

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**TESE**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS, FUNCIONAIS, REOLÓGICAS E EN-  
ZIMÁTICAS DE FARINHA INTEGRAL DE ARROZ VERMELHO ADICIONADA A  
MASSA ALIMENTÍCIA MISTA TIPO FUSSILI**

**Andréa dos Anjos Silva**

**2021**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALI-  
MENTOS**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS, FUNCIONAIS, REOLÓGICAS E EN-  
ZIMÁTICAS DE FARINHA INTEGRAL DE ARROZ VERMELHO ADICIONADA A  
MASSA ALIMENTÍCIA MISTA TIPO FUSSILI**

**ANDRÉA DOS ANJOS SILVA**

*Sob a orientação da professora*  
**Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa**

Tese submetida como requisito parcial  
para obtenção do grau de **Doutora em  
Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no  
curso de Pós-Graduação em Ciência e  
Tecnologia de Alimentos, Área de  
concentração em Ciência de Alimentos.

Seropédica, RJ  
Março de 2021



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS



TERMO Nº 458/2021 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)

Nº do Protocolo: 23083.031066/2021-15

Seropédica-RJ, 06 de maio de 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Andréa dos Anjos Silva

Tese submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de doutora, no Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Ciência de Alimentos.

Tese APROVADA EM 14/04/2021.

Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa (Dra) UFRRJ (orientador)  
Felipe Machado Trombete (Dr) UFSJ  
Luciana Ribeiro Trajano Manhães (Dra) UNIRIO  
Elisa Helena da Rocha Ferreira (Dra) UFRRJ  
José Luís Ramírez Ascheri (Dr) EMBRAPA

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020.

*Documento não acessível publicamente*

*(Assinado digitalmente em 10/05/2021 18:26)*  
ELISA HELENA DA ROCHA FERREIRA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DTA (12.28.01.00.00.00.46)  
Matricula: 1806986

*(Assinado digitalmente em 06/05/2021 17:40)*  
MARIA IVONE MARTINS JACINTHO BARBOSA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DTA (12.28.01.00.00.00.46)  
Matricula: 1524368

*(Assinado digitalmente em 06/05/2021 18:03)*  
LUCIANA RIBEIRO TRAJANO MANHÃES  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 092.957.647-06

*(Assinado digitalmente em 03/08/2021 08:01)*  
JOSE LUIS RAMIREZ ASCHERI  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 105.290.788-13

*(Assinado digitalmente em 06/05/2021 20:32)*  
FELIPE MACHADO TROMBETE  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 092.685.916-18

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **458**, ano: **2021**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **06/05/2021** e o código de verificação: **11019b8cd8**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586e Silva, Andrea dos Anjos, 1984-  
ESTUDO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS, FUNCIONAIS, RE  
OLÓGICAS E ENZIMÁTICAS DE FARINHA INTEGRAL DE ARROZ  
VERMELHO ADICIONADA A MASSA ALIMENTÍCIA MISTA TIPO  
FUSSILI / Andrea dos Anjos Silva. - Rio de Janeiro,  
2021.  
134 f.: il.

Orientador: Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa.  
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do  
Rio de Janeiro, PPGCTA, 2021.

1. Arroz pigmentado. 2. cereal pigmentado. 3.  
farinha integral. 4. alta pressão hidrostática. 5.  
saudabilidade. I. Barbosa, Maria Ivone Martins  
Jacintho, 1977-, orient. II Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro. PPGCTA III. Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) – Finance Code 001

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente meu agradecimento vai à Santíssima Trindade (o PAI que me amou, o FILHO que deu sua vida pela minha e o ESPÍRITO SANTO que me direcionou em cada momento e escrita dessa tese) e a Virgem Maria pela condução com seu manto sagrado.

Aos meus pais pelo colo amigo, que não foram poucos, sempre com uma palavra de ânimo, um conselho e sobretudo o amor a mim dedicado e a minha irmã que sempre foi meu exemplo e espelho para a realização deste doutorado.

Ao meu amado esposo RENATO, que ... irão faltar palavras para descrever... mas que foi o meu ombro direito nas inúmeras vezes de choro, o meu conselheiro nas inúmeras vezes de tentativas de voltar atrás, a minha carona amiga nas inúmeras vezes de idas e vindas, a minha água quando a brasa estava ardente, o meu enfermeiro nas minhas crises de enxaqueca, o meu psicólogo... foi aquele que mais teve paciência em esperar a minha chegada no altar para casarmos, a minha chegada no aeroporto dos retornos de congressos e da UNICAMP, do retorno da Universidade nos finais de semana e que abdicou seus dias de descanso em troca a toda essa loucura chamado DOUTORADO.

A minha orientadora Prof. Dra. Maria Ivone que não desistiu de acreditar em mim, não foi um processo fácil e ela sempre com sua paciência me olhava nos olhos, me pegava pela mão e me dizia: “Vamos filha eu estou com você”.

## RESUMO GERAL

SILVA, Andréa dos Anjos. **Estudo das propriedades químicas, funcionais, reológicas e enzimática de farinha integral de arroz vermelho adicionada a massa alimentícia mista fresca.** 2021. 134p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, (IT), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

As massas alimentícias são amplamente consumidas pelos brasileiros, como refeição principal. No entanto, apresentam elevado teor de carboidratos e baixo valor nutricional. Aliando a busca dos consumidores por produtos mais saudáveis, é possível utilização de ingredientes que agreguem valor nutricional e funcional a estes produtos. Este trabalho objetivou produzir e avaliar massas alimentícias secas do tipo *fusilli* com substituição parcial da semolina de *Triticum durum* (STD) por farinha de arroz vermelho (FAV) das cultivar Rubi, Virgínia e ENA AR1601 em quatro etapas. A primeira correspondeu ao Artigo intitulado *Chemical characterization, antioxidant, antihyperglycemic and antihypertensive capacities of red rice (Oryza sativa L.) whole flour* que avaliou a composição físico-química e as capacidades antioxidante, anti-hiperglicemiante e anti-hipertensiva de farinhas de três cultivares de arroz vermelho (Rubi, Virgínia e ENA AR1601). Todas as amostras de farinha de arroz integral apresentaram teores esperados de carboidratos para cereais com baixo teor de gordura e excelentes níveis de proteína e amido resistente. Além disso, as amostras apresentaram elevadas capacidades antioxidante, anti-hiperglicemiante e anti-hipertensiva. As capacidades anti-hiperglicemiante foram determinadas como a porcentagem de inibição da amilase (56,7- 76,5%) e da glicosidase (81,0-76,6%), respectivamente, e capacidade anti-hipertensiva como a porcentagem de inibição da enzima de conversão da angiotensina (38,4-34,7%). Além disso, a farinha ENA AR1601 apresentou os melhores resultados em antioxidante e capacidade anti-hiperglicemiante em comparação com as duas farinhas testadas. A segunda etapa correspondeu ao Artigo intitulado *Chemical composition, Functional and Rheological Properties of whole red rice blends and durum wheat semolina* no qual foram estudadas as propriedades reológicas e a capacidade antioxidantes de *blends* elaborados com STD e FAV das três cultivar de arroz (Rubi, Virgínia e Pequeno) nas proporções 100:0; 75:25; 50:50; 25:75; 0:100, respectivamente. Após a elaboração dos *blends*, foram avaliados quanto a composição química (determinado a umidade, cinzas, proteínas, lipídeos, carboidratos, amido total e polissacarídeos não amiláceos), a capacidade antioxidante (métodos DPPH, FRAP e Fenólicos Totais) e caracterização reológica (farinografia, extensografia e RVA). Para todas as cultivar de arroz, a substituição de semolina por FAV em todas as proporções

estudadas aumentou ( $p \leq 0,05$ ) e o teor de cinzas, proteínas, lipídeos, carboidratos totais, amido total e polissacarídeos não amiláceos em comparação ao controle (STD). O mesmo comportamento foi observado na capacidade antioxidantes. Em relação às propriedades reológicas, as misturas 75:25 e 50:50 do STD: FAV apresentaram os melhores resultados para o ensaio de farinografia e extensografia. Quanto à análise RVA, apenas os *blends* da cultivar Virginia apresentaram comportamento semelhante ao controle (STD 100%). A terceira etapa resultou no artigo: *A alta pressão afeta as propriedades químicas, funcionais e a atividade enzimática em farinha de arroz integral vermelho* que avaliou o efeito de diferentes tratamentos da alta pressão (TAP) (pressão de 300, 400 e 500 MPa por 3 e 5 minutos) em farinha de duas cultivar de arroz vermelho (Rubi e ENA AR1601) no teor de amido total, na capacidade antioxidante (Métodos DPPH, FRAP, fenólicos totais), no teor de proantocianoidinas totais e nas atividade das enzimas  $\alpha$ -amilase e lipase. De forma geral, as condições de TAP foram capazes de aumentar a capacidade antioxidante, o teor de proantocianoidinas e de compostos fenólicos. Com relação as atividades enzimáticas, verificou-se que a TAP reduziu a atividade da lipase e aumentou a ação da  $\alpha$ -amilase, nos substratos estudados. E finalmente, a quarta etapa do trabalho resultou no artigo *Elaboração de massas alimentícias mistas de arroz vermelho e semolina: Estudo do impacto nos parâmetros de cozimento, na textura e nas propriedades funcionais* foram elaborados *blends* de semolina de trigo durum (STD) e farinha de arroz vermelho de duas cultivar nas proporções 25:75, 50:50, 75:25 e 100:0 FAV e STD, respectivamente, para a elaboração de massa alimentícia curta e avaliar o impacto do cozimento nos parâmetros de cozimento, textura e capacidade antioxidante. De forma geral, foi observado que em todos os parâmetros, apenas o tempo de cozimento e o aumento de peso da massa na cultivar Rubi diferiram estatisticamente ( $p < 0,05$ ) da massa controle (100% STD). Já nos parâmetros de textura, a substituição da semolina pela FAV diminuiu ( $p < 0,05$ ) a dureza. A adição da FAV também provocou alteração nos parâmetros de elasticidade e mastigabilidade. Conforme o esperado, o cozimento impactou de forma negativa a capacidade antioxidante e o teor de proantocianoidinas das massas estudadas. Conclui-se que a diferença na cultivar não foi um fator determinante nas características das massas e que é promissor adicionar farinha de arroz vermelho as massas alimentícias para se obter um produto com melhor perfil nutricional.

**Palavras-chave:** Arroz pigmentado, cereal pigmentado, farinha integral, alta pressão hidrostática, saudabilidade.

## ABSTRACT

SILVA, Andréa dos Anjos. Study of the chemical, functional, rheological and enzymatic properties of whole red rice flour added to fresh mixed pasta. 2021. 134p. Thesis (Doctorate in Food Science and Technology). Institute of Technology, Rural Federal University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021

Pasta products are widely consumed by Brazilians as a main meal. However, they show a high carbohydrate content and caloric value. Combining consumers' search for healthier products, during the preparation of pasta products it is possible to use ingredients that add nutritional and functional value to these products, this work aimed to produce and evaluate dry *fusilli* pasta with partial replacement of semolina from *Triticum durum* (STD) for red rice flour (RRF) from the cultivars Rubi, Virginia and ENA AR1601 and to achieve this goal four steps were taken. The first corresponded to the Article entitled *Chemical characterization, antioxidant, antihyperglycemic and antihypertensive capacities of red rice (Oryza sativa L.) whole flour* that evaluated the physical-chemical composition and the antioxidant, anti-hyperglycemic and antihypertensive capacities of flour three different red rice cultures (Rubi, Virginia and ENA AR1601). All samples of brown rice flour showed expected levels of carbohydrates for cereals with low fat content and excellent levels of protein and resistant starch. In addition, the samples showed high antioxidant, anti-hyperglycemic and anti-hypertensive capacities. The antihyperglycemic capacities were determined as the percentage of inhibition of amylase (56.7-76.5%) and glycosidase (81.0-76.6%), respectively, and antihypertensive capacity as the percentage of inhibition of the angiotensin converting enzyme (38.4-34.7%). In addition, the ENA AR1601 flour presented the best results in antioxidant and anti-hyperglycemic capacity in comparison with the two flours tested. The second stage corresponded to the Article entitled *Chemical composition, Functional and Rheological Properties of whole red rice blends and durum wheat semolina* in which the rheological properties and antioxidant capacity of blends prepared with STD and FAV of the three rice cultivars (Rubi, Virginia and Pequeno) in 100: 0 proportions; 75:25; 50:50; 25:75; 0: 100, respectively. After preparing the blends where the chemical composition was evaluated (moisture, ash, proteins, lipids, carbohydrates, total starch and non-starch polysaccharides were determined), antioxidant capacity (DPPH, FRAP and Total Phenolic methods) and rheological characterization (farinography, extensography and RVA). For all rice cultivars, the replacement of semolina by RRF in all studied proportions could increase ( $p \leq 0.05$ ) and the content of ash, protein, lipids, total carbohydrates, total starch and non-starch polysaccharides



compared to the control (STD) The same behavior was observed for antioxidant capacity. Regarding rheological properties, mixtures 75:25 and 50:50 of STD: RRF presented the best results for the pharyngography and extensography assay. As for the RVA analysis, only the blends from the cultivar Virginia showed similar behavior to the control (STD 100%). *The third step resulted in an article: High pressure affects the chemical, functional and enzymatic activity in red brown rice flour* that sought to evaluate the effect of different high pressure treatments. The effect of different high pressure treatments was studied (TAP) (pressure of 300, 400 and 500 MPa for 3 and 5 minutes) in flour of two red rice cultivars (Rubi and ENA AR1601) in the total starch content, in the antioxidant capacity (DPPH, FRAP, total phenolics methods), total proanthocyanidin content and  $\alpha$ -amylase and lipase enzyme activity. In general, the studied TAP conditions were able to increase the antioxidant capacity, the content of proanthocyanidins and phenolic compounds. Regarding enzymatic activities, it was found that TAP reduced the activity of lipase and increased the action of  $\alpha$ -amylase, on the studied substrates. And finally, a fourth stage of the work resulted in the article *preparation of mixed red rice and semolina pasta: Study of the impact on cooking parameters, texture and functional properties*. It was prepared blends of durum wheat semolina (STD) and red rice flour of two cultivars in the proportions 25:75, 50:50, 75:25 and 100: 0 RRF and DST, respectively, for the preparation of short pasta and evaluation of the impact of cooking on the cooking parameters, texture and antioxidant capacity. In general, it was observed that in all parameters, only cooking time and increase in mass weight in the Rubi cultivar differed statistically ( $p < 0.05$ ) from the control mass (100% STD). In the texture parameters, the semolina substitute by the RRF decreased ( $p < 0.05$ ) the hardness. The addition of the RRF also caused changes in the elasticity and chewability parameters. As expected, cooking negatively impacted the antioxidant capacity and the proanthocyanidin content of the studied pasta. It is concluded that the difference in cultivar was not a determining factor in the characteristics of the pasta and that it is promising to add red rice flour as pasta to obtain a product with the best nutritional profile.

Keywords: Rice Pigmented, Pigmented cereal, wholemeal flour, high hydrostatic pressure, and healthiness.

