1	-	-	-	-	-	-
L raw	-0.51 ^{**}	0.59 ^{**}	-0.67 ^{**}	-0.06 [*]	-0.20 [*]	0.22 [*]	0.50 ^{**}	-0.19 [*]	1	-	-	-	-	-
L cooked	-0.24 [*]	0.43 ^{**}	-0.42 ^{**}	-0.11 [*]	-0.42 ^{**}	0.26 [*]	0.56 ^{**}	-0.28 [*]	0.89 ^{***}	1	-	-	-	-
a* raw	0.66 ^{**}	-0.77 ^{***}	0.65 ^{**}	-0.07 [*]	-0.01 [*]	-0.10 [*]	-0.38 [*]	0.06 [*]	-0.88 ^{***}	-0.68 ^{**}	1	-	-	-
a* cooked	0.51 ^{**}	-0.68 ^{**}	0.59 ^{**}	-0.04 [*]	0.21 [*]	-0.13 [*]	-0.46 [*]	0.12 [*]	-0.96 ^{***}	-0.91 ^{***}	0.90 ^{***}	1	-	-
b* raw	0.41 ^{**}	-0.54 ^{**}	0.11 [*]	-0.18 [*]	-0.35 ^{**}	0.10 [*]	0.05 [*]	-0.09 [*]	-0.07 [*]	0.14 [*]	0.52 ^{**}	0.17 [*]	1	-
b* cooked	0.51 ^{**}	-0.73 ^{***}	0.56 ^{**}	0.03 [*]	0.15 [*]	-0.26 [*]	-0.59 ^{**}	0.24 [*]	-0.87 ^{***}	-0.80 ^{***}	0.91 ^{***}	0.92 ^{***}	0.39 ^{**}	1

***indicate strong correlation ($p < 0.05$); **indicate moderate correlation ($p =$ between 0.05 and 0.1), *indicate weak correlation ($p > 0.1$).

4 CONCLUSION

The processes (parboiling and *HMTca*) increase the amount of resistant starch of the rice grains, which theoretically would be healthier for consumption. However, once the variety of rice used has low amylose content, it can be responsible for the contents below 5 % RS. The aleurone layer (brown grains) seems to hinder the action of *HMTca*; however, it also favors the conservation and/or increase of RS. In this respect, all this information is extremely important to science, paving the way for other experiments.

Despite affecting the cooking quality parameters, all samples showed acceptable results. The *HMTca* more strongly affects the loss of soluble solids, but the starch leaching is mainly related to NRS. For color, there is the yellowing and the reduced lightness of parboiled rice and/or treated by *HMTca*. Further studies are necessary with consumers in order to understand the acceptance of all treatments by them.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), the Foundation for Research Support of the State of Minas Gerais (FAPEMIG), the Agricultural Research Company of Minas Gerais (EPAMIG) and the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES).

Notes

No conflict of interest is declared by the authors.

REFERENCES

- [1] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION- FAOSTAT . **World rice paddy production**. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.
- [2] Ashwar, B. A., Gani, A., Wani, I. A., Shah, A., Masoodi, F. A., & Saxena, D. C. *Food Hydrocolloids* 2016, 56, 108-117.

- [3] Haenen, D., Zhang, J., Souza da Silva, C., Bosch, G., van der Meer, I. M., van Arkel, J., Müller, M. A. *The Journal of nutrition* 2013, 143(3), 274-283.
- [4] Hald, S., Schioldan, A. G., Moore, M. E., Dige, A., Lærke, H. N., Agnholt, J., Dahlerup, J. F. *PloS one* 2016, 11(7), e0159223.
- [5] Haenen, D., Silva, C. S., Zhang, J., Koopmans, S. J., Bosch, G., Vervoort, J., Hooiveld, G. J. *The Journal of nutrition* 2013, 143(12), 1889-1898.
- [6] Klosterbuer, A. S., Hullar, M. A., Li, F., Traylor, E., Lampe, J. W., Thomas, W., Slavin, J. L. *British Journal of Nutrition* 2013, 110(6), 1068-1074.
- [7] Zhang, Y., Wang, Y., Zheng, B., Lu, X., Zhuang, W. *Food & function* 2013, 4(11), 1609-1616.
- [8] Storck, C. R., Silva, L. P., Comarella, C. G. *Alimentos e Nutrição* 2005, 16(3), 259-264.
- [9] Perera, A., Meda, V., Tyler, R. T. (2010). *Food Research International* 2010, 43(8), 1959-1974.
- [10] Martinez, C., F. Cuevas. *CIAT* 1989, Cali. 75 p.
- [11] Polesi, L. F., Matta Junior, M. D., Sarmiento, S. B. S., Canniatti-Brazaca, S. G. *Rice Science* 2017, 24(1), 48-55.
- [12] Silva, W. M. F., Biduski, B., Lima, K. O., Pinto, V. Z., Hoffmann, J. F., Vanier, N. L., Dias, A. R. G. *Food chemistry* 2017, 219, 260-267.
- [13] Hung, P. V., Vien, N. L., Phi, N. T. L. *Food chemistry* 2016, 191, 67-73.
- [14] Cardoso, M. B., Putaux, J. L., Samios, D., Silveira, N. P. *Carbohydrate Polymers* 2007, 70(2), 160-165.
- [15] AOAC. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* 2006. 18th edn. Arlington, Virginia: American Association of Cereal Chemists.
- [16] Morrison, W. R., Laignelet, B. *Journal of Cereal Science* 1983, 1, 19-35.
- [17] Bhat, F. M., Riar, C. S. (2017). *Journal of texture studies* 2017, 48(2), 151-159.
- [18] Elias, M. C. *Pelotas: UFPEL* 1998, 164 p.
- [19] AACC. *Approved laboratory methods* 2000. American Association of Cereal Chemists, Minnesota, USA.
- [20] Ciacco, C. F., Chang, Y. K. *São Paulo: Ícone* 1986, 127 p.
- [21] Hummel, C. *Food Trade Press* 1966, 287 p.
- [22] Donnelly, B. J. *Macaroni Journal* 1979, 61(1), 6-18.

- [23] Shu, X., Sun, J., Wu, D. *Food chemistry* 2014, 164, 89-97.
- [24] Ashwar, B. A., Gani, A., Shah, A., Wani, I. A., Masoodi, F. A. *Starch-Stärke* 2016, 68(3-4), 287-301.
- [25] Hsu, C. L., Heldman, D. R. *Journal of food process engineering* 2005, 28(5), 506-525.
- [26] Park, E. Y., Baik, B. K., & Lim, S. T. *Journal of Cereal Science* 2009, 50(1), 43-48.
- [27] Wu, J., Chen, J., Liu, W., Liu, C., Zhong, Y., Luo, D., Guo, X. *Food chemistry* 2016, 191, 28-35.
- [28] Sirisoontaralak, P., Noomhorm, A. *Journal of stored products research* 2006, 42(3), 264-276.
- [29] Guimarães, Í. C. O., Pereira, J., Cornélio, V. M. O., Batista, L. R., & Ferreira, E. B. *Revista Ceres* 2013, 60(6), 752.
- [30] Fonseca, F. A. D., Soares Júnior, M. S., Caliari, M., Garcia, D. M., Bassinello, P. Z., Eifert, E. D. C. *Semina: Ciências Agrárias* 2011, 32 (1), 221-234.
- [31] Polesi, L. F., Sarmiento, S. B. S., Canniatti-Brazaca, S. G. *Rice Science* 2018, 25(1), 42-51.

ARTIGO 2 - MELHORIA DO AMIDO RESISTENTE EM GRÃOS DE ARROZ PARBOILIZADO POR HMT COMBINADO COM ÁCIDO CÍTRICO

Rogério de Jesus Silva^{1,*}, Douglas Correa de Souza², Paulo Romano Cruz Correia³, Joelma Pereira¹

¹ Departamento de Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Lavras, Lavras 37200-900, Minas Gerais, Brasil.

² Departamento de Agricultura. Universidade Federal de Lavras, Lavras 37200-900, Minas Gerais, Brasil.

³ Departamento de Biotecnologia - RENORBIO, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 40170-115, Bahia, Brasil.

***Autor correspondente:** Rogério de Jesus Silva

Departamento de Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Lavras, Lavras 37200-900, Minas Gerais, Brasil.

E-mail: rogerioneto1@hotmail.com

Contato: +55 XX (77) 9 9131-7213

RESUMO

Neste trabalho objetivou-se avaliar o efeito do tratamento calor-baixa umidade - HMT combinado com adição de ácido cítrico em concentrações crescentes (0,0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 e 0,6 Mol l⁻¹) na qualidade do cozimento, textura, composição centesimal, cor, gelatinização e na percentagem de amido resistente de grãos de arroz da cultivar BRSMG Caravera parboilizados. As análises foram realizadas em triplicada e os dados foram analisados por Análise de Variância (ANOVA), teste de Tukey ($p < 0,05$) e/ou teste T *Student* ($p < 0,05$). O HMTac aumentou o tempo ótimo de cozimento em relação ao HMT, porém, não houve diferença entre os tratamentos HMTac comparados entre si. A absorção de água reduziu quando se aumentou a concentração ácida e a perda de sólidos aumentou gradativamente de 6,96% a 23,35%. A coesividade não foi influenciada e para a elasticidade apenas HMTac-6 diferiu dos demais. A dureza aumentou em função da dosagem do ácido (10,45 N para 17,68 N). Na composição química, o conteúdo proteico e de extrato etéreo foram reduzidos gradativamente, porém, estes valores não diferiram entre os tratamentos com ácido cítrico. Para cor, o HMTac reduziu os valores para a coordenada L (51,71 para 31,39), em a* foi notado aumento significativo de HMTac-0 para HMTac-1 (8,72 para 16,86), porém, o aumento da dosagem de ácido cítrico reduziu estes valores (16,86 para 12,07), assim como os resultados de b* (27,45 para 11,66). Já o cozimento relevou a redução destes efeitos de HMTac na cor, pois, aumentou os valores de L, reduziu de a* e intensificou o amarelecimento (b*). A faixa de temperatura da gelatinização foi ampliada e a energia necessária (ΔH)

também foi maior para os tratamentos HMTac. E o conteúdo de amido resistente aumentou 93% em HMTac-6 (5,77%) em relação a amostra não tratada (HMTac-0) (2,99%).

Palavras-chave: Textura. Amido resistente. Cereais.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of HMT combined with the addition of citric acid in increasing concentrations (0.0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5 and 0.6 Mol l⁻¹) in cooking quality, texture, proximate composition, color, gelatinization and in the percentage of resistant starch from rice grains of the cultivar BRSMG Caravera parboiled. The analyzes were performed in triplicate and the data were analyzed by Analysis of Variance (ANOVA), Tukey's test ($p \leq 0.05$) and/or Student's T test ($p \leq 0.05$). HMTca increased the optimal cooking time compared to HMT, however, there was no difference between the HMTca treatments compared to each other. Water absorption decreased when the acid concentration was increased and the loss of solids gradually increased from 6.96 to 23.35%. Cohesiveness was not influenced and for elasticity only HMTca-6 differed from the others. The hardness increased as a function of the acid dosage (10.45 to 17.68 N). In the chemical composition, the protein and ether extract contents were gradually reduced, however, these values did not differ between the treatments with citric acid. For color, HMTca reduced the values for the L coordinate (51.71 to 31.39), in a * a significant increase from HMTca-0 to HMTca-1 (8.72 to 16.86) was noted, however the increase dosage of citric acid reduced these values (16.86 to 12.07), as well as the results of b * (27.45 to 11.66). Cooking, on the other hand, revealed the reduction of these effects of HMTca in color, since it increased the values of L, reduced from a * and intensified the yellowing (b *). The temperature range of gelatinization was expanded and the required energy (ΔH) was also greater for HMTca treatments. And the content of resistant starch increased 93% in HMTca-6 (5.77 %) in relation to the untreated sample (HMTca-0) (2.99%).

Keywords: Texture. Resistant starch. Cereals.

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é considerado a principal fonte de energia para mais da metade da população mundial (FAO, 2008). Este cereal apresenta composição altamente variável em função do tipo de beneficiamento, mas basicamente pode conter até 90% de carboidratos (principalmente amido), de 6% a 8% de proteínas, menos de 1 de lipídeos, de 0 % a 5% de fibras, vitaminas como A, E e do complexo B (tiamina, niacina e ácido fólico), e minerais como magnésio, cobre, ferro e cálcio (CHENG; CHEN; YEH, 2019; SUMCZYNSKI *et al.*, 2018; PAIVA *et al.*, 2016; RENUKA *et al.*, 2015).

Em virtude de preferências de consumo, grande parte dos nutrientes que estão presentes nas camadas mais externas do grão é perdida no processamento (polimento) (BALBINOT *et al.*, 2018). Principalmente, o conteúdo de fibras, gorduras e minerais (MIR *et al.*, 2015). Por sua vez, há grande interesse em aumentar os teores de fibras alimentares fornecidas à população por meio deste cereal, devido ao grande consumo mundialmente, sendo responsável por 20% das calorias consumidas por um indivíduo durante o dia (SCHATZ *et al.*, 2014).

O consumo recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), para fibras, é de pelo menos 25 gramas diariamente para indivíduos adultos (WHO/FAO, 2003). No entanto, estima-se que 95% da população ocidental apresenta um consumo insuficiente de fibras alimentares (DREHER, 2018). A ingestão adequada de fibras está associada à saúde digestiva e risco reduzido de várias doenças não transmissíveis, como o câncer, obesidade, hipercolesterolemias, doenças cardiovasculares e diversas outras, e são reconhecidas como essenciais para a saúde humana (SOLIMAN, 2019; VERONESE *et al.*, 2018).

Neste sentido, já são conhecidas alternativas importantes, como por exemplo, a parboilização, que consiste na maceração, gelatinização e secagem do arroz. A parboilização promove a soldagem dos grãos por meio da gelatinização do amido, conseqüentemente reduz perdas econômicas, além de induzir a migração de minerais e vitaminas das camadas externas para o interior do grão (XU *et al.*, 2019; BELO *et al.*, 2015; BHATTACHARYA, 2004). Além disso, a parboilização pode estar associada a elevação do conteúdo de amido resistente em arroz (WALTER; SILVA; DENARDIN, 2005).

O amido resistente (AR) é definido como a porção do amido que resiste à desintegração no sistema digestivo, seguindo para o intestino grosso, onde pode ser utilizado pela microbiota intestinal como substratos fermentáveis (FUENTES-ZARAGOZA *et al.*, 2011). O (AR) tem sido relacionado a inúmeros benefícios à saúde, como a diminuição do colesterol plasmático e redução de bactérias patogênicas na microbiota intestinal, principalmente devido a produção de ácidos graxos de cadeia curta na fermentação probiótica (HALD *et al.*, 2016; KLOSTERBUER *et al.*, 2013).

Ashwar *et al.* (2016) observaram aumento de até 380% de amido resistente após um ciclo de dupla autoclavagem seguida de resfriamento do arroz. Os autores atribuíram este comportamento a retrogradação aumentada do amido. Além disso, diversos fatores também podem estar relacionados, como a cristalinidade, o teor de amilose, a presença da camada de aleurona (barreira física) e também o método de cozimento subsequente (KIM *et al.*, 2020; TIAN *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2017; PUROHIT; RAO, 2017; ASHWAR *et al.*, 2015).

Entretanto, comportamentos adversos podem ser encontrados na literatura, como o experimento de Gunaratne *et al.* (2013) que relataram que a parboilização não induziu a formação de amido resistente em grãos de arroz no Siri Lanka. Isso pode estar associado aos diferentes métodos de parboilização, principalmente aplicação ou não de pressão (autoclavagem), quantidade de água e tempo na maceração, tempo de secagem, variedade do arroz, entre outros fatores (ASHWAR *et al.*, 2016; DUTTA; MAHANTA; SINGH, 2015; HSU *et al.*, 2015; DUTTA; MAHANTA, 2012).

Vários autores também estudaram o efeito da utilização do tratamento de baixa umidade e calor (HMT) em grãos de arroz. O HMT é uma modificação física que altera as propriedades físico-químicas do amido sem causar alterações em sua estrutura molecular. Basicamente, o processo consiste no aquecimento dos produtos (84-140 °C) e baixa umidade (<35%) em amplas faixas de tempo, podendo variar desde 15 minutos até 16 horas, dependendo da matriz e do objetivo (HOOVER, 2010).

A sequência de aplicação (antes ou depois) do HMT e da parboilização, pode estar associada à eficiência do processo. Silva *et al.* (2017) aplicaram o HMT antes da parboilização e não encontraram resultados significativos, já Cheng, Chen e Yeh (2019) relataram teores aumentados para AR quando aplicaram HMT após a parboilização de amostras de arroz.