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

<b>TABELA 1:</b> Estudos que desenvolveram massas alimentícias com substituição da farinha de trigo em sua composição.....	16
--	----

### CAPÍTULO II

<b>TABLE 1:</b> Physicochemical characterization, antioxidante capacity, antihyperglycemic, antihypertensive properties of three cultivars of red rice ( <i>Oryza sativa</i> L.).....	38
---	----

### CAPÍTULO III

<b>TABLE 1:</b> Physical-chemical characterization and the proportion of polysaccharides in the blends of durum wheat semolina (DWS) and whole red rice flour (WRRF).....	56
---	----

<b>TABLE 2:</b> Antioxidant Capacity in the blends of durum wheat semolina (DWS) and whole red rice flour (WRRF).....	59
---	----

<b>TABLE 3:</b> Rheological Characteristics of Semolina Wheat Durum (DWS) and the Whole Red Rice Flour (WRRF).....	62
--	----

<b>TABLE 4:</b> Viscosity profile of blends Semolina Wheat Durum (DWS) and the Whole Red Rice Flour (WRRF).....	66
---	----

### CAPÍTULO IV

<b>Tabela 1:</b> Teor de amido total e atividade da $\alpha$ -amilase (AA) e lipase (AL) em amostras de farinha de arroz vermelho pressurizado submetidas a diferentes intensidades de pressão.....	79
---	----

<b>Tabela 2:</b> Capacidade antioxidante, conteúdo de fenólicos totais e proantocianoidinas em amostras de farinha de arroz vermelho pressurizadas submetidas a diferentes intensidades de pressão e tempo.....	83
---	----

### CAPÍTULO V

<b>Tabela 1:</b> Formulação e umidade final das massas alimentícias estudadas.....	95
--	----

<b>Tabela 2:</b> Tempo, aumento de peso, aumento de volume e perda de sólidos solúveis na água após o cozimento de massas alimentícias mistas elaboradas com diferentes proporções de farinha de arroz vermelho e semolina de trigo durum.....	99
--	----

<b>Tabela 3:</b> Propriedades de textura das massas alimentícias mistas com diferentes proporções de substituição à STD pela FAVI.....	103
--	-----

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

**Figura 1:** Estrutura de um grão de arroz..... 7

### CAPÍTULO II

**Figure 1:** Red Grain scanned (transversal cut) and camera picture (longitudinal) images for the three cultivars..... 33

### CAPÍTULO IV

**Figura 1:** Impacto do cozimento (%) na capacidade antioxidante (DPPH e FRAP), no teor de compostos fenólicos totais e de proantocianoidinas nas massas alimentícias de farinha de arroz vermelho (FAV) da cultivar Rubi: semolina (A) ou ENA AR 1601: semolina (B)..... 105

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS.....	2
2. OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo geral.....	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
<b>CAPÍTULO I</b> .....	5
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
1.1 ARROZ.....	6
1.2 MORFOLOGIA DO ARROZ.....	6
1.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E FUNCIONAL DO ARROZ INTEGRAL E PIGMENTADO.....	8
1.4 IMPLICAÇÕES DO USO DA TECNOLOGIA DE ALTA PRESSÃO EM FARINHAS INTEGRAIS DE ARROZ.....	9
1.5 FARINHA DE ARROZ VERMELHO COMO MATÉRIA PRIMA DE NOVOS PRODUTOS.....	11
1.6 MASSAS ALIMENTÍCIAS ELABORADAS COM FARINHA MISTA.....	13
1.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
<b>CAPÍTULO II</b> .....	30
ABSTRACT.....	31
1. INTRODUCTION.....	32
2. MATERIAL AND METHODS.....	33
2.1 Physicochemical characterization.....	33
2.2 Determination of total, resistant and digestible starch.....	33
2.2.1 Amylose and amylopectin content determination.....	33
2.3 Colour parameters.....	34
2.4 Antioxidant capacity.....	34
2.4.1 Free radical scavenger method DPPH.....	34
2.4.2 Ferric Reducing Antioxidant Power method (FRAP).....	34
2.4.3 Determination of total phenolic content (TPC).....	34
2.4.4 Determination of proanthocyanidins.....	34
2.5 Determination of antihyperglycemic capacity.....	35
2.5.1 Inhibition activity of $\alpha$ -amylase.....	35
2.5.2 The inhibition activity of $\alpha$ -glucosidase.....	35
2.5.3 The AC-inhibitory activity (ACE).....	35
2.6 Statistical Analysis.....	36
3. RESULTS.....	36
3.1 Physicochemical characterization.....	36
3.2 Colour Parameters.....	36
3.3 Antioxidant capacity.....	37
3.4 The inhibition of $\alpha$ -glucosidase and amylase.....	37
3.5 The AC-inhibitory activity (ACE).....	37
4. DISCUSSION.....	37
4.1 Physicochemical characterization.....	37
4.2 Nutritional Aspects.....	42
4.3 Colour Parameters.....	43
4.4 Antioxidant capacity.....	44
4.5 The inhibition of $\alpha$ -glucosidase and amylase.....	45
4.6 The AC-inhibitory activity (ACE).....	46

5. CONCLUSION.....	46
Acknowledgments.....	47
6. REFERENCES.....	47
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>51</b>
Abstract.....	52
1. INTRODUCTION.....	52
2. MATERIAL AND METHODS.....	53
2.1 Blend elaboration.....	53
2.2 Chemical composition of the Blends.....	53
2.3 Antioxidant capacity determination and the total phenolic compound in studied blends.....	54
2.4 Rheologic Behavior of Blends.....	54
2.5 Statistical analysis.....	54
3. RESULTS AND DISCUSSION.....	55
3.1 The chemical composition of the semolina blends of durum wheat semolina and whole red rice flour.....	55
3.2 Antioxidant Capacity.....	58
3.3 Rheological Characteristics.....	60
3.3.1. Farinograph analysis.....	60
3.3.2 Extensograph.....	64
3.3.3 RVA.....	65
4. CONCLUSION.....	67
Acknowledgments.....	67
5. REFERENCES.....	68
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>72</b>
RESUMO.....	73
1. INTRODUÇÃO.....	74
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	75
2.1 Material.....	75
2.2. Tratamento de alta pressão (TAP).....	75
2.3 Análises físico-químicas e das propriedades funcionais da farinha de arroz vermelho pressurizado (AVP).....	76
2.3.1 Determinação de amido total.....	76
2.3.2 Determinação das atividades enzimática nas amostras de arroz vermelho pressurizadas.....	76
2.3.2.1 Atividade da $\alpha$ -amilase (AA).....	76
2.3.2.2 Atividade da lipase (AL).....	77
2.3.2.3 Preparação dos extratos etanólicos.....	77
2.3.2.4 Determinação da capacidade antioxidante pelos métodos FRAP e DPPH.....	77
2.3.2.5 Determinação dos compostos fenólicos totais.....	77
2.3.2.6 Determinação do teor de proantocianoidinas totais.....	78
2.4 Análise estatística.....	78
3. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	78
3.1 Determinação do amido total e da atividade enzimática nas amostras de farinha de arroz vermelho.....	78
3.2 Capacidade antioxidante nas amostras de farinha de arroz vermelho.....	82
4. CONCLUSÃO.....	86
5. REFERÊNCIAS.....	86
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>92</b>

Resumo.....	93
1. INTRODUÇÃO.....	94
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	95
2.1 Elaboração de Blend's de farinhas.....	95
2.2 Produção das massas alimentícias.....	95
2.3 Análise de qualidade tecnológica das massas alimentícias.....	96
2.3.1. Teste de Cozimento.....	96
2.3.2 Tempo de Cozimento (TC).....	96
2.3.3 Aumento de peso do produto cozido (% AP).....	96
2.3.4 Aumento de volume do produto cozido (% AV).....	96
2.3.5 Perda de sólidos solúveis ou resíduos na água de cozimento (% PSS).....	97
2.4 Análise do perfil de textura das massas.....	97
2.5 Propriedades funcionais e cor das massas mistas cruas e cozidas.....	97
2.5.1 Preparação dos extratos.....	97
2.5.2 Capacidade antioxidante pelo método DPPH e FRAP.....	97
2.5.3 Determinação dos compostos fenólicos totais.....	98
2.5.4 Determinação do teor de proantocianoidinas totais.....	98
2.5.5 Percentual de impacto (%) do cozimento na capacidade antioxidante e no teor de compostos fenólicos e de proantocianoidinas das massas alimentícias.....	98
2.6 Análise estatística.....	98
3. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	99
3.1 Análises da qualidade do cozimento das massas alimentícias.....	99
3.1.1 Tempo de cozimento (TC).....	100
3.1.2 Aumento de peso após cozimento.....	101
3.1.3 Aumento de volume (AV).....	101
3.1.4 Perda de sólidos na água.....	102
3.2 Análise de textura das massas.....	103
3.3 Percentual (%) de impacto do cozimento.....	104
4. CONCLUSÃO.....	107
5. REFERÊNCIAS.....	107
Conclusões Gerais.....	112
APÊNDICES.....	114

## ESTRUTURA DA TESE

A tese está estruturada em 5 capítulos, conforme descrito a seguir:

Inicialmente, no Capítulo I, é apresentada uma revisão de literatura acerca dos principais artigos científicos abordando dados em relação ao arroz, as propriedades físicas e funcionais da farinha de arroz vermelho, a aplicação da alta pressão hidrostática em cereais e características específicas de massas alimentícias.

No Capítulo II estão apresentados a caracterização química, capacidade antioxidante, anti-hiperglicêmico e capacidades anti-hipertensivas da farinha integral de arroz vermelho (*Oryza sativa* L.), com o objetivo de avaliar a caracterização físico-química, a capacidade antioxidante, anti-hiperglicêmico e anti-hipertensivo das farinhas de três diferentes culturas de arroz vermelho (Rubi, Virgínia e Pequeno). O artigo com os resultados foi publicado na Revista Chilena de Nutrição.

No Capítulo III são apresentados resultados do estudo reológico e da capacidade antioxidantes dos *blends* elaborados com semolina de trigo e farinhas das três cultivar de arroz (Rubi, Virgínia e Pequeno) nas proporções 100:0; 75:25; 50:50; 25:75; 0:100, respectivamente. Após a elaboração dos *blends* onde foram avaliadas a composição química (foram determinado a umidade, cinzas, proteínas, lipídeos, carboidratos, amido total e polissacarídeos não amiláceos), a capacidade antioxidante (métodos DPPH, FRAP e Fenólicos Totais) e caracterização reológica (farinografia, extensografia e RVA). Estes resultados estão apresentados no Manuscrito enviado para revista *International Journal of Gastronomy and Food Science*.

No Capítulo IV, foi estudado o efeito de diferentes tratamentos da alta pressão (TAP) em farinhas das duas cultivar (Rubi e ENA AR1601) quanto a quantidade de amido total, a capacidade antioxidante (Métodos DPPH, FRAP, fenólicos totais e proantocianoidinas), e a determinação da atividade das enzimas  $\alpha$ -amilase e lipase.

No Capítulo V, foram elaboradas massas alimentícias mistas de arroz vermelho das cultivar Rubi e ENA AR1601 e semolina e foi realizado um estudo do impacto nos parâmetros de cozimento (testes de qualidade de massa), os parâmetros farinográficos e extensográficos, a textura instrumental (TPA) e nas propriedades funcionais (métodos de DPPH, FRAP, fenólicos totais e proantocianoidinas) das massas.

Cada capítulo foi apresentado na forma de artigo, sendo que o II e III estão formatados de acordo com as normas exigidas por cada revista à qual foi publicado ou submetido, respectivamente.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O consumidor é frequentemente estimulado por inovações técnicas e/ou científicas de um mercado que objetiva fornecer maior diversidade de produtos. Das inovações inerentes a alimentos, é recorrente o uso de recursos tecnológicos que resultam em alimentos processados similares ao “*in natura*”, praticidade e valor nutricional e funcional agregado (LANG et al., 2020).

Atualmente, grande parte da população mundial consome massas alimentícias, devido a sua praticidade e versatilidade de preparo, seu baixo custo, além de ser um produto saboroso e de elevada aceitabilidade (BOLARINWA E OYESIJI, 2021).

As massas alimentícias também são integrantes da dieta básica dos brasileiros, cujo consumo per capita, em 2019, foi de 6,070 kg/habitante segundo dados da Associação Brasileira de das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias, Pães e Bolos Industrializados (ABIMAPI, 2021).

No entanto, por apresentar como ingrediente majoritário a farinha de trigo, as massas alimentícias apresentam elevado teor de carboidratos, baixo teor de minerais e qualidade proteica reduzida em relação à outras farinhas, por exemplo de outros cereais integrais. Assim, a possibilidade de elaboração de massas a partir de ingredientes que agreguem valor nutricional e funcional a estes produtos, têm despertado interesse de pesquisadores e tem sido uma tendência em todo o mundo.

Neste contexto, o arroz vermelho (*Oryza sativa* L.) pode contribuir para a melhoria das propriedades funcionais das massas, pois apresenta elevada capacidade antioxidante que tem sido relacionada aos efeitos benéficos à saúde. A coloração do pericarpo dos grãos de arroz pigmentados está vinculada ao acúmulo de fitoquímicos, como os compostos fenólicos (antocianinas e proantocianidinas), ausentes nas variedades não pigmentadas, conferindo características funcionais aos grãos. Vários estudos têm correlacionado a presença das proantocianidinas com atividades anti-hiperglicêmica e anti-hipertensiva (FERREIRA et al., 2021).

Além disso, o pericarpo dos arrozes pigmentados apresenta elevado teor de fibras, minerais, vitaminas, fitoquímicos, e em destaque, o teor de proteína devido ao seu perfil de aminoácidos relativamente equilibrado, que é superior em teor de lisina ao trigo, milho e sorgo, contribuindo para a melhoria da nutrição humana, sendo uma matéria-prima mais interessante que o polido ou o não pigmentado.



Apesar da potencialidade, no pericarpo do arroz vermelho contém enzimas lipases que atuam hidrolisando a fração lipídica, liberando ácidos graxos livres, e as lipoxigenases, que catalisam reação de oxidação com formação de peróxidos, resultando no desenvolvimento do sabor amargo, ranço hidrolítico e oxidativo e na baixa na aceitação deste produto pelo consumidor (MEDINA-MEZA e BARNABA, 2013; WANG et al., 2018).

Uma alternativa para minimizar a ação enzimática é a aplicação do tratamento com alta pressão hidrostática (TAP), que permite a obtenção de um produto com características sensoriais próximas do produto “*in natura*”, visto que atua na ruptura da membrana celular, diminuindo a atividade enzimática (FAUSTMAN et al., 2010).

Estudos apontam que a TAP pode causar alterações estruturais no alimento, além da redução da carga microbiana e atividade de algumas enzimas que provocam a rancidez oxidativa em arroz pigmentados, além de facilitar a extração de compostos bioativos sem modificar sua estrutura (KIM et al., 2015; LEE et al., 2018; WANG et al., 2018; HUANG et al., 2020).

A busca por novos ingredientes naturais tem sido estimulada porque o desenvolvimento de produtos alimentícios deve estar inserido dentro dos conceitos de saudabilidade e bem-estar, sustentabilidade e ética, confiabilidade e qualidade, sensorialidade e prazer (BRASIL FOOD TRENDS 2020, 2014). Seguindo esta tendência, massas enriquecidas com farinhas integrais têm sido pesquisadas, considerando principalmente suas características nutricionais e funcionais.

Considerando estas demandas e tendências, a elaboração de massas alimentícias adicionadas de farinha de arroz vermelho integral pode vir a ser uma solução para a produção de massas mais saudáveis sem que haja prejuízo da qualidade tecnológica.

## **REFERÊNCIAS**

- Bolarinwa I F e Oyesiji O O. (2021) Gluten free rice-soy pasta: proximate composition, textural properties and sensory attributes. *Heliyon*, 7, e06052
- BRASIL FOOD TRENDS 2020. 1. Campinas, SP: ITAL, 2014. 389 p. ISBN 978-85-7029-124-0.
- Ferreira C D, Lang G H, Lindemann I S, Timm N S, Hoffmann J F, Ziegler V, Oliveira M. (2021) Postharvest UV-C irradiation for fungal control and reduction of mycotoxins in brown, black, and red rice during long-term storage. *Food Chemistry*, 339, 127810.
- Faustman C, Sun Q, Mancini R, Suman S P. (2010) Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Science*, 86, 86-94.

Lang G H, Rockenbach B A, Ferreira C D, Oliveira M. (2020) Delayed drying interval of red rice: Effects on cooking properties, in vitro starch digestibility and phenolics content. *Journal of Stored Products Research*, 87, 101-6013.