Em amidos isolados, o tratamento ácido também se mostra eficiente na produção de AR. Hung, Vien e Phi (2016) aplicaram diferentes ácidos orgânicos (acético, láctico e cítrico) em amido de arroz, observando teores próximos a 40% de AR após isso, sendo o ácido cítrico o mais eficiente. E Shaikh *et al.* (2019) alcançaram teores de até 90% de AR em amido de milho tratado com HMT combinado com ácido cítrico.

Até o presente, os efeitos do HMT combinado com tratamento ácido (HMTac) diretamente em grãos de arroz inteiros após a parboilização ainda são desconhecidos. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do HMTac utilizando-se ácido cítrico em diferentes concentrações na qualidade tecnológica e nutricional do arroz.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Grãos, Raízes e Tubérculos do Departamento de Ciências dos Alimentos localizado na Universidade federal de Lavras-MG.

Os grãos de arroz (*Oryza sativa L.*) utilizados foram da Cultivar BRSMG BRSMG Caravera colhidos na safra 2014/2015, cedidos gentilmente pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) sediada na própria universidade. O ácido cítrico anidro (pureza 99,5%) foi adquirido da empresa Cromato Produtos Químicos Ltda. (Diadema, São Paulo, Brasil).

2.2 Parboilização e beneficiamento

Primeiramente, os grãos foram parboilizados de acordo com a metodologia descrita por Elias (1998), com algumas adaptações. Cerca de 400 g de arroz em casca foram pesados, imersos em 500 mL de água destilada em um béquer de 2,000 mL e mantidos em banho-maria (modelo 147, Fanem, Brasil) a 65 °C durante cinco horas. Posteriormente, os grãos de arroz em casca foram autoclavados (Mod. 104, Fabre, Brasil) (em béquer envolto com folha de alumínio) a 120 °C durante 30 minutos sob pressão de 12,45 MPa. Os grãos foram secos ao sol utilizando telas suspensas de nylon por 72 horas. Por fim, o arroz parboilizado foi moído (20 segundos) e brunido (por 2 minutos) em engenho de provas (modelo MT, Suzuki, Japão). Além disso, é importante destacar, que foram separados apenas os grãos inteiros (Trier n° 1 por um minuto) e, que a amostra foi devidamente acondicionada em frasco de vidro tampado, mantido a temperatura ambiente (25 °C) até a realização do tratamento seguinte (item 2.3).

2.3 Tratamento de calor-baixa umidade com ácido cítrico (HMTac)

Os grãos de arroz parboilizados e polidos foram submetidos ao HMT combinado com tratamento ácido, de acordo com o método descrito por Hung, Vien e Phi (2016), com modificações. Sete alíquotas de 50 g, foram colocadas separadamente em frascos de vidro (100 ml) e, em seguida, foram adicionadas cerca de 30% do volume de soluções de ácido cítrico nas concentrações de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 e 0,6 M (grau alimentício). Estas amostras foram codificadas como HMTac-1, 2, 3, 4, 5, e 6, respectivamente. Além disso, uma alíquota foi tratada apenas por HMT acondicionada com 30% de água destilada, sendo denominada como HMTac-0. Os frascos tampados permaneceram em repouso durante 24 horas, depois foram colocados em estufa (Mod. 320-SE, Datamed, Brasil) a 110 °C por oito horas. Após o tratamento os grãos foram lavados com água destilada e secos ao sol em telas de nylon por 48 horas. As amostras foram acondicionadas em frascos com tampas à temperatura ambiente até o momento das análises.

2.4 Qualidade do cozimento do arroz HMTac

2.4.1 Tempo ótimo de cozimento (TOC)

Para determinar o tempo ótimo de cozimento, foram pesados cerca de 10 g de cada amostra em béquer e adicionados 500 mL de água destilada em ebulição, mantidos em chapa de aquecimento. Após 15 minutos de cozimento, foram retirados três grãos e pressionados entre duas lâminas de vidro. O procedimento foi repetido em intervalos de 30 segundos, até o completo desaparecimento dos pontos brancos, ou seja, até a gelatinização total do amido (CIACCO; CHANG, 1986; HUMMEL, 1966).

2.4.2 Absorção de água (ABS)

Foram cozidos aproximadamente 10 g de arroz em 500 mL de água destilada, pelo tempo obtido no TOC. Após a drenagem da água, os grãos foram mantidos em repouso durante cinco minutos em papel toalha e, posteriormente, pesados. O coeficiente de absorção de água foi determinado pela relação (peso do arroz cozido/peso do arroz cru) (DONNELLY, 1979; HUMMEL, 1966).

2.4.3 Perda de sólidos (PS)

Aproximadamente 10 g de arroz foram submetidos à cocção em 500 mL de água destilada pelo tempo ótimo de cozimento. Em seguida a água de cozimento foi medida em proveta e coletada uma alíquota de 10 mL em uma placa de Petri previamente tarada. A placa foi mantida em estufa com circulação de ar a 95 °C, durante cinco horas, resfriada por 30 min em dessecador com sílica e pesada. A porcentagem de perda de sólidos solúveis foi determinada pela relação: $\{(volume\ de\ água\ x\ peso\ do\ resíduo\ seco\ x\ 100)/10\ mL\}/peso\ do\ arroz\ cru$ (CIACCO; CHANG, 1986; MARADINI, 1983).

2.5 Textura instrumental do arroz HMTac

Os grãos de arroz cozidos foram avaliados quanto às propriedades de textura, utilizando-se um analisador de textura (Stable Micro System, TA-XT2i, Reino Unido). Após a cocção pelo TOC, um grão de arroz cozido foi comprimido em célula de carga de 5 Kg, por meio de uma probe cilíndrica de 100 mm, com taxa de deformação de 0,5, velocidade de pré-teste de 2,0 mm/s e pós-teste de 5,0 mm/s. Os parâmetros de dureza, coesividade e elasticidade foram calculados usando o software Texture Expert. Os ensaios foram conduzidos em quintuplicatas.

2.6 Composição centesimal do arroz HMTac

As amostras de arroz foram cozidas pelo TOC e colocadas em dessecador de sílica gel por uma hora, em seguida a umidade da amostra foi determinada pelo método 925.09 da AOAC (2000). Posteriormente, as alíquotas secas foram moídas e submetidas às análises de gordura bruta (Soxlet), proteína bruta (micro Kjeldahl) e cinzas (incineração em mufla) pelos métodos 925.38, 920.87 e 923.03 da AOAC (2000), respectivamente. O teor de carboidratos foi calculado por diferença. Todos os resultados foram expressos em base seca, exceto o teor de umidade.

2.7 Análise de cor do arroz do arroz HMTac

A análise colorimétrica das amostras de arroz cruas e cozidas foi realizada em colorímetro (Minolta CR-400, Japão), pelo sistema CIELAB, considerando os atributos cromáticos L (100 = branco; 0 = preto), a^* (+, vermelho; -, verde) e b^* (+, amarelo; -, azul), utilizando-se cerca de 10 g de amostra, distribuída uniformemente em uma placa de Petri de vidro (100 mm x 12 mm), sendo as análises realizadas em cinco pontos distintos (quintuplicatas).

2.8 Calorimetria exploratória diferencial (DSC) do arroz HMTac

Para a análise de calorimetria exploratória diferencial foi utilizada a metodologia adaptada de Detduangchan, Sridach e Wittaya (2014), utilizou-se o equipamento da marca Shimadzu DSC - 60, Japão. Cerca de 5 mg das amostras foram adicionadas em cadinhos de alumínio para a verificação. Um cadinho vazio de alumínio serviu como referência. A análise

foi realizada, em temperaturas de 25 a 350 °C, com uma taxa de 10 °C min⁻¹ e um fluxo de N₂ de 50 ml min⁻¹.

2.9 Digestibilidade do amido do arroz HMTac

O teor de amido resistente foi determinado utilizando o kit de ensaio enzimático K-RSTAR (Megazyme, Irlanda), de acordo com o método 32-40 descrito pela AACC (2000).

2.10 Análise estatística

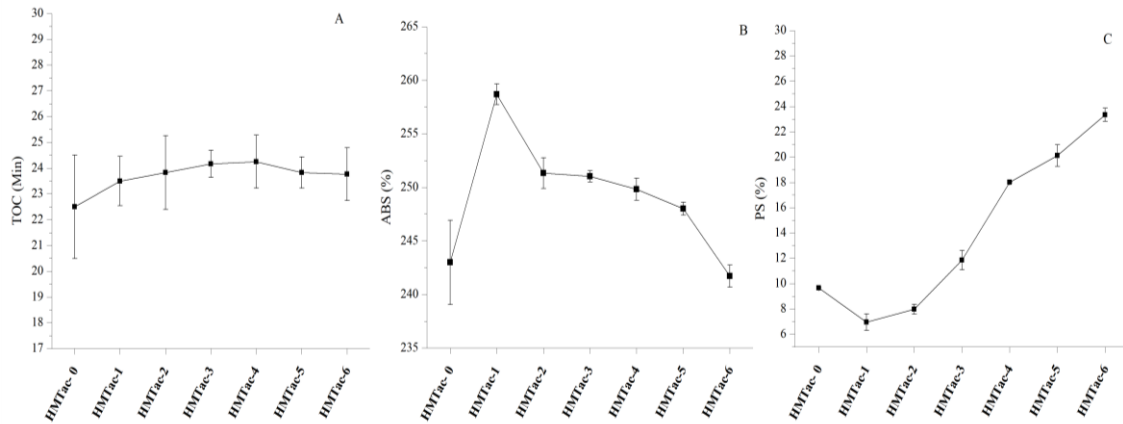
Os resultados foram expressos em valores médios ± desvio padrão e avaliados pela Análise de Variância (ANOVA), teste de Tukey ($p < 0,05$) e/ou teste T *Student* ($p < 0,05$). Para o amido resistente foi realizada análise de regressão. Todos os experimentos foram conduzidos em triplicada. Além disso, os dados foram submetidos ao teste de correlação entre os parâmetros avaliados. Todos os tratamentos estatísticos foram realizados no programa SPSS (Versão 20, EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Qualidade do cozimento

O TOC das amostras variou entre 22'30'' e 24'15'' (FIGURA 1A). Sendo que, as amostras submetidas ao HMTac não diferiram significativamente ($p \geq 0,05$) entre si, no entanto, foi verificado efeito significativo ($p < 0,05$) para a amostra submetida somente ao HMT (HMTac-0) em relação as demais, com exceção da amostra HMTac-1 que foi semelhante estaticamente da amostra controle. Isto revela que apesar do tratamento ácido promover alterações ($p < 0,05$), as concentrações aplicadas não foram capazes de promover aumento significativo ($p \geq 0,05$) entre si. Tais resultados podem ser considerados satisfatórios, visto que, o aumento do TOC pode representar maior gasto energético aplicado no cozimento do arroz, além de diminuição da praticidade e conveniência preferida pelos consumidores. Além disso, os TOC encontrados foram inferiores aos demonstrados por Arns *et al.* (2014) que verificaram aumento de 74% no TOC ao aplicar o HMT durante 60 minutos em grãos de arroz (aumentou de 27 para 47 minutos).

Figura 1 - Parâmetros de qualidade do cozimento do arroz submetido ao HMTac (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; e 0,6 Mol l-1 de ácido cítrico).



A= Tempo ótimo de cozimento (TOC) (min). B= Absorção de água (ABS) (%). C= Perda de sólidos (PS) (%). HMTac = tratamento com calor e baixa umidade + ácido cítrico.

Para ABS observou-se aumento significativo ($p < 0,05$) de HMTac-0 para HMTac-1, porém, um decréscimo gradativo pode ser observado (FIGURA 1B), quando se aumentou a dosagem de ácido cítrico. Isso possivelmente está relacionado com a hidrólise ocasionada pelo ácido cítrico nas cadeias de amilose e amilopectina nas regiões cristalina e amorfa. Sendo assim, essa redução na absorção de água no grão de arroz pode estar relacionada com essas alterações, corroborando com diversos estudos que relataram a diminuição da capacidade de reter água para amidos tratados com ácidos, como por exemplo, nos ensaios de Shaikh *et al.* (2019), que trataram amidos de sorgo e de milho com ácido cítrico e verificaram diminuição da capacidade de reter água nestas amostras, assim como no experimento de Hung, Vien e Phi (2016), para amido de arroz tratados com ácidos orgânicos e, ainda no trabalho de Rafiq, Singh e Saxena (2016), que estudaram o amido de castanha-da-índia modificado com ácido clorídrico. Isso também pode ter ocorrido devido a maior interação entre as cadeias de amilopectina e o fortalecimento das ligações intermoleculares provocadas pelo HMT combinado com o tratamento ácido (ZAVAREZE; DIAS, 2011).

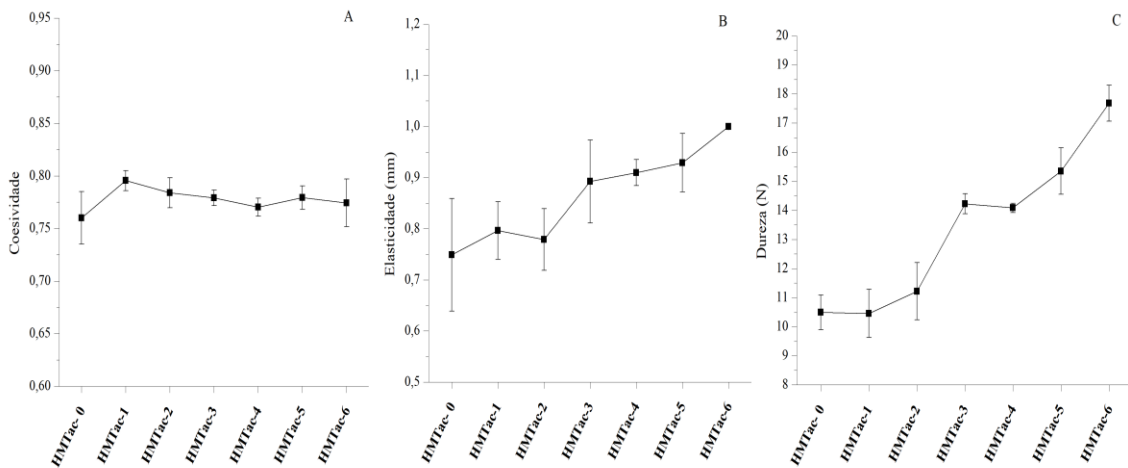
Já a PS diminuiu de HMTac-0 para HMTac-1 e aumentou significativamente ($p < 0,05$) até a amostra HMTac-6, variando de 6,96% a 23,35% (FIGURA 1C). Esse comportamento pode ser considerado negativo, visto que representa perdas nutricionais importantes (discutidas no item 3.3). A PS pode ser atribuída à lixiviação de moléculas amiláceas hidrolisadas pelo ácido cítrico, aumentando de forma gradativa na medida em que se

aumentou a sua concentração. Comportamento semelhante também foram encontrados por Sirisoontarak *et al.* (2015) que observaram aumento de cerca de 300% (de 4% para 12%) para PS em grãos de arroz tratados com solução acidificada de 50 g l⁻¹ de lactato de cálcio.

3.2 Textura instrumental

De acordo com Li e Gilbert (2018) a textura dos grãos de arroz é altamente influenciada pela forma de beneficiamento, como por exemplo, a parboilização que pode aumentar a dureza das amostras e o polimento que pode reduzir estes valores. Ambos os processos foram aplicados neste estudo, além disso, também foram aplicados o HMTac com diferentes concentrações de ácido cítrico. Neste sentido, foi avaliado o efeito deste tratamento nas propriedades de textura do arroz cozido (FIGURA 2).

Figura 2 - Parâmetros de textura do arroz submetido ao HMTac (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; e 0,6 Mol L⁻¹ de ácido cítrico).



Fonte: Do autor (2020).

A= Coesividade . B= Elasticidade (mm). C= Dureza (N). HMTac = tratamento com calor e baixa umidade + ácido cítrico.