Medina-Meza I G e Barnaba C. (2013) Kinetics of cholesterol oxidation in model systems and foods: Current status *Food Engineering Reviews*. 10.1007/s12393-013-9069-0

Wang H, Zhu S, Ramaswamy H S, Hu F, Yu Y (2018) Effect of high pressure processing on rancidity of brown rice during storage. *LWT - Food Science and Technology*, 93, 405-411.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

O objetivo geral do presente estudo foi desenvolver massa alimentícia mista com farinhas integrais de três variedades de arroz vermelho (Rubi, Virgínia e Pequeno) e semolina de trigo, visando o enriquecimento nutricional e funcional.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre a importância nutricional e funcional do arroz vermelho integral, suas limitações tecnológicas e seu potencial de utilização na elaboração de massas alimentícias mais saudáveis;
- Avaliar as características químicas, parâmetros cromáticos, capacidade antioxidante, propriedades anti-hiperglicêmicas e anti-hipertensivas, de três cultivar de arroz vermelho;
- Avaliar as propriedades físico-químicas, a função reológica de *blends* de diferentes proporções de trigo de arroz vermelho integral e sêmola de trigo duro.
- Avaliar efeito de diferentes condições de TAP no teor de amido total, na atividade enzimática, na capacidade antioxidante e no teor de compostos bioativos de farinha de duas cultivar de arroz vermelho.
- Avaliar o efeito da substituição parcial de semolina por farinha de arroz vermelho no desempenho no cozimento, no perfil de textura e nas propriedades funcionais de massas alimentícias cozidas.

## **CAPÍTULO I – Revisão Bibliográfica da Tese**

## **1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1.ARROZ**

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um cereal que representa uma das culturas mais importantes no mundo, sendo base da alimentação de quase 1/3 da população mundial (HU et al., 2017; LANG et al., 2020). A produção nacional deste cereal em 2020 foi 11 046 184 milhões de toneladas (BRASIL, 2020). No mercado internacional, segundo dados do United States Department of Agriculture (USDA), a produção mundial de arroz base beneficiado ficou em 497,8 milhões de toneladas na safra 2019/20 (CONAB, 2019).

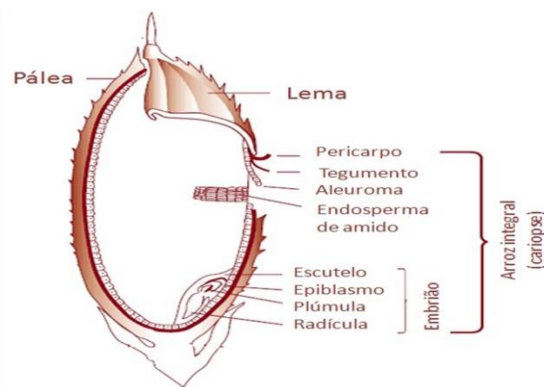
O crescimento na produção desse cereal permitiu ao Brasil tornar-se autossuficiente, com produção média de 42% em relação a toda a produção de cereais das Américas. Neste cenário, o estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor brasileiro, representando mais de 60% da produção nacional (MAPA, 2019).

O arroz é parte da dieta da população mundial, assumindo importância relevante nas ações sociais e governamentais de incentivo ao seu cultivo visando assegurar os níveis de oferta e consumo, especialmente das classes mais carentes da população (WANG et al., 2018; DU et al., 2019; DUAN et al., 2020; TUAÑO et al., 2021).

O Brasil destaca-se entre os maiores mercados consumidores a nível mundial, com uma demanda estimada de 11,55 milhões de toneladas no triênio 2017 a 2019 (MAPA, 2019). Os demais integrantes do Mercosul não possuem uma forte cultura de consumo do produto, sendo as suas produções, em grande parte, não destinadas ao consumo interno e sim ao mercado internacional (CONAB, 2019).

### **1.2.MORFOLOGIA DO ARROZ**

O grão de arroz *in natura* (Figura 1) apresenta uma estrutura que corresponde à cariopse e uma cápsula protetora, a casca, que é composta de duas camadas, a pálea e a lema, que representa cerca de 20% do peso do grão. A cariopse é formada por diferentes camadas, sendo as mais externas o pericarpo, o tegumento e a camada de aleurona, que representam 5-8% da massa do arroz integral (WALTER et al., 2008; CONAB, 2015; PEANPARKDEE e IWAMOTO, 2019).



(Fonte: KATSURAYAMA e TANIWAKI, 2017)

**Figura 1:** Estrutura de um grão de arroz

A camada de aleurona apresenta duas estruturas de armazenamento de composição proteica e lipídica. O embrião ou gérmen está localizado no lado ventral na base do grão, com maior concentração de proteínas e lipídios, e representa 2-3% do arroz integral, já o endosperma forma a maior parte do grão (89-94% do arroz integral) e consiste em células ricas em grânulos de amido e com reduzido teor protéico (SIDHU et al., 2007). Conforme mencionado, o arroz integral contém quantidades significativas de nutrientes e compostos funcionais, e assim como observado no farelo deste cereal, apresentam elevada susceptibilidade ao desenvolvimento de ranço ocasionado pela ação das lipases, que acarreta a perda de qualidade dos produtos e a aceitação pelo consumidor, fato que limita significativamente seu uso (CAVALCANTI et al., 2013; LI et al., 2016 e LIU et al., 2017; LEE et al., 2018; WANG et al, 2018; HUANG et al., 2020 ).

No processo de beneficiamento do arroz são separados do endosperma, parcial ou totalmente, o embrião e a película que recobre o grão. As camadas periféricas que dão origem ao farelo (cerca de 10% do grão integral) destacam-se pela presença de nutrientes como fibras e vitaminas do complexo B (NAVES, 2007). O farelo, que é um coproduto derivado da moagem da camada externa do arroz, é rico em proteínas, fibras, minerais, vitaminas e fitoquímicos (YOKOYAMA, 2004).

O principal nutriente constituinte do endosperma do arroz é o amido que desempenha papel importante na dieta e no desenvolvimento de novos produtos alimentares, pois serve como matéria-prima ou como aditivo alimentício do tipo estabilizante, espessante e/ou conferindo textura. Representando 80% do endosperma, em que 20-25% é amilose e 75-80% é amilopectina (BHAT e RIAR, 2016; BONTO et al, 2021).

Observa-se também uma tendência no aumento do consumo de grãos integrais, impulsionada pela contínua divulgação de seus benefícios à saúde, associados principalmente à redução de risco de doenças crônicas (ROMÁN et al., 2019).

### **1.3.COMPOSIÇÃO QUÍMICA, NUTRICIONAL E FUNCIONAL DO ARROZ INTEGRAL E PIGMENTADO**

Alimentos funcionais são por definição:

“Todo alimento ou ingrediente que alegar propriedades funcionais, além de funções nutricionais básicas, quando se tratar de nutriente, deverá produzir efeitos metabólicos e/ou fisiológicos e ou efeitos benéficos à saúde, devendo ser seguro para o consumidor sem supervisão médica” (BRASIL, 1999).

O arroz integral pode apresentar diferentes colorações de pericarpo (marrom, vermelho, roxo e preto (VARGAS et al., 2018; ROMÁN et al., 2019). A variedade de cores dos arrozes propicia propriedades funcionais a partir dos compostos bioativos como: antocianinas, proantocianidinas, entre outros compostos fenólicos cuja ingestão tem sido associada à benefícios a saúde (YU et al., 2021; NAYEEM et al., 2021).

O arroz apresenta expressivo percentual de carboidratos e importante fonte de proteínas, sais minerais (principalmente fósforo, ferro e cálcio) e vitaminas do complexo B, como a B1 (tiamina), B2 (riboflavina) e B3 (niacina) (GUNARATNE et al., 2013). Além de conter aminoácidos essenciais e não essenciais (FACCIN et al., 2009).

Segundo dados da FAO (2015), cerca de 100g arroz integral é capaz de fornecer em média 20% da energia e 15% de proteínas necessárias ao homem diariamente, que se destaca pela sua fácil digestão.

Por ser um produto de origem vegetal, apresenta baixo teor de gordura em relação aos demais cereais. Nos países mais pobres da Ásia, o consumo de arroz perfaz mais da metade do aporte energético e protéico dessas populações (KENNEDY, BURLINGAME, 2003; GUL et al., 2015). Thirumdas e colaboradores (2017) reportaram que os constituintes do arroz, em especial o amido, apresentam características hipoalergênica, devido à ausência de proteínas como as gliadinas ou partes de proteínas normalmente associadas à doença celíaca. Além disso, o arroz é facilmente digerido e absorvido em comparação com outras matérias-primas sem glúten, como milho, sorgo, trigo sarraceno, painço e batata (BONTO et al., 2021).

A fração amilácea deste cereal que pode variar devido a fatores genéticos e ambientais, apresenta diferença na taxa de digestibilidade desse nutriente que podem ser influenciadas: pela variação na proporção de amilose e a amilopectina, processamento do grão,

propriedades físico-químicas e tamanho de partícula o que afeta significativamente algumas respostas metabólicas importantes no organismo (FREI et al., 2003; LI et al., 2021).

A porção amilácea do arroz é composta pela fração digerível e a resistente. O amido resistente é a fração que não é hidrolisada pelas enzimas amilolíticas o que o faz exercer função de fibra alimentar e conferindo benefícios à saúde (SULLIVAN et al., 2017; YI et al., 2021).

Sob o ponto de vista tecnológico, o arroz é uma matéria-prima importante, principalmente pela capacidade de a formação de géis, em função do conteúdo amiláceo, relevantes índices de expansão e absorção de água, e viscosidade de pasta (SILVA et al., 2007; FELIX et al., 2016).

O arroz integral apresenta propriedades funcionais que são atribuídas pela presença de fitoquímicos bioativos, principalmente compostos fenólicos, particularmente no arroz pigmentado que recebe a atenção crescente devido às suas potentes propriedades antioxidantes (LIU, 2007; PEANPARKDEE e IWAMOTO, 2019). Adicionalmente, as capacidades antihipertensiva e anti-hiperglicemiante também têm sido associadas à presença destes pigmentos no arroz (NIU et al., 2013; LIU et al., 2017), que estão sendo estudadas pela comunidade científica, bem como, seus co-produtos como: farelo, farinha e até hidrolisados proteicos com objetivo de agregar valor nutricional à alimentos de uso comum (LANG et al., 2020).

#### **1.4.IMPLICAÇÕES DO USO DA TECNOLOGIA DE ALTA PRESSÃO EM FARINHAS INTEGRAIS DE ARROZ**

Devido a presença do gérmen no arroz integral, o teor de lipídeos é quase quatro vezes maior do que o do arroz branco, conseqüentemente, a estabilidade de armazenamento deste cereal tende a ser reduzida de forma significativa, uma vez que , a rancidez ocorre devido a hidrólise dos triacilglicerol da fração lipídica, com produção de ácidos graxos livres, devido a ação de das lipases com ação hidrolítica, em seguida as lipoxigenases atuam sobre os ácidos graxos poli-insaturados (ácidos linoléico, linolênico e etc.) liberados e catalisando a adição de oxigênio à cadeia hidrocarbonada poli-insaturada (SHARIF et al., 2014). O resultado dessa oxidação é a formação de peróxidos e hidroperóxidos com duplas ligações conjugadas, os quais podem envolver-se em diferentes reações degradativas (GODOY et al., 2018; WU et al., 2021).



Os ácidos graxos oxidados pelas lipoxigenases ou por auto oxidação formam compostos voláteis e sabor amargo ao cereal (CHEN, BERGMAN e MC CLUNG, 2016), comprometendo a qualidade sensorial da farinha de arroz integral.

Vários estudos têm avaliado técnicas que reduzam a atividade das lipases em produtos ou subprodutos a base de arroz integral (farelo de arroz) como objetivo de minimizar a ocorrência das reações de ranço (HUANG et al., 2020). Recentemente, Huang e colaboradores (2020) publicaram uma revisão sobre os métodos para inativar ou minimizar a ação enzimática em farelo de arroz, como destaque elucidaram o aquecimento por microondas, extrusão, método enzimático com as proteases, refrigeração e irradiação.

Dentre as técnicas que tem sido utilizada em produtos à base de arroz destaca-se a tecnologia de alta pressão (TAP), que é uma tecnologia de processamento não térmico comprovada para a preservação de alimentos com pouco efeito nas qualidades nutricionais e sensoriais (NORTON e SUN, 2008; YANG et al., 2017; KHAN et al., 2018; ZHANG et al., 2019; HOU et al. 2021). Esta técnica pode provocar um grande impacto na indústria de alimentos devido os benefícios que pode trazer para os produtos, como por exemplo a manutenção da cor, aroma, propriedades sensoriais, entre outros, de acordo com a intensidade da pressão aplicada (DELIZA et al., 2005; ANDRÉS et al., 2016; JESUS et al., 2018; PAN et al., 2021). XIA e colaboradores (2017) utilizaram o TAP em amostras de arroz e observaram que o processamento atua rompendo as microestruturas dos alimentos, facilitando a atividade enzimática. Já no estudo de WANG et al. (2018) o TAP mostrou ser uma técnica que pode promover maior atividade das lipases em amostra de arroz marrom quando observaram aumento na quantidade de ácidos graxos livres quando submetidos a maiores pressões.

Dentre as inúmeras vantagens do uso do TAP, está a possibilidade de tratar alimentos em temperatura ambiente ou mesmo em temperaturas mais baixas, agindo de forma instantânea e uniforme em toda a matriz alimentar, independentemente do tamanho, forma e composição (BUTZ et al., 2003). A característica mais apreciada do TAP é que ele causa morte microbiana e/ou diminuição ou inativação enzimática sem o uso do calor, conservantes e aditivos químicos, levando assim a melhorias na qualidade geral dos alimentos (MEDINA-MEZA et al., 2014). Dentre alguns estudos que aplicaram o TAP com fins de inativação enzimática, pode-se citar o de Andreou et al. (2016) em molhos de tomate para inativar pectinesterase e poligalacturonase; Shinwari e Rao (2021) quando aplicaram o TAP visando a inativação da polifenoloxidase e das peroxidases em geléia

de sapoti; Gálvez et al. (2021) que aplicaram alta pressão em suco de maçã para inativar as polifenoloxidase e poligalacturonase visando diminuir a turbidez do suco.

A demanda por alimentos com características funcionais e de qualidade tem aumentado gradativamente, porém, os métodos de produção de farinhas focavam principalmente nas propriedades de textura e cozimento, ignorando os efeitos nos componentes funcionais (MENG et al., 2019). Em particular, o tratamento de alta pressão hidrostática (TAP) tem demonstrado eficácia não apenas para reduzir o tempo de cozimento, melhorar a textura e a bioacessibilidade dos nutrientes nos alimentos tratados.

### **1.5.FARINHA DE ARROZ VERMELHO COMO MATÉRIA-PRIMA DE NOVOS PRODUTOS**

Arroz pigmentado, tais como: o preto, o vermelho e o marrom, nos últimos anos, têm recebido maior atenção dos pesquisadores bem como a preferência dos consumidores em decorrência das suas propriedades nutricionais e funcionais (NIU et al., 2013; SUMCZYNSKI et al., 2016; VARGAS et al., 2018; BONTO et al., 2021).

Nos cereais integrais e pigmentados há uma prevalência maior de compostos fenólicos, os quais apresentam relevante capacidade antioxidante além de considerável concentração proteica e controle promissor da resposta glicêmica pós-prandial (JUNG et al., 2007; BHAT e RIAR, 2016).

O arroz vermelho apresenta principalmente compostos bioativos como: flavonóides, antocianinas, proantocianidinas e  $\gamma$ -orizanol que se acumulam na camada de revestimento do grão (POKKANTA et al., 2019; ZHAO et al., 2020). Esses compostos são antioxidantes naturais capazes de eliminar os radicais livres minimizando o estresse oxidativo e reduzindo as ocorrências de câncer e doenças cardiovasculares (GUNARANTNE et al., 2013; PEDRO et al., 2016).