O aumento da concentração de ácido cítrico não provocou diferença na coesividade das amostras (FIGURA 2A) e para elasticidade apenas a amostra HMTac-6 diferiu de HMTac-0, 1 e 2, porém, não apresentou distinção de médias em relação a HMTac-3, 4 e 5 pelo Teste Tukey a 95 % de confiança (FIGURA 2B). A dureza dos grãos variou entre 10,45 N e 17,68 N (FIGURA 2C), não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre HMTac-0, HMTac-1 e 2 e o outro grupo foi formado por HMTac-3, 4 e 5 que foram semelhantes entre si no intervalo de 95% de probabilidade, porém, diferiram dos primeiros níveis (0, 1 e 2). Além de HMTac-6 que apresentou a maior média ($p \leq 0,05$) para este parâmetro. Os resultados foram superiores aos encontrados por Tian *et al.* (2018) que encontraram 6,61 N em arroz

parboilizado e polido. Já o experimento de Sirisoontaralak *et al.* (2015) encontrou valor médio de 17,0 N para dureza do arroz acidificado cozido, resultado que foi semelhante ao HMTac-6. Além disso, este parâmetro apresentou forte correlação ($R=0,91$, $p=0,05$) com PS, ou seja, quando os valores de PS aumentaram, observou-se o mesmo comportamento para dureza, assim como para AR ($R=0,86$ $p=0,05$), o que sugere a relação diretamente proporcional entre a digestibilidade do amido e a dureza do grão de arroz cozido.

Apesar da escassez de estudos que aplicaram HMT diretamente em grãos de arroz parabolizado polido, que avaliaram parâmetros de textura, alguns autores relatam o comportamento do HMT no grânulo de amido que podem refletir no grão inteiro de arroz (formado por cerca de 90% de amido). No trabalho de Sun *et al.* (2013) ocorreu aumento da dureza de géis preparados com arroz tratado com HMT em diferentes intervalos de tempo e, também constatado no estudo de Sun *et al.* (2015) para amido de milho tratado com HMT combinado com a hidrólise ácida. Isso pode ser atribuído às mudanças físicas provocadas pelo HMT, como a maior reticulação entre as cadeias de amido, possivelmente mais acentuada devido a hidrólise parcial causada pelo ácido cítrico, que pode ter favorecido a interação entre as cadeias menos ramificadas (HUNG; VIEN; PHI, 2016).

3.3 Composição centesimal

As amostras de arroz tratados com HMTac foram cozidas pelo TOC e avaliadas quanto a composição química, sendo os resultados apresentados na Tabela 1. O conteúdo de umidade mostrou diferença ($p<0,05$) apenas entre HMTac-0, 3 e 5 e HMTac-6, as amostras HMTac-1, HMTac-2 e HMTac-4 apresentaram ambiguidade entre os extremos (HMTac-0 e 6) ($p\geq 0,05$), sendo assim, para umidade, se observou efeito neste parâmetro apenas para HMTac-6. Para proteína houve redução à medida que se aumentou a concentração de ácido cítrico, sendo que HMTac-0, 4 e 6 foram diferentes entre si e as demais médias (HMTac-1, 2, 3 e 5) se mostraram ambíguas entre HMTac-0 e 4. A redução do teor de proteínas pode ser explicada pelo aumento da perda de sólidos dessas amostras, pois, esses parâmetros apresentaram correlação negativa entre si ($R=-0,74$, $p=0,05$), ou seja, a PS pode ter ocasionado a diminuição do teor proteico.

Tabela 1 - Valores médios + desvios-padrão da composição química de grãos de arroz cozidos submetidos ao HMT com diferentes concentrações de ácido cítrico.

Amostra	Umidade (%, b.u.*)	Composição (g 100g ⁻¹ , base seca)			
		Proteína	Gordura	Cinzas	CHO**
HMTac-0	67,90±0,3 ^a	9,86±0,4 ^a	1,05±0,2 ^a	0,34±0,0 ^a	88,75±0,4 ^c
HMTac-1	68,20±0,1 ^{ab}	9,31±0,3 ^{ab}	0,43±0,1 ^b	0,39±0,0 ^a	89,87±0,4 ^b
HMTac-2	68,33±0,2 ^{ab}	9,29±0,3 ^{ab}	0,40±0,0 ^b	0,41±0,0 ^a	89,90±0,3 ^b
HMTac-3	68,02±0,2 ^a	9,74±0,1 ^{ab}	0,36±0,0 ^b	0,31±0,0 ^a	89,59±0,1 ^{bc}
HMTac-4	68,36±0,4 ^{ab}	8,82±0,2 ^b	0,35±0,0 ^b	0,39±0,1 ^a	90,44±0,3 ^{ab}
HMTac-5	67,92±0,1 ^a	8,88±0,4 ^{ab}	0,31±0,0 ^b	0,34±0,0 ^a	90,48±0,4 ^b
HMTac-6	68,67±0,0 ^b	7,33±0,5 ^c	0,27±0,0 ^b	0,39±0,0 ^a	92,02±0,5 ^a

*b.u.=base úmida; **CHO= Carboidratos totais. Valores expressos como média e desvio padrão (n=3). ^{a-c} Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p<0,05$) pelo Teste Tukey. HMTac= Tratamento calor-baixa umidade com adição de ácido cítrico.

No caso da gordura todas as amostras que foram utilizadas em diferentes níveis de ácido cítrico diferiram ($p<0,05$) da amostra HMTac-0, porém, foram semelhantes estatisticamente entre si ($p\geq 0,05$). Este resultado mostra que apesar do HMTac causar redução da gordura, as concentrações não foram suficientes para comportamentos diferentes nas amostras. O teor de cinzas não apresentou diferenças significativas ($p\geq 0,05$) entre as amostras. Todavia, apesar do efeito do HMTac, os conteúdos de proteínas, gorduras e cinzas encontrados neste estudo estão próximos aos encontrados por Silva *et al.* (2017) em arroz submetido ao HMT.

3.4 Cor

O HMTac reduziu a claridade (L^*) e intensificou o amarelecimento (b^*) dos grãos de arroz à medida que se aumentou a concentração do ácido cítrico (TABELA 2). No caso da coordenada a^* , a menor média foi encontrada para HMTac-0, porém, a amostra HMTac-1 apresentou a maior média e, quando se aumentou a acidificação, houve redução gradativa de 16,86 para 12,07 para o arroz cru. Na Tabela 2, observa-se também o efeito do cozimento nas amostras de arroz tratados com HMTac, para L e a^* , sendo que elas apresentaram comportamento semelhante ao arroz cru, entretanto, no parâmetro b^* amostras tratadas por

HMTac não diferiram entre si ($p \geq 0,05$). Além disso, a comparação por meio do teste de T pareado mostrou que o cozimento reduziu o efeito dos tratamentos na cor, mostrada pelo aumento da claridade (L), menor vermelhidão (a^*) em todas as amostras e aumento do amarecimento (b^*), exceto para HMTac-1 que foi semelhante antes e após o cozimento e HMTac-0 que apresentou redução.

Tabela 2 - Valores médios + desvios-padrão dos resultados de cor (L, a* e b*) de grãos de arroz (cru e cozidos) submetidos ao HMT com diferentes níveis de ácido cítrico.

Amostra	CieLAB					
	L		a*		b*	
	Cru	Cozido	Cru	Cozido	Cru	Cozido
HMTac-0	51,71 ± 0,2 ^{a,A}	70,01±0,3 ^{a,B}	8,72±0,2 ^{f,A}	2,77±0,1 ^{c,B}	27,45±0,4 ^{a,A}	18,17±0,3 ^{b,B}
HMTac-1	37,77 ± 0,3 ^{b,A}	55,35±0,4 ^{b,B}	16,86±0,3 ^{a,A}	9,93±0,2 ^{b,B}	21,89±0,4 ^{b,A}	23,46±0,4 ^{a,A}
HMTac-2	36,69 ± 0,4 ^{c,A}	54,11±0,9 ^{bc,B}	16,00±0,1 ^{b,A}	10,16±0,3 ^{b,B}	19,81±0,4 ^{c,B}	23,12±0,3 ^{a,A}
HMTac-3	34,36 ± 0,3 ^{d,A}	53,14±0,7 ^{c,B}	15,10±0,1 ^{c,A}	9,99±0,3 ^{b,B}	17,02±0,2 ^{d,B}	22,24±0,6 ^{a,A}
HMTac-4	33,75 ± 0,5 ^{d,A}	52,53±0,9 ^{c,B}	14,66±0,1 ^{c,A}	9,86±0,4 ^{bc,B}	16,21±0,4 ^{d,B}	22,46±0,4 ^{a,A}
HMTac-5	32,48 ± 0,6 ^{e,A}	50,11±0,7 ^{d,B}	13,32±0,3 ^{d,A}	10,39±0,1 ^{bc,B}	13,74±0,6 ^{e,B}	22,73±0,7 ^{a,A}
HMTac-6	31,39 ± 0,3 ^{f,A}	49,07±0,9 ^{d,B}	12,07±0,1 ^{e,A}	10,65±0,0 ^{a,B}	11,66±0,04 ^{f,B}	22,36±0,2 ^{a,A}

^{a-c} Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo Teste Tukey.

^{A-B} - As letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística ($p < 0,05$) entre as amostras na mesma linha para cada atributo de cor pelo Teste T *Student* pareado.

HMTac= Tratamento calor-baixa umidade com adição de ácido cítrico.

A redução da claridade e aumento da vermelhidão também foram observados por Sirisoontaralak *et al.* (2016) em amostras de arroz acidificado e Balasubramanian *et al.* (2014), que modificaram amido de milho (*Pennisetum typhoides*) por meio de HMT e solução ácida. Possivelmente, isto foi provocado pelo surgimento de compostos secundários (melanoidinas) produzidos durante a reação de Maillard, definida com uma transformação química entre os açúcares do amido aquecido/hidrolisado e o grupamento amino nas proteínas (LAMBERTS *et al.*, 2008; SIRISOONTARALAK; NOOMHOR, 2006). Sendo assim, o aumento do escurecimento pode ser atribuído a maior disponibilidade destas substâncias por conta da hidrólise causada pelo ácido cítrico. Além disso, segundo Arns *et al.* (2014), o HMT de forma isolada também pode promover a intensificação da cor amarelada durante o tratamento.

3.5 Gelatinização

De acordo com Schlemmer, Angélica e Sales (2010), em uma curva de DSC, picos exotérmicos e endotérmicos caracterizam transições ou reações que tenham ocorrido durante a análise, como por exemplo, a gelatinização, fusão, oxidação e decomposição, dentre outras. No presente trabalho, os termogramas apresentam um pico endotérmico característico da gelatinização do amido. Neste fenômeno, a estrutura cristalina do amido é perdida quando aquecido a temperaturas entre 70 °C e 90 °C, estando associado com a quebra de ligações intermoleculares, diminuindo o tamanho e número das regiões cristalinas no material, permitindo a formação de novas ligações de hidrogênio, absorvendo mais água e dissolvendo os grânulos de amido (TAGHIZADEH; FAVIS, 2013). Os valores encontrados para T_0 (temperatura de início da gelatinização), T_p (temperatura de pico da gelatinização), T_c (temperatura final de gelatinização) e o ΔH (J/g) (variação de entalpia) estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Atributos térmicos obtidos através das curvas de DSC de grãos de arroz submetidos ao HMT com diferentes níveis de ácido cítrico.

Amostra	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (J g ⁻¹)
HMTac-0	40,21	59,63	85,78	59,60
HMTac-1	27,33	58,32	92,29	176,82
HMTac-2	25,63	65,85	103,80	332,32
HMTac-3	22,43	66,59	97,87	279,78
HMTac-4	26,59	61,13	96,01	241,16
HMTac-5	35,25	64,63	107,45	262,44
HMTac-6	37,30	63,68	95,30	164,75

Legenda: T_o (temperatura de início da gelatinização); T_p (temperatura de pico da gelatinização); T_c (temperatura final da gelatinização); ΔH (Variação de Entalpia). HMTac= Tratamento calor-baixa umidade com adição de ácido cítrico.

Foi observado que a T_o para HMTac-0 foi a maior temperatura, já as amostras HMTac-1, 2, 3 e 4 apresentaram valores próximos entre si, além disso, HMTac-5 e HMTac-6 foram mais próximas a HMTac-0. Os valores estão abaixo dos encontrados por outros experimentos, como por exemplo, no trabalho de Silva *et al.* (2017) que encontraram T_o entre 56,9 °C e 61,2 °C para arroz tratado com HMT sob diferentes condições de tempo e umidade e Arns *et al.* (2015) em trabalho com amido de arroz tratado com HMT (entre 55,31 °C e 57,68 °C).

A temperatura de pico da gelatinização (T_p) aumentou com a concentração do ácido cítrico nos tratamentos HMTac, exceto em HMTac-1, que foi ligeiramente menor que HMTac-0. O valor mais alto foi para HMTac-5. Estes resultados estão próximos aos encontrados por Arns *et al.* (2014) em arroz tratado com HMT e parboilizado foram encontrados valores entre 63,46 °C e 71,82 °C e Arns *et al.* (2015) apresentaram valores entre 62,38 °C e 68,26 °C. Já os resultados de T_c (entre 87,78 °C e 107,45 °C) estão superiores aos encontrados por Arns *et al.* (2015) (68,42 °C e 72,37 °C) e Silva *et al.* (2017) (68,60 °C e 76,20 °C).

É possível observar aumento da faixa de temperatura ($T_c - T_o$) de 44,29 °C (HMTac-0) para 78,17 °C (HMTac-2) que foi a maior faixa. De acordo com Hoover (2000), isto pode ser explicado pela distribuição mais heterogênea do amido tratado com ácido. Sendo que a hidrólise parcial pode ter reduzido T_o , devido à desramificação das regiões mais amorfas, formando partículas de diferentes tamanhos e, ocasionando gelatinização das moléculas menores e a absorção da água pelos grãos em temperaturas mais baixas. Por outro lado, o maior empacotamento de duplas hélices na reorganização das moléculas de amilose, a

formação de complexos amilose-lipídeos, cristais de amido e citrato de amido, que são estruturas mais ordenadas e estáveis, podem ter sido responsáveis pelo aumento de T_p e T_c .

A energia necessária para a realização deste evento endotérmico pode ser medida por meio do ΔH (variação da entalpia) (DHITAL *et al.*, 2011). Neste experimento, ΔH variou entre 59,60 J g⁻¹ e 332,32 J g⁻¹, de modo que todas as amostras tratadas com HMTac mostraram valores maiores quando comparadas a HMTac-0. Alguns trabalhos encontraram comportamento contrário para amidos tratados apenas com HMT, como revelado por Arns *et al.* (2014) e Silva *et al.* (2017).

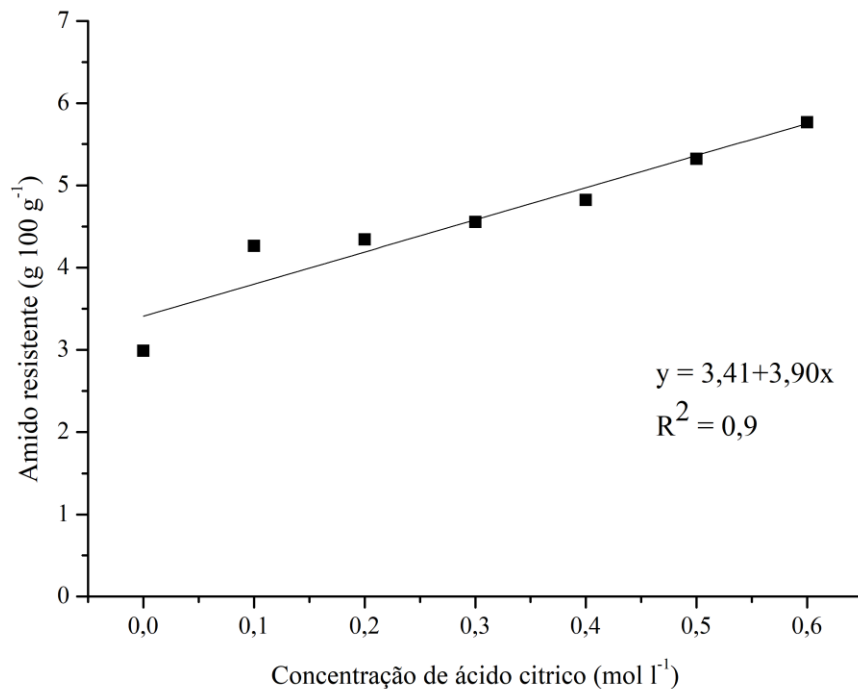
Entretanto, em experimentos com modificação ácida, o aumento de ΔH também pode ser verificado, como no trabalho de Man *et al.* (2012) que, ao estudarem as propriedades térmicas de amido de arroz modificado com ácido clorídrico, relataram incremento de até 500 % para ΔH e também no estudo de Shin *et al.* (2009) que trataram amido de arroz com ácido cítrico e encontraram valores duas vezes maiores. O aumento da energia (ΔH) pode ser explicado pela maior dissociação das regiões amorfas que desestabilizam as regiões cristalinas e a maior energia necessária para a ruptura das ligações entre as duplas hélices (CAMPANHA; FRANCO, 2011; JAYAKODY; HOOVER, 2002).