Dentre estes compostos, as proantocianidinas são os pigmentos responsáveis pela coloração do pericarpo e classificados como taninos condensados, que podem ser definidos como parte dos oligômeros ou polímeros de flavan-3-ols como catequina e epicatequinas que podem variar de 13,4 a 50,0 mg equivalentes de catequina/ 100g no arroz vermelho (ARON e KENNEDY, 2008; TODA et al., 2020). De forma geral, os taninos condensados são compostos mais comuns na dieta humana do que os taninos hidrolisáveis, sendo mais consumido pelo consumidor ocidental (GU et al., 2004).

Além da capacidade antioxidante, as proantocianoidinas também têm sido relacionadas à capacidade anti-hipertensiva (CHEN et a., 2016). Kruger e colaboradores (2014)

reportaram que as moléculas de proantocianidinas inibem ainda a enzima ECA de conversão da angiotensina. Esta enzima participa na produção de angiotensina II, molécula que se encontra envolvida no desenvolvimento da hipertensão arterial promovendo uma vasoconstrição (KUBA et al, 2009).

Através da capacidade de inibir a enzima de conversão da angiotensina, as proantocianidinas permitem o controle da hipertensão e interferem também com o desenvolvimento da arteriosclerose (GODOY et al., 2012). Estudo realizado por Silva e colaboradores (2020) ao avaliarem três cultivar de arroz vermelho observaram que os cereais inibiram em média 32,60% da enzima conversora da angiotensina.

Estudos reportam a presença de compostos fenólicos (ácido caféico, ácido clorogênico e o ácido ferúlico principalmente) no arroz vermelho quando estes, apresentam ação inibitória sobre as enzimas  $\alpha$ -amilase, tripsina e  $\alpha$ -glicosidase (AALIN et al., 2020). Durante a reação de digestão dos compostos fenólicos há a formação de quinonas, como o composto *p*-benzoquinana, que desconfiguram o sítio ativo da enzima exercendo de maneira eficaz essa ação inibitória, reduzindo assim, a resposta glicêmica (JUNG et al., 2007; APOSTOLIDIS et al., 2007).

Com relação a fração lipídica, cerca de 50% dos triacilglicerol presentes no arroz vermelho é matéria insaponificável constituída por  $\gamma$ -orizanol (WALTER et al., 2008). Esses compostos apresentam efeitos promissores na prevenção de doenças cardiovasculares e no aumento do colesterol HDL (THAMMAPAT et al., 2015).

Face ao exposto, a descoberta dessas propriedades intrínsecas e exclusivas do arroz vermelho em relação ao arroz branco fortalece e apoia a tendência em aumentar a sua produção, atendendo a demanda por produtos saudáveis, de boa qualidade nutricional, de valor agregado (GUNARANTE et al., 2013), sendo considerado um excelente ingrediente para ser utilizada nos produtos alimentícios, melhorando seu valor nutricional e funcional.

Este enriquecimento visa principalmente aumentar a qualidade nutricional dos produtos a serem desenvolvidos no que se refere aos conteúdos de proteínas, fibras alimentares, vitaminas e minerais (LOUBES et al., 2016; BOUASLA et al., 2017).

Apesar da potencialidade da farinha do arroz vermelho, ainda são poucos os estudos que reportam a utilização dessa matéria-prima na elaboração de produtos alimentícios mais saudáveis, e dos trabalhos disponíveis na literatura, a farinha de arroz vermelho foi utilizada em massa alimentícias e bolos (ASCHERI et al., 2012; DAS e BHATTACHARYA, 2019).

ASCHERI e colaboradores (2012) elaboraram macarrão com farinha de quatro genótipos de arroz vermelho pré gelatinizadas e observaram que as massas elaboradas com dois genótipos das suas amostras apresentaram maiores teores de fibras, lipídeos e amilose. Os autores também observaram que o genótipo e o tempo de cozimento da massa influenciaram no comportamento viscoso diminuindo suas propriedades de pasta.

A farinha de arroz vermelho foi adicionada a formulação de bolos por Das e Bhattacharya, (2019) onde observaram que a adição da farinha alterou significativamente as propriedades reológicas do bolo, como força de pico, ponto de queda e deformação dos produtos desenvolvidos, além de melhorar a capacidade antioxidante do produto desenvolvido. Outro bolo com farinha de arroz vermelho também foi elaborado por LANG e colaboradores (2020), e além da farinha adicionaram a enzima transglutaminase com a finalidade de melhorar as características tecnológicas do produto integral e observaram que a estratégia da adição da enzima e da farinha de arroz vermelho aumentou a taxa de expansão do bolo, além disso, demonstraram menor taxa de liberação de glicose “*in vivo*”, quando os autores associaram este fato à adição da farinha de arroz vermelho.

## **1.6. MASSA ALIMENTÍCIA ELABORADA COM FARINHA MISTA**

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), as massas alimentícias são os produtos obtidos da farinha de trigo (*Triticum aestivum* L. e ou de outras espécies do gênero *Triticum*) e ou derivados de trigo durum (*Triticum durum* L.) e ou derivados de outros cereais, leguminosas, raízes e ou tubérculos, resultantes do processo de empasto e amassamento mecânico, sem fermentação (BRASIL, 2005). A massa alimentícia mista é um produto obtido a partir da substituição parcial da farinha de trigo por outro tipo de farinha, deve constar na denominação “massa alimentícia” a expressão “mista” (BRASIL, 2005).

As massas provenientes de farinhas mistas devem ser similares às massas elaboradas somente com trigo, principalmente, no que se refere à aparência e qualidade de cozimento (BARBOSA, 2002).

De forma geral, as massas alimentícias apresentam elevado índice de aceitabilidade, sendo um alimento rápido, versátil e de baixo custo. A simplicidade do processo de produção das massas alimentícias, aliada ao seu fácil manuseio e estabilidade durante o armazenamento, fizeram com que esse tipo de produto tivesse seu consumo popularizado nas mais diversas regiões do mundo (MENEGASSI e LEONEL, 2005).

Massas alimentícias devem apresentar características viscosas e elásticas, ao mesmo tempo, que geralmente são alcançadas devido aos constituintes do trigo, na cadeia protéica do glúten (ZHAO et al., 2015). Outro aspecto a ser levado em consideração é o tamanho da partícula dos grânulos de amido que pode influenciar no comportamento reológico da massa (NIU et al., 2017).

A viabilidade da elaboração de massas alimentícias com farinhas de outros cereais, além do trigo, necessitam em alguns casos da utilização de emulsificantes e/ou outras matérias primas com conteúdo protéico mais elevado, a fim de agregar valor nutricional, além de garantir boa estruturação em formulações, no caso de massas com ausência do glúten (TOMICKI et al., 2015; KUMAR et al., 2019; MILDE et al., 2020; NGUYEN et al., 2020). Dentre as alternativas para a realização desta substituição destacam-se utilização de estratégias como a utilização de gomas xantana e guar (LOUBES et al., 2016), enzimas como a transglutaminase (KIM, KEE e YOO, 2014) e farinha de diferentes leguminosas (BOUASLA et al., 2017).

Muitos estudos também abordam a elaboração de massas alimentícias, com a utilização de farinha do arroz refinado ou parboilizado, ou o farelo deste cereal (SCHMIELE et al., 2013; TOMICKI et al., 2015; MINGUITA et al., 2014; BOUASLA et al., 2017).

Durante a produção de massas alimentícias formuladas, parcialmente ou totalmente, com farinha de arroz podem ocorrer efeitos tecnológicos indesejáveis em virtude da redução da quantidade ou ausência do glúten, como por exemplo, a baixa taxa de expansão das massas alimentícias (TOMICKI et al., 2015; BOUASLA et al., 2017). Nesse sentido, os estudos reafirmam a importância da utilização de aditivos ou técnicas de processamento específicas para melhorar as propriedades de textura do produto (MEGASSI e LEONEL, 2005; CATO et al., 2004; TOMICKI et al., 2015).

As propriedades de textura das farinhas de arroz são principalmente influenciadas pelo amido devido à sua gelatinização e comportamento reológico (YE et al., 2016). A gelatinização de amidos envolve o inchaço dos grânulos, a adesividade, a perda de birrefringência e o desmembramento e a fusão de hélices duplas (SINGH et al., 2012).

Segundo Ormenese e Chang (2002), em massas alimentícias de arroz a quantidade de amilose presente no cereal favorece à retrogradação resultando em produtos com maior rigidez e consistência após o cozimento do macarrão. As frações ramificadas da molécula de amilopectina segundo Singh e colaboradores (2012) formam duplas hélices que se dispõem de forma irregular, ocasionando mudanças estruturais durante o tempo de formação dos géis de amido.

A viscosidade das massas depende da composição química e física do cereal. O arroz contém em média 22% de amilose, o que promove uma viscosidade relativamente baixa, assim como, géis mais fracos (TOMICKI et al., 2015; JEONG et al., 2017).

Em massas adicionadas de farinha de arroz, a perda de sólidos durante o cozimento é mais um dos desafios da indústria de massas, principalmente, devido à solubilização do amido gelatinizado livremente ligado a partir da superfície do produto. Esse fenômeno dependerá do grau de gelatinização do amido e da resistência da rede que se forma durante a gelatinização (MARTI et al., 2010; RUBIO et al., 2014; SIBAKOV et al., 2016).

Além disso, a massa alimentícia elaborada a partir de farinhas que consistem em grânulos de amido menores, como o de arroz, apresenta menor elasticidade devido a uma reestruturação mais densa dos grânulos do amido na rede de glúten e menos espaço de ar aberto entre as camadas da massa (HUANG et al., 2015; LOUBES et al., 2016).

A qualidade das massas também é diretamente influenciada pela granulometria da farinha, pois produtos elaborados com farinha de granulometria inferior à 125µm resultam em massas mais pegajosas e com menor taxa de expansão da massa durante e após a cozimento (ORMENESE e CHANG, 2002).

Segundo Loubes e colaboradores (2016), a moagem de alto impacto no arroz polido produz farinhas de arroz de granulometria, entre 96 µm e 262 µm, promovendo grau de gelatinização entre 36-88%. Adicionalmente YEH (2004) corrobora que a fração fina (<150 µm) é tradicionalmente usada para macarrão adicionado da farinha de arroz pois apresenta mais estabilidade e textura, devido ao seu tamanho de partícula.

Na literatura há disponível alguns estudos em massas alimentícias elaboradas a partir da farinha de arroz, sendo o mais comum o cereal da classe branca e parboilizados (TEBA et al., 2009; MARTI et al., 2010; TOMICK et al., 2015; LOUBES et al., 2016; BOUASLA et al., 2017), inclusive com arroz pigmentado onde o objetivo principal foi melhorar o perfil nutricional e avaliar as propriedades da pasta dessas massas (LORUSSO et al., 2017, PERESSINI et al., 2020).

Na Tabela 1 estão apresentados trabalhos que desenvolveram massas alimentícias elaboradas com farinha de arroz e com substituição da farinha de trigo por farinhas de cereais, leguminosas e rizoma.

**Tabela 1:** Estudos que desenvolveram massas alimentícias com substituição da farinha de trigo em sua composição

<b>Matéria prima</b>	<b>Análises realizadas</b>	<b>Principais resultados observados</b>	<b>Referência</b>
Farinha de arroz e de feijão	- RVA	- Melhorou as características quanto a viscosidade de pasta;	TEBA et al., 2009
Farinha de arroz e feijão carioca	- Teste de qualidade de massa; - Caracterização físico química;	- Apresentaram características tecnológicas semelhantes às da massa alimentícia controle (100% de farinha de trigo); - Composição química, pôde verificar o aumento na densidade nutricional com a adição de farinha de feijão e arroz à formulação.	MINGUITA et al., 2015
Semolina de trigo e farinha de quinoa fermentada e não fermentada	- Teste de qualidade de massa; - Caracterização físico química; - Textura - Índice glicêmico.	- Melhorou o perfil nutricional; - Menor taxa de absorção de água;	LORUSSO et al., 2017
Farinha de trigo e açafraão	- Teste de qualidade de massa;	- Melhorou o perfil nutricional; - Modificou os parâmetros de cor; - Melhorou a capacidade antioxidante.	ARMELLINI et al., 2018

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidade antioxidante;</li> <li>- Textura;</li> <li>- Determinação de cor.</li> </ul>		
Farinha de trigo, de soja, de sorgo e multigrão (soja e sorgo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caracterização físico-química;</li> <li>- Capacidade antioxidante;</li> <li>- Índice glicêmico;</li> <li>- Teste de qualidade de massa;</li> <li>- Micro estrutura de carredura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As massas melhoraram a absorção de água;</li> <li>- Melhorou o perfil nutricional;</li> <li>- Diminuiu o índice glicêmico;</li> </ul>	RANI et al., 2019
Farinha de trigo e fibras comerciais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taxa de absorção de água;</li> <li>- Textura;</li> <li>- Teste de qualidade de massa;</li> <li>- Análise sensorial;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminuiu a taxa glicêmica;</li> <li>- A massa adicionada de psillium teve melhor aceitação sensorial</li> </ul>	PERESSINI et al., 2020



---

Farinha e farelo de arroz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Teste e qualidade de massa;</li> <li>- Textura;</li> <li>- Micro estrutura de varredura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Massas adicionadas de 3 e 6% de farelo apresentaram melhor comportamento quanto a textura, menor tempo de cozimento;</li> <li>- Massas adicionadas de 9 e 12 % não tiveram boa aceitação e se apresentaram ásperas e porosas.</li> </ul>	LIU et al., 2021
------------------------------	---	---	------------------

---

TEBA et al. (2009) elaboraram massa alimentícia extrudada elaboradas a partir de farinha mista de arroz polido e feijão preto (Tabela 1) com o objetivo de estudar as variáveis independentes como umidade, temperatura e diferentes formulações, quanto as propriedades de pasta nas massas alimentícias pré-cozidas e isentas de glúten. Os autores observaram que de forma geral, as massas alimentícias elaboradas com farinha mista de arroz e feijão nas proporções 93,64:6,36 e 80,00:20,00, respectivamente, apresentaram melhores propriedades de pasta quando comparadas com as massas comerciais de trigo e arroz, assim afirmaram que é possível a associação do arroz com o feijão na elaboração de massa alimentícia isentas de glúten.

Produzir e caracterizar massas alimentícias biofortificadas com trigo, arroz polido e feijão carioca sem casca foi o objetivo de MINGUITA e colaboradores (2014), a fim de melhorar a densidade nutricional desses produtos. Dentre as treze amostras (Tabela 1), os autores selecionaram três tratamentos. O primeiro com 9% de feijão, 21% de arroz e 36% de umidade, o segundo com 9,9% de feijão, 20,1% de arroz e 34% de umidade e o terceiro com 5,5% de feijão, 24,5% de arroz e 34% de umidade, os quais apresentaram melhores características quanto qualidade de cozimento e aspectos visuais. Os autores observaram que o tempo de cozimento pode estar diretamente associado com a qualidade das proteínas, visto que apresentam temperatura e grau de solubilidade específica. Quanto o aumento de massa pós cozimento, a massa com 34% de umidade e 5,5% de feijão apresentou maior valor, possivelmente devido à grande disponibilidade de grupos hidrofílicos aos quais ligam-se as moléculas de água. Em conclusão, os autores relataram que as massas alimentícias que apresentaram melhores resultados nos testes de cozimento também apresentaram melhor perfil nutricional em comparação com as massas tradicionais.

Lorusso et al. (2017) elaboraram massa com 100% semolina de trigo (amostra controle), uma outra com substituição da semolina por 20% por farinha de quinoa “*in natura*” e uma terceira com 20% da farinha de quinoa fermentada (Tabela 1). Os autores determinaram a composição química das massas e observaram acréscimo no percentual de proteína das massas produzidas com a farinha de quinoa em relação a amostra controle, com isso essas massas também apresentaram melhor coesividade e elasticidade. Outro aspecto importante pontuado pelos autores foi que com o aumento no teor de proteína, favoreceu a formação do complexo com a amilopectina (proteína-amido), que impede a ação das enzimas amilolíticas, e aumentando o teor de amido resistente e contribuindo para a redução do índice glicêmico do produto. Com relação a capacidade antioxidante e concentração de fenólicos totais, a adição dessas farinhas promoveram o aumento duas

vezes maior desses parâmetros nas massas adicionadas das farinhas de quinoa quando comparadas a amostra controle.

Adicionar extrato de açafrão filtrado e não filtrado no macarrão em substituição a água na composição da massa com farinha de trigo (Tabela 1), foi objetivo do estudo desenvolvido por Armellini e colaboradores (2018). Os autores elaboraram massas com 100% farinha de trigo cozidas em água com e sem açafrão e outros dois blocos de amostras, um com substituições da água por 0.1, 0.2 e 0.4% de extrato filtrado e outro com as mesmas proporções de substituição, sendo que utilizando extrato não filtrado. Todas as amostras foram avaliadas cruas e cozidas em água. A estratégia de adicionar os extratos resultou em massas com melhor capacidade antioxidante sem afetar significativamente os parâmetros de textura da massa crua, enquanto o efeito principal foi observado em decorrência do tempo de cozimento. No geral, o enriquecimento com extratos de açafrão melhorou a capacidade antioxidante das massas, a cor foi mais pronunciada nas massas com 0,2 e 0,4% de substituição e foram as amostras que receberam melhor aceitação (RANI et al., 2019).

Massas alimentícias com adição de farinha de soja, farinha de sorgo e multigrãos (associação da soja e do sorgo juntos) (Tabela 1) foram elaboradas por Rani et al. (2019) dentre as principais características que as massas apresentaram estão: a massa com multigrãos não diferiu significativamente ( $p > 0,05$ ) da massa elaborada com farinha de trigo em densidade e taxa de absorção de óleo. Além da diminuição do índice glicêmico do macarrão (de 39 na amostra controle para 31), a adição da farinha de multigrão melhorou a capacidade antioxidante das amostras e apresentaram aumento de volume limitado  $< 16\text{g/g}$  o que é essencial para macarrão, pois resulta em maior resistência à taxa de cisalhamento. Além disso, no tempo de cozimento, a perda de sólidos solúveis e a dureza aumentaram nas massas adicionadas da farinha de multigrãos o que pode ser consequência da quantidade de fibras. Já quando as massas foram analisadas quanto as propriedades reológicas, o maior ponto de quebra foi observado na amostra com farinha de trigo o que pode estar relacionada com seu valor de viscosidade de pico mais alto. A redução no ponto de quebra foi no macarrão com a farinha multigrão em comparação com o macarrão de farinha de trigo o que pode estar associada ao comportamento de intumescimento dos grânulos de amido incorporados da farinha de soja e sorgo. Por fim, a adição de sorgo e soja podem ser usados para formular macarrão com propriedades sensoriais e físico-químicas aceitáveis.

Peressini e colaboradores (2020) substituíram 15% do total da semolina de trigo por diferentes fontes de fibra solúvel em massas alimentícias (Tabela 1). As fibras foram obtidas do Psyllium, Barley balance ® e inulina de cadeia longa e curta, com o objetivo de avaliar os efeitos viscoelásticos das massas e a resposta glicêmica. A adição da fibra diminuiu o tempo de cozimento das massas, pois permitiu maior absorção de água o que consequentemente apresentou maior taxa de absorção de água, destacando a amostra adicionada da fibra Barley com o Psyllium. As massas apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) no parâmetro viscoelástico e os autores atribuíram esse fenômeno devido a interação entre as fibras e o inchaço dos grânulos de amido gelatinizados, formando uma rede mais fraca. Além disso, as massas que apresentaram melhor a resposta glicêmica e aceitação pelo público provador foram as adicionadas da fibra Barley associada ao Psyllium.

Desenvolver macarrão instantâneo de farinha de arroz adicionada do farelo do arroz foi o objetivo de Liu e colaboradores (2021). Os autores fizeram *blends* de farinha de arroz com 3%, 6%, 9% e 12% de farelo de arroz para produção de massas instantâneas. As massas adicionadas de 3 e 6% de farelo de arroz apresentaram menor tempo de cozimento em relação a massa controle (100% farinha de arroz). Massas com maior percentual de fibra tendem a absorver água mais lentamente o que dificulta a gelatinização total da massa, além disso, formam rede de amilose mais fracas o que favorece a perda de sólido solúveis na água de cozimento. Na análise de varredura demonstraram que as massas adicionadas com 9% e 12% de farelo de arroz, provocou aspereza e porosidade nas massas, isso pode ter ocorrido ao fato que a fibra impede a formação de estruturas mais compactas, indicando que não houve estrutura forte na superfície da massa diferentemente da massa controle. No entanto, foi observada que as massas apresentaram diminuição significativa na taxa de hidrólise do amido total com a adição do farelo que contém celulose, hemicelulose e lignina, pois provocam redução da digestibilidade do amido do macarrão. Por fim os resultados deste estudo demonstraram que a adição do farelo na proporção de 3% e 6% promoveram melhor qualidade de cozimento, textura e demonstraram ser ideal sensorialmente.

## **1.7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Aalim H, Wang D, Luo Z. (2020) Black rice (*Oryza sativa* L.) processing: Evaluation of physicochemical properties, in vitro starch digestibility, and phenolic functions linked to type 2 diabetes. *Food Research International*.

ABIMAPI estatística, 2021. ABIMAPI, 2021. Disponível em: <abimapi.com.br/index.php>. Acessado em 19 de julho de 2021.

Andrés V, Villanueva M J, Tenorio M D. (2016) Influence of high pressure processing on microbial shelf life, sensory profile, soluble sugars, organic acids, and mineral content of milk-and soy-smoothies. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 98-105.

Andreou V, Dimopoulos G, Katsaros G, Taoukis P. (2016) Comparison of the application of high pressure and pulsed electric fields technologies on the selective inactivation of endogenous enzymes in tomato products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 38, 349-355.

Apostolidis E, Kwon Y I, Shetty K. (2007) Inhibitory potential of herb, fruit, and fungal-enriched cheese against key enzymes linked to type 2 diabetes and hypertension. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8, 46-54.

Aron P M e Kennedy J A. (2008) Flavan-3-ols: Nature, occurrence and biological activity. *Molecular nutrition e food research*, 52, 79-104.

Ascheri D P R, Boêno J A, Bassinello P Z, Ascheri J L R. (2012) Correlation between grain nutritional content and pasting properties of pre-gelatinized red rice flour. *Revista Ceres*, 59, 16-24.

Barbosa M C A. (2002) Avaliação tecnológica de massas alimentícias de Farinha mista de trigo e soja sem lipoxigenases. Dissertação de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, 112.

Bhat F M e Riar C S R. (2016) Effect of amylose, particle size & morphology on the functionality of starches of traditional rice cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 637-644.

Bonto A P, Tiozon Jr R N, Sreenivasulu N, Gamacho D H. (2021) Impact of ultrasonic treatment on rice starch and grain functional properties: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 1, 105-383.

Bouasla A, Wójtowicz A, Zidoune M N. (2017) Gluten-free precooked rice pasta enriched with legumes flours: Physical properties, texture, sensory attributes and microstructure. *LWT - Food Science and Technology*, 75, 560-577.

BRASIL. Resolução RDC nº263 de 22 de setembro de 2005. Aprova o “**Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**”. Órgão emissor: AN-VISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: [www.anvisa.gov.br](http://www.anvisa.gov.br). Acesso em 13 de janeiro de 2017.

Butz P, Garcia F, Lindauer R, Dieterich S, Bognar A, Tauscher B. (2003) Influence of ultra high pressure processing on fruit and vegetable products. *Journal of Food Engineering*, 56, 233-236.

Cato L, Gan J, Rafael L, Small D. (2004) Gluten free breads using rice flour and hydrocolloid gums. *Food Australia*, 56, 75-78.

Chen M H, Mcclung A M, Bergman C J. (2016) Concentrations of oligomers and polymers of proanthocyanidins in red and purple rice bran and their relationships to total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity and whole grain color. *Food Chemistry*, 208, 279-287.

Das A B e Bhattacharya S. (2019) Characterization of the batter and gluten-free cake from extruded red rice flour. *LWT - Food Science and Technology*, 102, 197-204.

Deliza R, Rosenthal A, Abadio F B D, Silva C H O, Castillo C. (2005) Application of high pressure technology in the fruit juice processing: Benefits perceived by consumers. *Journal of Food Engineering*, 67, 241-246.

Du J, Yang Z, Xu X, Wang X, Du X. (2019) Effects of tea polyphenols on the structural and physicochemical properties of high-hydrostatic-pressure-gelatinized rice starch. *Food Hydrocolloids*, 91, 256-262.

Duan H, Tong H, Zhu A, Zhang H, Liu L. (2020) Effects of heat, drought and their combined effects on morphological structure and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) starch. *Journal Cereal Science*, 95, 103059.

Faccin G L, Miotto L A, Vieira L D N, Barreto P L M, Amante E R. (2009) Chemical, sensorial and rheological properties of a new organic rice bran beverage. *Rice Science*, 16, 226-234.

Falade K O e Chistopher A S. (2015) Physical, functional, pasting and thermal properties of flours and starches of six Nigerian rice cultivars. *Food Hydrocolloids*, 44, 478-490.

Felix M, Romero A, Guerrero A. (2016) Development and evaluation of rheological and properties of rice protein-based gels. *Journal of Cereal Science*, 72, 91-100.

Frei M, Siddhuraju P, Becker K. (2003) Studies on in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. *Food Chemistry*, 83, n.3, 395-402.

Gálvez J N S, Torrella I C, Garcia M M, Herrero M M H, Gervilla R, Sagués A X R. (2021) Combined effects of ultra-high pressure homogenization and short-wave ultraviolet radiation on the properties of cloudy apple juice. *LWT - Food Science and Technology*, 136, 110286.

- Godoy L C, Duquesne S, Bordes F, Sandoval G, Marty A. (2018) Lipases: An Overview. *Methods in Molecular Biology*, 1835, 181-238.
- Gu L, Kelm M A, Hammerstone J F, Beecher G, Holden J, Haytowitz D, Gebhardt S, Prior R L. (2004) Concentrations of proanthocyanidins in common foods and estimations of normal consumption. *Journal of nutrition*, 134, 613-617.
- Gul K, Yousuf B, Singh A K, Singh P, Wani, A A. (2015) Rice bran: Nutritional values and its emerging potential for development of functional food – a review. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 6, 24-30.
- Gunaratne A, Wu K, Li D, Bentota A, Corke H, Cai Y. (2013) Antioxidant activity and nutritional quality of traditional red-grained rice varieties containing proanthocyanidins. *Food Chemistry*, 138, 1153-1161.
- Hu Z, Tang X, Liu J, Zhu Z, Shao Y. (2017) Effect of parboiling on phytochemical content, antioxidant activity and physicochemical properties of germinated red rice. *Food Chemistry*, 214, 285-292.
- Huang L L, Pan C, Wang L, Ding L, Guo K, Wang H, Xu A, Gao, S. (2015) Protective effects of grape seed proanthocyanidins on cardiovascular remodeling in DOCA-salt hypertension rats. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 26, 841-849.
- Huang S, Benchamas G, Huang G. (2020) Whole processing and use of rice polishings. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 63, 102373.
- Hou Z, Wang Y, Zhao L, Liao X. (2021). Processing of Chestnut Rose Juice Using Three-Stage Ultra-filtration Combined with High Pressure Processing. *LWT - Food Science and Technology*, 15, 111127.
- Jeong S, Kim H W, Lee S. (2017) Rheological and secondary structural characterization of flour-zein composites for noddles slit from gluten-free sheeted dough. *Food Chemistry*, 221, 1539-1545.
- Jesus A L T, Leite T S, Cristianini M. (2018) High isostatic pressure and thermal processing of açai fruit (*Euterpe oleracea* Martius): Effect on pulp color and inactivation of peroxidase and polyphenol oxidase. *Food Research International*, 105, 853-862.
- Jung E H, Kim S R, Hwang I K, Ha T Y. (2007) Hypoglycemic Effects of a Phenolic Acid Fraction of Rice Bran and Ferulic Acid in C57BL/KsJ-db/db Mice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 9800-9804.
- Katsurayama A M e Taniwaki M H. (2017) Fungi and aflatoxins in rice: occurrence and significance to consumer health. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20.

- Kennedy G e Burlingame B. (2003) Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. *Food Chemistry*, 80, 589-596.
- Kim S M, Chung H J, Lim S T. (2015) Effect of various heat treatments on rancidity and some bioactive compounds of rice bran. *Journal of Cereal Science*, 60, 243-248.
- Kim M Y, Lee S H, Jang G Y, Li M, Lee Y R, Lee J, Jeong H S. (2016) Changes of phenolic-acids and vitamin E profiles on germinated rough rice (*Oryza sativa* L) treated by high hydrostatic pressure. *Food Chemistry*, 217, 106-111.
- Kruger M J, Davies N, Myburgh K H, Lecour S. (2014) Proanthocyanidins, anthocyanins and cardiovascular disease. *Food Research International*. 59, 41-52.
- Lang G H, Rockenbach B A, Ferreira C D, Oliveira M. (2020) Delayed drying interval of red rice: Effects on cooking properties, in vitro starch digestibility and phenolics content. *Journal of Stored Products Research*, 87, 101-6013.
- Li Y, Liu K, Chen F. (2016) Effect of selenium enrichment on the quality of germinated brown rice during storage. *Food Chemistry*, 207, 20-26.
- Li C, Ging B, Huang T, Yu W W. (2021) In vitro digestion rate of fully gelatinized rice starches is driven by molecular size and amylopectin medium-long chains. *Carbohydrate Polymers*, 254, 17-275.
- Liu R H, Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science*, 46, e207–219.
- Liu K, Li Y, Chen F, Yong F. (2017) Lipid oxidation of brown rice stored at different temperatures *International Journal of Food Science and Technology*, 52, 188-195.
- Loubes M A, Flores S K, Tolada M P. (2016) Effect of formulation on rice noodle quality: Selection of functional ingredients and optimization by mixture design. *LWT - Food Science and Technology*, 69, 280-286.
- Marti A, Seetharaman K, Pagani M A. (2010) Rice-based pasta: A comparison between conventional pasta making and extrusion-cooking. *Journal of Cereal Science*, Novembro/ 52, 404-409.
- Medina-Meza I G, Barnaba C, Barbosa-Cánovas, Effects of high pressure processing on lipid oxidation: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 22, 1-10.
- Menegassi B e Leonel M. (2005) Efeito da adição de farinha de mandioca na massa alimentícia. *Ciência Exata Terra*, 11, 13-19.
- Meng L, Zhang W, Zhou X, Wu Z, Hui A, He Y, Gao H, Chen P. (2019) Effect of high hydrostatic pressure on the bioactive compounds, antioxidant activity and in vitro



digestibility of cooked black rice during refrigerated storage. *Journal of Cereal Science*, 86, 54-59.

Milde L B, Chigal P S, Oliveira J E, González K G. (2020) Incorporation of xanthan gum to gluten-free pasta with cassava starch. Physical, textural and sensory attributes. *LWT - Food Science and Technology*, 131, 109-674.

Minguita A P S, Carvalho J L V, Oliveira E M M, Galdeano M C. (2014) Produção e caracterização de massas alimentícias a base de alimentos biofortificados: trigo, arroz polido e feijão carioca com casca. *Ciência Rural*, CR-2014-0491.R2

Naves M M V. (2007) Características químicas e nutricionais do arroz. *Boletim Ceppa*, 25, 51-60.