3.6 Amido resistente

O amido resistente foi determinado após a cocção pelo TOC de cada amostra. O objetivo disso foi se aproximar da quantidade real de AR nos grãos de arroz quando forem utilizados pelos consumidores. Além disso, em experimento anterior (ainda não publicado), o conteúdo AR foi determinado para a amostra crua e após o cozimento, sendo que se verificou redução de aproximadamente 22%. Para Cheng, Chen e Yeh (2019) os processos hidrotérmicos influenciam diretamente no AR dos grãos, como por exemplo, a sequência de aplicação: em seus experimentos verificou-se maior teor AR, para o HMT aplicado após a parboilização. Já no trabalho de Chen *et al.* (2017) não foi observada diferença entre os métodos de cozimento comuns (em excesso de água), quando foi verificado a gelatinização total do amido no interior do grão de arroz.

Na Figura 3 está apresentada a relação linear ($R^2=0,90$) entre o conteúdo de AR encontrado e a concentração ácida aplicada durante os tratamentos HMTac. O teor de AR dos grãos de arroz aumentou significativamente ($p<0,05$) em cerca de 93% na amostra HMTac-6 em relação à amostra não tratada (HMTac-0). Este resultado sugere que o tratamento ácido potencializou o efeito do HMT.

Figura 3 - Relação linear entre o conteúdo AR e concentração de ácido cítrico utilizada no tratamento HMT.



0=HMTac-0; 0,1 M= HMTac-1; 0,2 M= HMTac-2; 0,3=HMTac-3; 0,4 M=HMTac-4; 0,5 M=HMTac-5; 0,6 M= HMTac-6

Vários autores testaram o efeito do HMT combinado com ácido cítrico na digestibilidade do amido e observaram percentagens elevadas de amido resistente, como Xia, Li e Gao (2016) em amido de batata doce (~70 %) e Hung, Vien e Phi (2016) em amido de arroz (~40%) e, ainda Shaikh *et al.* (2019) que realizaram apenas o tratamento ácido em amido de milho e sorgo e relataram teores próximos a 87% de AR. Entretanto, todos os experimentos citados foram realizados em amidos isolados. O presente trabalho se diferencia dos demais porque os tratamentos foram aplicados diretamente em grãos de arroz. Além disso, os estudos citados utilizaram concentrações mais elevadas do ácido.

Segundo Xia, Li e Gao (2016), durante o aquecimento se forma o citrato de amido, consequentemente, isto pode impossibilitar a ação de enzimas digestivas na quebra de ligações glicosídicas. Outro mecanismo é a quebra de moléculas nas regiões mais amorfas do grânulo de amido, o que por sua vez, pode facilitar a reassociação das cadeias de amilose em forma de dupla hélice, tornando as moléculas mais estáveis e resistentes a digestão enzimática (HUNG; VIEN; PHI, 2016).

Também é importante ressaltar que apesar da melhoria no teor de AR houve perdas importantes na qualidade tecnológica e nutricional do arroz. Fortes correlações negativas ($p < 0,05$) foram encontradas para o conteúdo de proteína ($R = -0,97$) e de gordura ($R = -0,85$). Isto revela que o aumento de AR provoca perdas nestes nutrientes, Além de correlação positiva para perda de sólidos ($R = 0,80$) e dureza ($R = 0,87$), o que também afeta a qualidade tecnológica dos grãos.

4 CONCLUSÃO

O HMT combinado com tratamento ácido, variando a concentração de ácido cítrico (de 0 a $0,6 \text{ Mol l}^{-1}$), afeta a qualidade de cozimento dos grãos de arroz da variedade BRSMG Caravera, principalmente em relação a perda de sólidos na água de cozimento, sendo que o HMTac-6 apresenta percentual três vezes maior que a amostra HMTac-0 (Padrão). Isto também apresenta forte correlação negativa com as perdas nutricionais encontradas, especificamente, no conteúdo de proteína e de gordura e, conseqüentemente, com o valor calórico do arroz.

Observa-se influência significativa nas propriedades de textura (dureza e elasticidade) e na cor das amostras, como a redução da claridade (L) e aumento sutil da tendência à cor vermelha. É importante destacar que a medição da cor após o cozimento mostra redução destes efeitos na coloração, exceto no parâmetro b^* , sendo observado aumento após a cocção. Há ampliação da faixa de temperatura de gelatinização (redução de T_0 e aumento de T_c), bem como na energia necessária para a ocorrência deste fenômeno. O conteúdo de amido resistente apresenta comportamento linear ($R^2 = 0,9$) em relação ao aumento da concentração de ácido cítrico. A amostra HMTac-6 revela incremento de quase 100 % de AR em relação (HMTac-0) nas amostras cozidas.

Apesar dos efeitos na qualidade tecnológica (qualidade do cozimento, textura, cor e gelatinização), não é possível considerá-los negativos, pois, estudos futuros são necessários para avaliar essas alterações nas características sensoriais das amostras. Todavia, o método HMTac pode ser considerado uma tecnologia eficiente para o aumento do conteúdo de amido resistente em grãos de arroz. Sendo assim, torna-se necessário encontrar dosagens intermediárias (exemplo: HMTac-3 e HMTac-4) que ofereçam qualidade aceitável e níveis de amido resistente que, possivelmente, possam apresentar efeitos benéficos aos consumidores.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos. Os autores também agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro. E à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) pela concessão de amostras de arroz.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

REFERÊNCIAS

- AOAC. Association of Official Analytical Chemistry. **Official Methods of Analysis**. 17. ed. Washington: AOAC, 2000.
- ARNS, B. *et al.* Impact of heat-moisture treatment on rice starch, applied directly in grain paddy rice or in isolated starch. **LWT-Food Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 708-713, 2015.
- ARNS, B. *et al.* The effects of heat–moisture treatment of rice grains before parboiling on viscosity profile and physicochemical properties. **International journal of food science & technology**, v. 49, n. 8, p. 1939-1945, 2014.
- ASHWAR, B. A. *et al.* Production of resistant starch from rice by dual autoclaving-retrogradation treatment: Invitro digestibility, thermal and structural characterization. **Food Hydrocolloids**, v. 56, p. 108-117, 2016a.
- ASHWAR, B. A. *et al.* Preparation, health benefits and applications of resistant starch. A review. **Starch- Stärke**, v. 68, n. 3-4, p. 287-301, 2016b.
- BALASUBRAMANIAN, S. *et al.* Characterization of modified pearl millet (*Pennisetum typhoides*) starch. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 2, p. 294-300, 2014.
- BALBINOTI, T. C. V. *et al.* Parboiled rice and parboiling process. **Food Engineering Reviews**, v. 10, p. 165–185, 2018.
- BHATTACHARYA, K. Parboiling of rice. In: CHAMPAGNE, E. T. **Rice: chemistry and technology**. 3. ed. St. Paul. MN: American Association of Cereal Chemists Inc, 2004. p. 329-394.
- BELLO, M. O. *et al.* Hydrothermal treatment of rough rice: effect of processing conditions on product attributes. **Journal of food science and technology**, v. 52, n. 8, p. 5156-5163, 2015.
- CAMPANHA, R. B.; FRANCO, C. M. L. Gelatinization properties of native starches and their Nægeli dextrans. **Journal of thermal analysis and calorimetry**, v. 106, n. 3, p. 799-804, 2011.
- CHEN, M. H. *et al.* Resistant starch: Variation among high amylose rice varieties and its relationship with apparent amylose content, pasting properties and cooking methods. **Food chemistry**, v. 234, p. 180-189, 2017.
- CHENG, K. C.; CHEN, S. H.; YEH, A. Physicochemical properties and in vitro digestibility of rice after parboiling with heat moisture treatment. **Journal of cereal science**, v. 85, p. 98-104, 2019.
- CIACCO, C. F.; CHANG, Y. K. **Como fazer massas**. São Paulo: Ícone. 1986.