Nayeem S, Sumdararajan S, Ashok A K, Abusaliya A, Ramalingam S. (2021) Effects of cooking on phytochemical and antioxidant properties of pigmented and non-pigmented rare Indian rice landraces. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 32, 101-928.

Niu Y, Gao B, Slavin M, Zhang X, Yang F, Bao J, Shi H, Xie Z, Yu L L. (2013) Phytochemical compositions, and antioxidant and anti-inflammatory properties of twenty-two red rice samples grown in Zhejiang. *LWT-Food Science and Technology*, 54, 521-527.

Niu M, Hou G G, Zhao S. (2017) Dough rheological properties and noodle-making performance of non-waxy and waxy whole-wheat flour blends. *Journal of Cereal Science*, 75, 261-268.

Nguyen S N, Ngo T C T, Tran T T T, Ton N M N, Le V V M. (2020) Pasta from cellulase-treated wheat bran and durum semolina: Effects of vital gluten addition and/or transglutaminase treatment. *Food Bioscience*, 38, 100782.

Norton T e Sun D W. (2008) Recent Advances in the Use of High Pressure as an Effective Processing Technique in the Food Industry. *Food and Bioprocess Technology*, 1, 2—34.

Ormenese R C S C e Chang Y. (2002) Massa Alimentícia de arroz: Uma revisão. *Boletim Ceppa*, 20, 175-190.

Pan X, Wu J, Zhang W, Liu J, Yang X, Liao X, Hu X, Lao F. (2021) Effects of sugar matrices on the release of key aroma compounds in fresh and high hydrostatic pressure processed Tainong mango juices. *Food Chemistry*, 338, 1281117.

Peanparkdee M e Iwamoto S. (2019) Bioactive compounds from by-products of rice cultivation and rice processing: Extraction and application in the food and pharmaceutical industries. *Trends in Food Science & Technology*, 86,109-117.

- Pedro A C, Granato D, Rosso N D. (2016) Extraction of anthocyanins and polyphenols from black rice (*Oryza saiva* L.) by modeling and assessing their reversibility and stability. *Food Chemistry*, 191, 12-20.
- Pokkanta P, Sookwong P, Tanang M, Setchaiyan S, Boontakham P, Mahatheeranont S. (2019) Simultaneous determination of tocopherols,  $\gamma$ -oryzanol, phytosterols, squalene, cholesterol and phylloquinone in rice bran and vegetable oil samples. *Food Chemistry*, 271, 630-638.
- Román O B, Varona S, Sanz M T, Beltrán S. (2019) Valorization of rice bran: Modified supercritical CO<sub>2</sub> extraction of bioactive compounds. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 80, 273-282.
- Rubio A R I, Barca A M C L, Chávez F C, Cota-Gastélum A G, Beta T. (2014) Effect of semolina replacement with a raw:popped amaranth flour blend on cooking quality and texture of pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 57, 217-222.
- Sibakov N R, Heiniö R L, Cassan D, Mantila U H, Micard V, Lantto R, Sozer N. (2016) Effect of bioprocessing and fractionation on the structural, textural and sensory properties of gluten-free faba bean pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 67, 27-36.
- Shinwari K J e Rao P S. (2021) Enzyme inactivation and its kinetics in a reduced-calorie sapodilla (*Manilkara zapota* L.) jam processed by thermal-assisted high hydrostatic pressure. *Food and Bioprocesses Processing*, 126, 305-316.
- Sidhu J S, Kabiri Y, Huffman F G. (2007) Functional foods from cereal grains. *International Journal of Food Properties*, 10, 231-244.
- Silva R F, Ascheri J L R, Pereira R G F A. (2007) Composição centesimal e perfil de aminoácidos de arroz e pó de café. *Alimentos e Nutrição, Araraquara*, 18, 325-330.
- Singh H, Lin J H, Huang W H, Chang Y H. (2012) Influence of amylopectin structure on rheological and retrogradation properties of waxy rice starches. *Journal of Cereal Science*, 56, 367-373.
- Sharif, M K, Butt M S, Anjum F M, Khan S H. (2014) Rice bran: A novel functional ingredient. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54, 807-816.
- Sullivan W R, Hughes J G, Cokman R W, Small D M. (2017) The effects of temperature on the crystalline properties and resistant starch during storage of white bread. *Food chemistry*, 228, 57-61.
- Sumczynski D, Kotásková E, Družbiková H, Mlček J. (2016) Determination of contents and antioxidant activity of free and bound phenolic compounds and *in vitro* digestibility

of commercial black and red rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Food Chemistry*, 2016, 211, 339-346.

Teba C S, Ascheri J L R, Carvalho C W P. (2009) Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades de pasta de massas alimentícias pré-cozidas de arroz e feijão. *Alimento e Nutrição*, 20, 411-426.

Thammapat P, Meeso N, Siriamornpun S. (2015) Effects of NaCl and soaking temperature on the phenolic compounds, a-tocopherol, c-oryzanol and fatty acids of glutinous rice. *Food Chemistry*, 175, 218-224.

Thirundas S R, Trimukhe A, Deshmukh, R R, Annapure U S. (2017) Functional and rheological properties of cold plasma treated rice. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1723-1731.

Toda K, Tsukayama I, Nagasaki Y, Konoikea Y, Tamenobua A, Ganeko N, Ito H, Kawakami Y, Takahashi Y, Miki Y, Yamamoto K, Murakami M, Suzuki-Yamamotoa T. (2020) Red-kerneled rice proanthocyanidin inhibits arachidonate 5-lipoxygenase and decreases psoriasis-like skin inflammation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 689, 108-307.

Tomicki L, Rigo A A, Durigon A, Gutkoski L C, Zeni J, Valduga E, Steffens C, Toniazzo G. (2015) Elaboração e avaliação da qualidade de macarrão isento de glúten. *Ciência Rural*, 45, 1311-1318.

Tuaño A P P, Barcellano E C G, Rodriguez M S. (2021) Resistant Starch Levels and In Vitro Starch Digestibility of Selected Cooked Philippine Brown and Milled Rices Varying in Apparent Amylose Content and Glycemic Index. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 14, 100010.

Vargas, C G, Silva Junior J D, Rabelo T K, Moreira J C F, Gelain D P, Rodrigues E, Augusti P R, Rios A O, Flôres S H. (2018) Bioactive compounds and protective effect of red and black rice brans extracts in human neuron-like cells (SH-SY5Y). *Food Research International*, 113, 57-64.

Ye L, Wang C, Wang S, Zhou S, Liu X. (2016) Thermal and rheological properties of brown flour from Indica rice. *Journal of Cereal Science*, 70, 270-274.

Yeh, An.-I., 2004. Preparation and applications of rice flour. In: Juliano, N.O. (Ed.), *Rice: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, Minnesota, USA.

Yi D, Maike W, Yi S, Xiaoli S, Dianxing W, Wenjian S. (2021) Physicochemical Properties of Resistant Starch and Its Enhancement Approaches in Rice. *Rice Science*, 28, 31-42.

- Yokoyama W. (2004) Nutritional properties of rice bran. *Rice chemistry and technology*, 595–609.
- Yu X, Yang T, Qi Q, Du Y, Shi J, Liu X, Liu Y, Zhang H, Zhang Z, Yan N. (2021) Comparison of the contents of phenolic compounds including flavonoids and antioxidant activity of rice (*Oryza sativa*) and Chinese wild rice (*Zizania latifolia*). *Food Chemistry*, 344, 128600.
- Walter M, Marchezan E, Avila L A. (2008) Arroz: composição e características nutricionais. *Ciência Rural*, 38, 1184-1192.
- Wang H, Zhu S, Ramaswamy H S, Hu F, Yu Y. (2018) Effect of high pressure processing on rancidity of brown rice during storage. *LWT - Food Science and Technology*, 93, 405-411.
- Wang C, Xue Y, Yousaf L, Hu J, Shen Q. (2020) Effects of high hydrostatic pressure on swelling behavior of rice starch. *Journal of Cereal Science*, 93, 102967.
- Wu W, Li F, Wu X. (2021) Effects of rice bran rancidity on oxidation, structural characteristics and interfacial properties of rice bran globulin. *Food Hydrocolloids*, 110, 106123.
- Zhang Z H, Wang L H, Zeng X A, Han Z, Brennan C S. (2019) Non-thermal technologies and its current and future application in the food industry: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 54, 1-13.
- Zhao Z, Huang J, Jin Q, Wang X. (2020) Influence of oryzanol and tocopherols on thermal oxidation of rice bran oil during the heating process at Chinese cooking temperatures. *LWT - Food Science and Technology*.

**CAPÍTULO II - Chemical characterization, antioxidant, antihyperglycemic and antihypertensive capacities of red rice (*Oryza sativa* L.) whole flour**

**Artigo publicado na Revista Chilena de Nutrición**

## **Chemical characterization, antioxidant, antihyperglycemic and antihypertensive capacities of red rice (*Oryza sativa* L.) whole flour**

Andréa Silva <sup>1\*</sup>; Marcus Ferreira <sup>1</sup>; Rafael Lima <sup>2</sup>; José Barbosa Jr <sup>1</sup>; Luiz Moreira <sup>2</sup>;  
Maria Barbosa <sup>1</sup>

1. Rural Federal University of Rio de Janeiro (UFRRJ), Institute of Technology (IT), Food Science and Technology Program (PPGCTA), Seropédica, Rio de Janeiro, Brazil. Laboratory of instrumental analysis Rodovia BR 465, km 7 Seropédica - RJ CEP: 23.890-000

2. Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ), Institute of Agronomy (IA), Department of Phytotechnics, Seropédica, Rio de Janeiro, Brazil. Instrumental Analysis Laboratory Rodovia BR 465, km 7 Seropédica - RJ CEP: 23.890-000

\* Corresponding e-mail of the author: anjosnutri@gmail.com. Contact: (21) 2682-1023

### **Abstract**

Rice (*Oryza sativa* L.) has great amounts of protein and minerals, also it presents several pigmented varieties. The red rice deserves highlight because it has a great nutritional value compared to the regular white variety. Its red pericarp pigmentation is due to the bioactive compounds that are responsible for its health benefits. Several researches are available in the literature regarding physicochemical and some functional properties of pigmented rices. However, information about the antihyperglycemic, antihypertensive and antioxidant capacities of red rice varieties are lacking. Thus, the aim of this study was to evaluate the physicochemical characterization, antioxidant, antihyperglycemic and antihypertensive capacities of flours from three different red rice crops (Rubi, Virginia, and Pequeno). All samples presented carbohydrate levels specific for cereals and low-fat levels. Furthermore, they presented great protein and resistant starch contents. Moreover, the samples showed high antioxidant, antihyperglycemic and antihypertensive capacities. The antihyperglycemic capacities were measured as the percentage of inhibition for amylase (56.71-76.46%) and glucosidase (80.97-76.56%), respectively; and the antihypertensive capacity as the percentage of inhibition for angiotensin conversion enzyme (38.41-34.66%). Regarding the nutritional values, the samples offered macronutrients concentrations that fulfill the recommended daily intake according to WHO. Moreover, a great amount of resistant starch was found. Additionally, Pequeno cultivar showed the best results for antioxidant capacity and antihyperglycemic compared to the other cultivars. Thus, the whole red rice flours can be classified as functional food, where it is

suggested the introduction of these powders to enhance the nutritional characteristics of pasting.

Key Words: Cereals, Starch; Proanthocyanidin; Antidiabetic; Angiotensin

## 1. INTRODUCTION

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most important cereal to the world economy, where China and India are ranked as the major producers. The carbohydrates represent a major component in this cereal, an important proportion of plant protein, as well as minerals, such as potassium, magnesium, and zinc <sup>(1)</sup>.

Among many varieties, whole grain red rice presents high levels of non-starch polysaccharides (NSP) that are present in the grain caryopsis, among other bioactive compounds, such as phenolics that are associated to the reduction of chronic conditions, such as dyslipidemia, diabetes type II and cardiovascular diseases, and it can even prevent cancer <sup>(2)</sup>.

The most used cereal in the pasta industry is wheat, due to its technological characteristics. However, this cereal presents high energetic value, low nutritional profile and high allergy response. Therefore, it is necessary to combine to the wheat flour other sources, which shows bioactive compounds, such as phenolics with antioxidant capacity that can enhance the glycemic, antioxidant and hypertensive response in those products <sup>(3)</sup>.

Rice is usually consumed after cooking, however, it has been observed a constantly increasing for the new processes and products from this cereal on its native form, once it corresponds to a raw material with an expressive nutritional and functional values. Furthermore, this cereal is hypoallergenic, gluten free and flavorless. Thus, the production of red rice flour has been increased, since the manufacturing cost is low, and it can be implemented in the making of bread and pasta because the technological, nutritional and functional characteristics of this flour <sup>(4)</sup>.

Despite all the potentiality of this cereal in the pasta industry, studies regarding the chemical composition are still scarce, mostly the ones that contemplate the bioactive compounds of the flour obtained from many pigmented rice cultivars <sup>(5)</sup>.

Therefore, the objective of this study was to evaluate the chemical characteristics, chromatic parameters, the antioxidant capacity, antihyperglycemic, and antihypertensive properties, of three Brazilian red rice cultivars.

## 2. MATERIAL AND METHODS

Three cultivars (Rubi, Virginia and Pequeno) of red rice (*Oryza sativa* L.) were assigned by the Institute of Agronomy of the Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ) (located at latitude coordinates-22.764596 and longitude-43.688343), manually harvested after 120 days of seeding at around 20% wet basis and submitted to sun drying until they reached 13% wet basis. After drying, the grains had their peel removed in order to obtain grains of a whole-grain sub class. These samples were ground in LM3100 hammer mill (Pertten Instruments AB, Huddinge, Sweden) equipped with a 0.8 mm aperture sieve (250 mesh) and then stored in hermetically sealed pots for further analysis.

### 2.1. Physicochemical characterization

The quantification of protein (kjeldahl method), lipids (SOXLET method), and ash were evaluated according to the Association of Official Analytical Chemists<sup>(6)</sup>, while total carbohydrates and non-starch polysaccharides (as described next) were calculated by difference based on the other components (lipids, protein, moisture and ashes)<sup>(7)</sup>. The cultivars were scanned and photographed using a Epson® perfection model (124OU) scanner and a Canon® EOS R camera to show their starch content and grain structure (Figure 1).



**Figure 1.** Red Grain scanned (transversal cut) and camera picture (longitudinal) images for the three cultivars.

### 2.2. Determination of total, resistant and digestible starch

The content of starch was determined by acid hydrolysis, followed by Lane & Enyon quantification<sup>(6)</sup>. The resistant starch (RS) content quantification was performed following the adapted methodology, using pancreatin,  $\alpha$ -amylase e amyloglucosidase. The digestible starch was calculated according to Frei<sup>(7)</sup> by the difference between the total and the RS.

#### 2.2.1. Amylose and amylopectin content determination



The amylose and amylopectin content were performed using the kit 3.MZ.K-AMYL da ROMER Labs®, where the results were expressed in percentage.

### **2.3. Colour parameters**

The chromatic parameters of the samples were evaluated in triplicate (in different areas of each sample) using a Hunter Lab Miniscan EZ® portable colorimeter.

### **2.4. Antioxidant capacity**

#### **2.4.1. Free radical scavenger method DPPH**

The determination of total antioxidant capacity was performed by scavenging of 2,2-dinitro-1-picrylhydrazine (DPPH) according to Rufino<sup>(8)</sup> using (ethanolic:water, 80:20 v/v) aqueous extracts. The radical scavenger activity was calculated, where the absorbance values (517 nm) of the sample and the blank were used after 60 minutes of reaction. The antioxidant capacity values were expressed in  $\mu\text{M}$  Trolox/100 g.g-1 sample. The results were expressed in dry weight.