- DETDUANGCHAN, N.; SRIDACH, W.; WITTAYA, T. Enhancement of the properties of biodegradable rice starch films by using chemical crosslinking agents. **International Food Research Journal**, v. 21, n. 3, p.1225 - 1235, 2014.
- DHITAL, S. *et al.* Cryo-milling of starch granules leads to differential effects on molecular size and conformation. **Carbohydrate polymers**, v. 84, n. 3, p. 1133-1140, 2011.
- DREHER, M. L. **Dietary fiber in health and disease**. Wimberley: Human Press, 2018.
- DONNELLY, B. J. Pasta products: raw material, technology, evaluation. **Macaroni Journal**, v. 61, n. 1, p. 6-18, 1979.
- DUTTA, H.; MAHANTA, C. L.; SINGH, V. Changes in the properties of rice varieties with different amylose content on dry heat parboiling. **Journal of Cereal Science**, v. 65, p. 227-235, 2015.
- DUTTA, H.; MAHANTA, C. L. Effect of hydrothermal treatment varying in time and pressure on the properties of parboiled rices with different amylose content. **Food Research International**, v. 49, n. 2, p. 655-663, 2012.
- ELIAS, M. C. **Efeitos da espera para secagem e do tempo de armazenamento na qualidade das sementes e grãos do arroz irrigado**. 1998. 164 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1998.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAO expects rice production to rise by 1.8 percent in 2008**: Market situation remains difficult in the short-term – lower rice trade, 2008. Disponível em:<
<http://www.fao.org/newsroom/en/news/2008/1000820/index.html>>. Acesso em: 13 abr. 2020
- FUENTES- ZARAGOZA, E. *et al.* Resistant starch as prebiotic: A review. **Starch- Stärke**, v. 63, n. 7, p. 406-415, 2011.
- GUNARATNE, A. *et al.* Effect of parboiling on the formation of resistant starch, digestibility and functional properties of rice flour from different varieties grown in Sri Lanka. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 11, p. 2723-2729, 2013.
- HALD, S. *et al.* Effects of Arabinoxylan and Resistant Starch on Intestinal Microbiota and Short-Chain Fatty Acids in Subjects with Metabolic Syndrome: A Randomised Crossover Study. **Plos One**, v. 11, n. 7, p. e0159223, 2016.
- HOOVER, R. Acid-treated starches. **Food Reviews International**, v. 16, n.3, p. 369-392, 2000.
- HOOVER, R. The impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v, 50, n. 9, p. 835-847, 2010.
- HSU, R. J. *et al.* Effects of cooking, retrogradation and drying on starch digestibility in instant rice making. **Journal of Cereal Science**, v. 65, p. 154-161, 2015.

HUNG, P. V.; VIEN, N. L.; PHI, N. T. L. Resistant starch improvement of rice starches under a combination of acid and heat-moisture treatments. **Food Chemistry**, v. 191, p. 67-73, 2016.

HUMMEL, C. **Macaroni products, manufacture, processing and packing**. London: Food Trade Press, 1966.

JAYAKODY, L.; HOOVER, R. The effect of lintnerization on cereal starch granules. **Food Research International**, v. 35, n. 7, p. 665-680, 2002.

LAMBERTS, L. *et al.* Impact of parboiling conditions on Maillard precursors and indicators in long-grain rice cultivars. **Food Chemistry**, v. 110, p. 916-922, 2008.

LI, H.; GILBERT, R. G. Starch molecular structure: the basis for an improved understanding of cooked rice texture. **Carbohydrate polymers**, v.195, p. 9-17, 2018.

KIM, H. R. *et al.* Combination of rice varieties and cooking methods resulting in a high content of resistant starch. **Cereal Chemistry**, v. 97, p. 149-15, 2019.

KLOSTERBUER, A. S. *et al.* Gastrointestinal effects of resistant starch, soluble maize fibre and pullulan in healthy adults. **The British journal of nutrition**, v. 110, n. 6, p. 1068-74, 2013.

MARADINI, A. M. *et al.* Manufacture of wheat-and-triticale-based macaroni, 1: influence of time and drying temperature on the physicochemical qualities of the product. [Part of thesis]. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 2, p. 111-127, 1984.

MAN, J. *et al.* Ordered structure and thermal property of acid-modified high-amylose rice starch. **Food chemistry**, v. 134, n. 4, p. 2242-2248, 2012.

MIR, S. A. *et al.* Rice: parboiling and milling properties. **International journal of food engineering**, v. 11, n. 6, p. 777-787, 2015.

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

PUROHIT, S. R.; RAO, P. S. Optimization of paddy parboiling process for higher starch crystallinity by response surface methodology. **International journal of biological macromolecules**, v. 104, p. 1091-1098, 2017.

RAFIQ, S. I.; SINGH, S.; SAXENA, D. C. Effect of heat-moisture and acid treatment on physicochemical, pasting, thermal and morphological properties of Horse Chestnut (*Aesculus indica*) starch. **Food Hydrocolloids**, v. 57, p. 103-113, 2016.

RENUKA, N. *et al.* Determination of some minerals and β -carotene contents in aromatic indica rice (*Oryza sativa* L.) germplasm. **Food chemistry**, v. 191, p. 2-6, 2016.

SHAIKH, F. *et al.* Comparative study on effects of citric and lactic acid treatment on morphological, functional, resistant starch fraction and glycemic index of corn and sorghum starches. **International journal of biological macromolecules**, v. 135, p. 314-327, 2019.

- SCHLEMMER, D.; ANGÉLICA, R. S.; SALES, M. J. A. Morphological and thermomechanical characterization of thermoplastic starch/montmorillonite nanocomposites. **Composite Structures**, v. 92, p. 2066-2070, 2010.
- SHIN, S. I. *et al.* Structural characteristics of low-glycemic response rice starch produced by citric acid treatment. **Carbohydrate polymers**, v. 78, n. 3, p. 588-595, 2009.
- SIRISOONTARALAK, P.; NOOMHORM, A. Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice. **Journal of Stored Products Research**, v. 42, n. 3, p. 264-276, 2006.
- SIRISOONTARALAK, P. *et al.* Effects of soaking and acidification on physicochemical properties of calcium- fortified rice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 8, p. 2796-2804, 2016.
- SILVA, W. M. F. *et al.* Starch digestibility and molecular weight distribution of proteins in rice grains subjected to heat-moisture treatment. **Food chemistry**, v. 219, p. 260-267, 2017.
- SCHATZ, M. C. *et al.* Whole genome de novo assemblies of three divergent strains of rice, *Oryza sativa*, document novel gene space of aus and indica. **Genome biology**, v. 15, n. 11, p. 506, 2014.
- SOLIMAN, G. A. Fibra alimentar, aterosclerose e doenças cardiovasculares. **Nutrientes**, v. 11, n. 5, p. 1155, 2019.
- SUN, Q. *et al.* The effect of heat moisture treatment on physicochemical properties of early indica rice. **Food chemistry**, v. 141, n. 2, p. 853-857, 2013.
- SUN, Q. *et al.* Effect of acid hydrolysis combined with heat moisture treatment on structure and physicochemical properties of corn starch. **Journal of food science and technology**, v. 52, n. 1, p. 375-382, 2015.
- SUMCZYNSKI, D. *et al.* Rice flakes produced from commercial wild rice: Chemical compositions, vitamin B compounds, mineral and trace element contents and their dietary intake evaluation. **Food chemistry**, v. 264, p. 386-392, 2018.
- TAGHIZADEH, A.; FAVIS, B. D. Effect of high molecular weight plasticizers on the gelatinization of starch under static and shear conditions. **Carbohydrate polymers**, v. 92, n. 2, p. 1799-1808, 2013.
- TIAN, J. *et al.* Parboiling reduced the crystallinity and in vitro digestibility of non-waxy short grain rice. **Food chemistry**, v. 257, p. 23-28, 2018.
- VERONESE, N. *et al.* Fibra alimentar e resultados de saúde: uma revisão abrangente de revisões sistemáticas e metanálises. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 107, n. 3, p. 436-444, 2018.
- WALTER, M.; SILVA, L. P.; DENARDIN, C. C. Rice and resistant starch: different content depending on chosen methodology. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, n. 4, p. 279-285, 2005.

XIA, H.; LI, Y.; GAO, Q. Preparation and properties of RS4 citrate sweet potato starch by heat-moisture treatment. **Food Hydrocolloids**, v. 55, p. 172-178, 2016.

XU, X. *et al.* Effect of ultra-high pressure on quality characteristics of parboiled rice. **Journal of Cereal Science**, v. 87, p. 117-123, 2019.

ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 317-328, 2011.

WHO. World Health Organization. **Diet, nutrition, and the prevention of chronic diseases:** report of a joint WHO/FAO expert consultation. World Health Organization, 2003.