#### **2.4.2. Ferric Reducing Antioxidant Power method (FRAP)**

The antioxidant capacity using Ferric Antioxidant Reducer (FRAP) method was performed according to Rufino<sup>(8)</sup> with 80% ethanol extracts. The FRAP solution was prepared using a solution of 2,4,6-tris (2-pyridyl) -s-triazine (TPTZ), acetate buffer and ferric chloride. All the readings were performed at 595 nm. To calculate the antioxidant capacity, the values were subjected to a standard curve and the results were expressed in  $\mu\text{M}$  Trolox 100 g.g-1 of dried sample.

#### **2.4.3. Determination of total phenolic content (TPC)**

For the determination of the total phenolic compounds content of the samples, methods described by Rufino<sup>(8)</sup> were used, using Folin-Ciocalteu phenolic reagent in aqueous extracts. The results were plotted in a curve which used gallic acid as the standard, with the mean absorbance (725 nm) to express the results in mg of gallic acid per gram of sample (mg of GAE. g-1 of the dried sample).

#### **2.4.4. Determination of proanthocyanidins**

The determination of proanthocyanidins was performed according to Chen McClung and Bergman<sup>(9)</sup>, where 0.50 of the extract with 80% ethanol. Followed by the addition of butanol-HCL reagent and ferric reagent previously prepared. The tubes were then placed in a heating block at 100°C for 60 min. After cooling it the preparation was measured at 550 nm using the unheated mixture as a blank.

## **2.5.Determination of antihyperglycemic capacity**

### **2.5.1. Inhibition activity of $\alpha$ -amylase**

The evaluation of the inhibition activity of  $\alpha$ -amylase was performed according to Lavelli<sup>(10)</sup> with modifications in the number of enzymatic aliquots. Initially, the  $\alpha$ -amylase and the starch were mixed with phosphate buffer (pH 6,8). 100  $\mu$ L solution of  $\alpha$ -amylase (20 units mL<sup>-1</sup>) was added to 100  $\mu$ L of the extract (sample) in test tubes at 37 °C for 5 min. The reaction was initiated with the addition of 250  $\mu$ L of a starch solution (10 g L<sup>-1</sup>). To obtain the blank and control the enzyme and the sample was removed respectively. After the addition of 250  $\mu$ L of dinitrosalicylic acid to the tube, were heated to 100 °C and held for 15 min. Afterward, 2000 $\mu$ L of distilled water was added and the absorbance was read at 540 nm using a spectrophotometer.

### **2.5.2. The inhibition activity of $\alpha$ -glucosidase**

The  $\alpha$ -glucosidase inhibition was performed according to Lavelli<sup>(10)</sup> with modification in the aliquots for the enzymatic solutions. Where the  $\alpha$ -glucosidase inhibition was determined using a spectrophotometer. 100  $\mu$ L of a buffer (pH 6.8), 100  $\mu$ L of the enzyme solution (0.2 units mL<sup>-1</sup>) and 50  $\mu$ L of each rice sample (extract) were added to each tube. The mix was incubated 37°C for 5 min. The reaction started by the adding of 100  $\mu$ L of substrate (2.5 mmol L<sup>-1</sup>). For the blank and control, the enzyme and the extract were not added, respectively. After the incubation at 37 °C for 30 min, on 1000  $\mu$ L of Glycine solution (0,2 mol L<sup>-1</sup>) were added to each flask to stop the reaction. The quantity of p-nitrophenol (pNPG) was measured using a spectrophotometer at 400 nm.

### **2.5.3. The ACE-inhibitory activity (ACE)**

For the ACE determination, the methodology described by Goretta et al.<sup>(11)</sup> was used, where 30  $\mu$ L of each sample was added to 200  $\mu$ L borate buffer and 60  $\mu$ L of HCL solution. The mix was incubated at 37 °C for 10 min. Then, 20  $\mu$ L was added to the enzymatic solution, where it was incubated again for more 3 min. After the enzymatic

phase using the peptides, the reaction was stopped by adding 250  $\mu$ L of HCl solution 1,0 mol L<sup>-1</sup>. For organic separation, 1.7 mL of ethyl acetate afterward, 1.2 mL ethyl acetate was extracted and transferred to flasks, then the samples were submitted to a hot bath until the solvent evaporation was removed. The retained material was resuspended with 1 mL of deionized water and the quantification was performed using a spectrophotometer at 228 nm.

## **2.6. Statistical Analysis**

All the analyses were performed in triplicate and the results were expressed in mean values  $\pm$  Standard deviation. The statistical analysis was performed using analysis of variance (ANOVA) and Tukey test at 5% of significance to compare the values.

## **3. RESULTS**

### **3.1. Physicochemical characterization**

There was a significant difference ( $p < 0.05$ ) between the studied samples, regarding its centesimal composition, and the Virginia flour cultivar showed higher concentration for proteins. Regarding lipids fraction, Rubi showed the highest values, followed by Pequeno and Virginia cultivar. As per ashes and total carbohydrates, Pequeno showed the highest amount. Yet in resistant and water soluble starch, it was observed significant difference ( $p < 0.05$ ), between samples, where Rubi cultivar showed higher resistant starch values and Virginia the highest value for digestible starch. There was not observed significant different ( $p > 0.05$ ) regarding the amylose and amylopectin content between the samples (Table 1).

The rice cultivars presented significant difference ( $p < 0.05$ ) in the non-starch carbohydrate content and the Pequeno showed the higher values for non-starch carbohydrate followed by flour Rubi and Virginia, respectively (Table 1).

### **3.2. Color Parameters**

There was a significant difference ( $p < 0.05$ ) for L\* values (Table 1) and flour from Virginia presented higher values than those from cultivars Rubi and Pequeno, indicating more luminosity level of this cultivar. However, it was no significant difference ( $p > 0.05$ ) between Rubi and Pequeno samples for the a\* coordinator (Table 1), even though, Virginia flour have shown significant difference when compared to the other flours for the same response, Regarding b\* coordinator, that corresponds to the variation

in the interval color from blue to yellow, Rubi did not differ statistically ( $p>0.05$ ) from cultivars Pequeno and Virginia.

### **3.3. Antioxidant capacity**

The flour samples Rubi and Pequeno showed higher scavenge capacity measured by DPPH and did not differ statistically ( $p>0.05$ ). For FRAP method, flour cultivar Pequeno showed the best capacity to reduce Fe (III) compared to others cultivars, besides, did not show a significant difference ( $p>0.05$ ) between the cultivars Rubi and Virginia. In the concentration of total phenolic, there was no different significance ( $p>0.05$ ) between the samples.

The concentration of proanthocyanidins presented a significant difference ( $p<0.05$ ) between the samples (Table 1) and, the flour from Pequeno cultivar was highlighted in relation to the others cultivars Rubi and Virginia.

### **3.4. The inhibition of $\alpha$ -glucosidase and amylase**

For inhibition of  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase presented a significant difference ( $p<0.05$ ) between the three flour cultivars evaluated (Table 1). The samples presented a percentage that varied from 56 to 76% of inhibition to the  $\alpha$ -amylase enzyme.

### **3.5. The AC-inhibitory activity (ACE)**

Among the samples in the present study, it was possible to observe a significant difference ( $p<0.05$ ) between the studied samples, however, the red rice cultivar (Rubi) showed the best inhibition activity to ACE followed by Virginia and Pequeno (Table 1).

## **4. DISCUSSION**

### **4.1. Physicochemical characterization**

The physical-chemical characteristics of the red rice can be affected by the type of crop (Table 1) since the conditions of the culture can alter the chemical composition of the plant. These values were higher than those observed by Kraithong, Lee and Rawdkuen<sup>(4)</sup> that reported the mean value of 72.32 g kg<sup>-1</sup> of protein for 4 cultivars of Thai organic red rice powder. Moreover, the values are also higher to those described by FAO<sup>(12)</sup> to red rice (7.0%/100g).

**Table 1.** Physicochemical characterization, antioxidant capacity, antihyperglycemic, antihypertensive properties of three cultivars of red rice (*Oryza sativa* L.)

	<b>Red Rice</b>		
	<i>Rubi</i> <sup>l</sup>	<i>Virginia</i> <sup>l</sup>	<i>Pequeno</i> <sup>l</sup>
<b>Physicochemical characterization</b>			
Protein (g kg <sup>-1</sup> )	110.34±0.17 <sup>b</sup>	124.48±0.21 <sup>a</sup>	100.80±0.11 <sup>c</sup>
Lipids (g kg <sup>-1</sup> )	44.82±0.11 <sup>a</sup>	41.26±0.10 <sup>c</sup>	42.75±0.09 <sup>b</sup>
Ashes (g kg <sup>-1</sup> )	18.39±0.08 <sup>b</sup>	16.09±0.07 <sup>c</sup>	23.56±0.01 <sup>a</sup>
Total carbohydrates (g kg <sup>-1</sup> )	826.45±0.60 <sup>b</sup>	818.17±1.60 <sup>c</sup>	832.89±0.30 <sup>a</sup>
Total starch (g kg <sup>-1</sup> )	528.61±0.30 <sup>b</sup>	535.69±0.90 <sup>a</sup>	521.23±0.40 <sup>c</sup>
Hydrolyzed starch (g kg <sup>-1</sup> )	395.84±0.19 <sup>c</sup>	437.62±0.50 <sup>a</sup>	413.23±0.12 <sup>b</sup>
Resistant Starch (g kg <sup>-1</sup> )	132.77±1.20 <sup>a</sup>	98.07±1.50 <sup>c</sup>	108.00±2.30 <sup>b</sup>
Amylose (%)	5.64±0.80 <sup>a</sup>	5.45±0.20 <sup>a</sup>	5.59±0.50 <sup>a</sup>
Amylopectin (%)	94.35±8.40 <sup>a</sup>	94.54±6.30 <sup>a</sup>	94.70±6.90 <sup>a</sup>
Non Starch Polysaccharides (g kg <sup>-1</sup> )	297.84±0.70 <sup>b</sup>	284.48±0.10 <sup>c</sup>	311.66±0.80 <sup>a</sup>
<b>Color parameters</b>			
L*	75.88±0.90 <sup>b</sup>	77.73±0.20 <sup>a</sup>	75.43±1.03 <sup>c</sup>
a*	5.54±0.40 <sup>a</sup>	4.59±0.10 <sup>b</sup>	5.98±0.30 <sup>a</sup>
b*	9.90±0.10 <sup>ab</sup>	8.82±0.80 <sup>b</sup>	10.14±0.10 <sup>a</sup>
<b>Antioxidant capacity</b>			
DPPH (µmolTrolox Eq. g <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	21.02±2.10 <sup>a</sup>	10.16±3.20 <sup>b</sup>	22.87±2.70 <sup>a</sup>
FRAP (µmol Fe <sup>II</sup> g <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>	72.38±2.00 <sup>b</sup>	70.85±1.80 <sup>b</sup>	109.02±3.90 <sup>a</sup>
Total phenolics (mg GAE g <sup>-1</sup> )	0.55±0.82 <sup>a</sup>	0.52±0.16 <sup>a</sup>	0.61±0.13 <sup>a</sup>
Proanthocyanidin (mgQuebracho Eq. G <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	0.87±0.01 <sup>b</sup>	0.02±0.03 <sup>c</sup>	2.14±0.06 <sup>a</sup>
<b>Antihyperglycemic capacity</b>			
α-amylase Inhibition (%)	56.71±0.10 <sup>a</sup>	67.29±0.10 <sup>b</sup>	76.46±0.19 <sup>c</sup>
α-glucosidase Inhibition(%)	73.75±0.40 <sup>b</sup>	80.97±0.23 <sup>c</sup>	76.56±0.16 <sup>a</sup>
<b>Antihypertensive capacity</b>			
ACE Inhibition (%) <sup>4</sup>	38.41±0.54 <sup>a</sup>	24.74±0.83 <sup>c</sup>	34.66±0.76 <sup>b</sup>

<sup>a-c</sup> Different letters at the same line indicate significant differences between samples ( $p < 0.05$ ); <sup>1</sup>Data are expressed as mean  $\pm$  standard deviation of at least, dry weight; 3 replicates; <sup>2</sup>radical scavenging activity 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazine; <sup>3</sup>Ferric Reducing Antioxidant Power; <sup>4</sup>Angiotensin Enzyme converter.

Variations in the protein content can be justified for the genetic characteristics of the plant and other factors such as the soil (nitrogen), environmental conditions (solar radiation and temperature), among others. The quantity of protein is determined by the quantity of the amino acid profile. Oliveira et al.<sup>(5)</sup> evaluated the profile of amino acids and found 177.20; 90.16; 80.67 mg g<sup>-1</sup> of glutamine, leucine, and arginine, respectively in whole red rice powder.

Gunaratne<sup>(13)</sup> found that usually the rice variety consumed, such as parboiled white polished rice, shows reduced content of amino acids when compared to the whole pigmented one, due to the proteins and amino acids that are present in the external layers, which during the processing are removed.

Besides that, even though the rice shows a reduced protein ratio, among other cereals, this macronutrient is the second more abundant component in the grain and has been used as an alternative to wheat, due to the increasing number of people that have demonstrated to show some intolerance outbreak to gluten or those who have celiac disease. The rice protein is usually composed by globulins fractions, glutelins, and prolamins that are defined for their different solubilization solutions, such as salt, acid, and alkaline, respectively. From a technological view and the food industry, these characteristics are important, since they interfere in the quality of the dough, as well as the elasticity and resistance<sup>(14)</sup>.

The lipid content of the three cultivars varied between 41.26 to 44.82 g kg<sup>-1</sup> among the studied cultivars (Table 1). These results were superior to those observed by Biswas et al.<sup>(15)</sup> that reported the total lipids content 21.0 g kg<sup>-1</sup> for the whole red rice, where, 38.78% were related to monounsaturated fatty acids and 37.23% of polyunsaturated. Additionally, Somaratne<sup>(16)</sup> also observed lower values 11.1 g kg<sup>-1</sup> and 24.0 g kg<sup>-1</sup> in different samples of red rice when compared to the samples of this study.

According to Jeong, Kim, and Lee<sup>(17)</sup>, the lipid content of the rice is present in cereal powder, which represents 10% of the whole grain and justifies the lipids proportion on this study since it represents whole cereals.

The lipid content of rice is presented in the cereal bran, which represents 10% of the whole grain. This evidence can explain the lipids ratio in the samples of this study, once it concerned whole grains.

Chemically, the lipids content in the whole rice can be classified as saponifiable and unsaponifiable lipids. The former is constituted by triglyceride, diglycerides, monoacylglycerols, free fatty acids, and waxes, while the latter is composed by sterols, tocopherols, tocotrienols, triterpene alcohols. Regarding the whole red rice, at around 50% of its lipid content constitute unsaponifiable fraction, especially by  $\gamma$ -oryzanol, which is associated with its antioxidant capacity. It also plays a role in cardiovascular diseases prevention and in the increase of HDL<sup>(18)</sup>.

Regarding the ash content, it was possible to observe a variation from 16.09 g kg<sup>-1</sup> to 23.56 g kg<sup>-1</sup>. However, these results are superior compared to Sompong<sup>(19)</sup>, which found in samples of red rice from different Asian countries, values ranging from 8.20 to 15.0 g kg<sup>-1</sup> among ten samples of red rice.

The mineral content in the whole rice is more expressive when compared to the polished variety, due to its micronutrients are found in the grain pericarp. Shao<sup>(2)</sup> evaluated the concentration of potassium, magnesium, manganese, zinc, iron, sodium and copper in five rice cultivars of Chinese rice and observed that first, three were the one highlighted with the mean values 2167.40; 1185.4; 3687.1 mg kg<sup>-1</sup>, respectively among the samples of whole red rice studied.

The total carbohydrate results of this study were higher than that by Kraithong, Lee, and Rawdkuen<sup>(4)</sup>. These results were expected since a study showed that the mean carbohydrate proportion in the rice varies from 750.00 to 860.00 g kg<sup>-1</sup> for both, the whole grain and the whole pigmented one<sup>(16)</sup>.

The starch content in the rice can vary due to environmental and genetic factors. The values were approximately 63.96; 65.47 and 62.58% of the total carbohydrates in the Rubi, Virginia and Pequeno cultivars, respectively. These numbers were inferior to the range observed by Frei<sup>(7)</sup>, who reported starch content between 72 and 82% in whole rice from different cultivars.

Regarding the nutritional aspect, the starch can be classified as rapidly digestible starch (RDS), slowly digestible starch (SDS), resistant starch (RS), each of them has their differences in the release and absorption of glucose. The digestible starch when it is digested within the gut it is converted into glucose and become a source of energy to the human diet<sup>(20)</sup>. The rice samples showed RS content of 98.07; 108.00 and 132.77 g kg<sup>-1</sup>

for Virginia, Pequeno and Ruby cultivars, respectively. These results are in accordance with the literature and it is available in matrices to the whole rice<sup>(7, 21, 22)</sup>. Determining the RS portion within a food it is an important nutritional parameter to be considered since it reaches the small intestine to be fermented and it breaks down by the microflora in short chain fatty acids (SCFA). Once it is there, SCFA help in the colon health decreasing the pH, inhibiting the growth of AGCCs promoting benefits to the colon by lowering its pH, inhibiting the growth of sarcoplasmic agent, thus increasing the number of prebiotics in the gastrointestinal tract<sup>(22)</sup>.

With the increase of non-transmissible chronic diseases, it has become more important to find food that can help to fulfill the necessity of meeting the daily portions of fiber 25-30 g for healthy adults<sup>(23)</sup>. Compared to other values of RS observed in this study with a daily recommendation of fibers, it is estimated that an average portion 5.17 g of all studied rice is capable to meet these requirements<sup>(23)</sup>.

The ratio in the RS can also be influenced by a fraction of amylose and amylopectin in the native starch, since after the retrogradation process a rearrangement may occur, which can make difficult due to the interaction between the amylose and amylopectin that remains Strong<sup>(24)</sup>.

On the other hand Zhu et al.<sup>(21)</sup>, evaluating the digestibility of the starch in 4 rice samples in the percentage of amylose varying between 17.0% and 55.40%, they observed that the proportion of RS was directly related to the amylose content.

The hydrolysis of the starch is proportionally associated with its accessibility to the digest enzymes  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase, which depend on the surface area of the granule. Observing the results of the percentage of amylose and amylopectin of the studied rice (Table 1), it was possible to observe that both cultivars presented low content of amylose, which was not expected since in general, the rice cereals present an average (20-35%) of amylose.

Commercially the starch is classified according to amylose content: Reduced when it has proportion less than 20% of amylose, intermediate 21-35% and high over 26%<sup>(25)</sup>. High amylose starch is known for its high digestion resistance and consequently high RS, which results in slower glucose release. Amylose concentration in rice grains is directly correlated with starch digestion rate. Postprandial glycemia and insulin response. Since the compact structure of amylose results in fractions resistant to the action of amylolytic enzymes<sup>(20)</sup>.



Regarding a technological perspective, the starch with high amylose content present a limited utilization to the industry due to its structural conformation such as its non-solubilization in water, reduced tendency of retrogradation and high syneresis<sup>(25)</sup>.

On the other hand, Jeong<sup>(17)</sup> analyzed the effect of different proportions (12, 19 and 26%) of amylose in white rice powder in the elaboration of gluten-free pasta. It was observed that when the amylose content was high, the dough became more firmness and less elastic, which would make it difficult to leaching of its nutrients during cooking.

The elevated fraction of amylopectin interferes significantly in the quality of the pasta since the high-water absorption properties showed for amylopectin could reduce the gluten development, which would lead in a sticky texture<sup>(26)</sup>.

The concentration of non-starchy carbohydrates in the cultivars studied corresponded to approximately 34.71-37.41% of total carbohydrates. In the whole rice, part of its non-starchy carbohydrates is classified as insoluble in relation to human digestion (e.g., cellulose, hemicellulose, and lignin). Moreover, other components also correspond to the intracellular soluble material (e.g., hemicellulose and pectin), since those are synthesized by vegetables to play specific metabolites functions, such as gums and mucilage. The consumption of these fractions reduces the total energetic value (TEV) of those whole grains, besides it contributes significantly to the maintenance of human health<sup>(4)</sup>.

## **4.2. Nutritional Aspects**

The portion recommendation in grams of the whole rice is 140 g/day, which is suggested by FOOD AND DRUGS ADMINISTRATION (FDA) and the TEV suggested by World Health Organization (WHO) is 2000 kcal per day for a healthy adult and it should be divided into 10-15% of protein, 25-35% of lipids and up to 60% of carbohydrates. From the total recommended carbohydrate amount according to DRI, 38.56; 38.21 and 38.86% can be obtained by the consumption of 140 g from Rubi, Virginia, and Pequeno, respectively.

In the evaluated samples in this study, only the protein fit the DRI. However, it was possible to observe that for each cultivar, Rubi, Virginia, and Pequeno represents 29.05; 29.01 and 29.10% of TEV for a portion of 140g per day. These results were superior to those mentioned by FAO<sup>(12)</sup>, which showed that 100 g of non-pigmented whole rice can provide 20% of energy and 15% of protein, which is essential to all individuals.

Kraithong, Lee, and Rawdkuen<sup>(4)</sup> have shown that due to the pigmented whole rice presented a greater fraction of macronutrients, such as protein and lipids, they tend

to be a potential food choice. In addition, part of its carbohydrates is non-starch polysaccharides, which positively contributes to the TEV reduction.

According to Kennedy and Burlingame<sup>(27)</sup>, the consumption of white rice, both the White and pigmented done in some parts of Asia represent more than half of the energetic source for its population. Since the consumption of 100 g of rice provides 84.74% of carbohydrates, 6.5% of protein and 3.73% of lipids.

### 4.3. Color Parameters

The highest value of  $L^*$  for the Virginia was expected since this cultivar presented bigger grain and endosperm fraction, that could be visually noticed when compared to the other cultivars. Thus, the higher starch portion had contributed to the luminosity interference within the samples. Anggraini et al.<sup>(28)</sup> evaluated the parameters of color for the red rice powder and observed that significant changes between rice colors could be associated with phenolic content on each cultivar.

The more important coordinate for studied rice was  $a^*$  because it corresponds to the color interval between red and green since the major pigment for this variety is the Proanthocyanidins, which confers red color to the grain (Table 1). The grains were fully milled; therefore, they presented different size for the endosperm portion, which can explain the observed differences.

On the other hand, among the three analyzed cultivars, the sample that had higher  $a^*$  value was Pequeno followed by Rubi and Virginia, this result was expected since visually, Pequeno has red color either for its pericarp and endosperm.

Kraithong, Lee, and Rawdkuen<sup>(4)</sup> evaluated the red rice powder and observed 8.31 to the coordinate  $a^*$ , a superior result to the ones observed in the studied samples (Table 1).

Regarding the  $b^*$  values, Rubi, Virginia and Pequeno cultivar presented the following values: 9.90; 8.82 and 10.14, respectively, which corresponds to the yellow color passing through blue and red. A significant difference to these parameters was expected as well as in  $a^*$  coordinator, due to the presence of the phenolic compounds. Since the pigment has a direct relation to  $a^*$  and  $b^*$  values, therefore, representing better benefits to human health when compared to white rice powder<sup>(28)</sup>.

#### 4.4. Antioxidant capacity

The observed results for the antioxidant capacity in the three red rice cultivars showed that these cereals presented promising performance over the DPPH and FRAP methods and the main bioactive compound related to DPPH scavenging capacity in red rice is the proanthocyanidins, which may present a varied concentration among plants due to many factors, such as soil type and conditions, genetic material, seasonality, and climatic conditions<sup>(28)</sup>. Therefore, it justifies the variation in the values observed in the present study.

These results were superior to the Sumczynski et al.<sup>(29)</sup>, who analyzed rice samples from France, Cambodia, and Thailand and observed values of 8.90, 13.9 and 14.7  $\mu\text{mol}$  of Trolox Eq.g-1 of dried sample, respectively. The same was observed by Pang et al.<sup>(30)</sup> and Shao et al.<sup>(2)</sup> when they reported mean values of 2.98 and 2.41  $\mu\text{mol}$  of Trolox Eq.g-1 of dried sample respectively in the whole red rice samples evaluated.

Mean 84.08  $\mu\text{mol}$  FeII g-1 of dry sample, from between the three samples studied was <sup>(25)</sup> times higher than the mean of 3.25  $\mu\text{mol}$  of FeII g-1 of the dry sample observed in the study of Niu et al.<sup>(26)</sup>, who performed a comparative study of eleven red rice samples harvested at the same time of year as the first harvest in 2006 and the other in 2007. The authors attribute the difference in the ferric reduction capacity to the variation of climatic and soil conditions. However, the mean value, 84.08  $\mu\text{mol}$  of FeII g-1 of dried sample was similar (85.03  $\mu\text{mol}$  of FeII g-1 of the dried sample) to the observed by Sompong et al.<sup>(19)</sup>.

The total phenolic concentrations presented in the three samples suggests a positive correlation with the antioxidant capacity. Lower scores were observed by Pengkumsri et al.<sup>(31)</sup>; Biswas et al.<sup>(15)</sup> in samples of red rice.

Ferulic, p-coumaric, isoferulic, vanillic, sinapic, caffeic, p-hydroxybenzoic and protocatechuic acids have been reported in rice <sup>(29)</sup>. Hu et al.<sup>(32)</sup> identified phenolic acids by HPLC in samples of red rice and observed a major presence of gallic, ferulic and coumaric acids. The proanthocyanidins is a subclass of phenolics compounds, named condensed tannins, which is found in purple-red rice and other colored cereals. In red rice, these substances are accumulated on the external layers that color the grain pericarp <sup>(29)</sup>. Kin et al.<sup>(33)</sup> pointed out the phenolic compounds benefits on human health due to the free radicals scavenging. Moreover, they are also associated to transcription and methylation of DNA, inducing the autophagocytosis of unnecessary intracellular material, which

stimulates the oxidative phosphorylation and modulates the redox state in the cells, contributing to their surviving or even apoptosis, if necessary.

The proportion of proanthocyanidins 0.87; 0.02 and 2.14 mg Quebracho Eq.G-1 in the samples Rubi, Virginia and Pequeno, respectively, which are in correlated to the a\* coordinator. This reaction was expected since the proanthocyanidins present in the pericarp part confers to the cereal a characteristic color as showed by Chen McClung and Bergman<sup>(9)</sup>.

The mean of 1.01mg Quebracho Eq.G-1observed in this study was 9.42 times higher when compared to the one observed by Huang and Lai<sup>(34)</sup> in six samples of rice bran. Chen, McClung and Bergman<sup>(9)</sup> reported when comparing the proanthocyanidins presented in rice bran with its powder, the later value is significantly lower since rice powder contains 10% of bran, which explains the difference observe between the means values found in this study.

#### **4.5.The inhibition of $\alpha$ -glucosidase and amylase**

The inhibition of  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase is an important factor since it is related to the glucose release from the starch hydrolyzes. The samples presented a percentage that varied from 56 to 76% of inhibition to the  $\alpha$ -amylase enzyme. Which it is a good suppression of the enzyme since the test with acarbose (commercial drug) presented 69% for  $\alpha$ -amylase and 75% for  $\alpha$ -glucosidase.

Even though there are few studies showing the inhibitory effect of its enzyme by red rice, Tan et al.<sup>(35)</sup> suggested that the proanthocyanidins presented in the vegetables can inhibit up to 80% of  $\alpha$ -amylase. In addition, its natural matrix can minimize the effects such abdominal distension caused by synthetic inhibitors (acarbose). Gonzalez et al.<sup>(36)</sup> analyzed the relation between different flavonoids structure and its interaction to  $\alpha$ -amylase and suggested that the number of hydroxyl groups on its molecule could determine the inhibition activity of  $\alpha$ -amylase. Other studies verified that red rice presents an expressive amount of proanthocyanidins (i.e., flavonoids) that are classified by its carbon and hydroxyl groups <sup>(35, 27, 13)</sup>.

The  $\alpha$ -glucosidase located in the intestine membrane cells can hydrolase the oligosaccharides, releasing the glucose, which is carried to the bloodstream. During the break down of proanthocyanidins, there is flavonoids formation, which is similar to the  $\alpha$ -glucosidase substrate, therefore they compete to the active site by inactivating the enzymes<sup>(37)</sup>.

Tadera et al<sup>(38)</sup> evaluated the inhibition effect of flavonoids over the  $\alpha$ -glucosidase and  $\alpha$ -amylase and they observed that a group of proanthocyanidins demonstrated that the major percentage of inhibition over the  $\alpha$ -glucosidase when compared to  $\alpha$ -amylase. Additionally, they reported that the more carbon rings the structure has the more its potential o inhibits the enzyme since the substrate mechanism takes place by competing to its active site.

#### **4.6. The AC-inhibitory activity (ACE)**

The Angiotensin-converting enzyme (ECA) is a hydrolase that plays an important role regulating the blood pressure, not only to promote potent vasoconstriction from angiotensin II but also to catalyze the degradation of bradykinin, a peptide with hypotensive properties<sup>(39)</sup>.

There are still few studies that report the ACE rate associated with the red rice, however, it has been shown that the crop condition, weather, and soil characteristics are important factors, since they affect the phenolic compounds within the grain during ripening; therefore, affecting the proanthocyanidins content as well. Additionally, Goretta<sup>(11)</sup> and collaborators reported that pigmented cereals rich in phenolic compounds can reduce the blood pressure since it can act in the ACE activity, not only in vivo but also in vitro. Taubert<sup>(40)</sup> evaluated for 14 days the blood pressure of elderly people by giving them a regular diet rich in proanthocyanidins and they found that the blood pressure 440 levels decreased, associating to the tannins towards ACE inhibition.

### **5. CONCLUSION**

In conclusion, the whole rice powder from the 3 cultivars showed significant difference among them, for all evaluated parameters. Regarding the nutritional values, the flours offered macronutrients concentrations that fulfill the recommended TEV according to OMS. Moreover, part of the total carbohydrate is resistant starch, in which, it develops the same function as the fibers. Additionally, Pequeno cultivar showed the best results for Antioxidant Capacity and Antihyperglycemic compared to the other cultivars, however, Rubi and Virginia also demonstrated good potential for the same analysis. Thus, the flours can be classified as a functional food, where it is suggested the introduction of this powders to enhance the nutritional characteristics of pasting.

## Acknowledgments

This research was supported by the Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ), the Program of Post-Graduation in Food Science and Technology (PPGCTA), the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and the Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA) and FAPERJ. The authors gratefully thank Prof Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho, from Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA), for all the support given to this study.

## 6. REFERENCES

1. Bouasla A, Wójtowicz A and Zidone MN, Gluten-free precooked rice pasta enriched with legumes flours: Physical properties, texture, sensory attributes and microstructure. *LWT- Food Science and Technology*, 2017; 75: 569-577.
2. Shao Y, Hu Z, Yu Y, Mou R, Zhu Z and Beta T, Phenolic acids, anthocyanins, proanthocyanidins, antioxidant activity, minerals and their correlations in non-pigmented, red, and black rice. *Food Chemistry*, 2018; 239: 733-741.
3. Niu Y, Gao B, Slavin M and Zhang Z, Phytochemical compositions, and antioxidant and anti-inflammatory properties of twenty-two red rice samples grown in Zhejiang. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 54: 521-527.
4. Khraithong S, Lee S and Rawdkuen S, Physicochemical and functional properties of Thai organic rice flour. *Journal of Cereal Science*, 2018; 79: 259-266.
5. Oliveira LC, Lima DCN, Bailoni Ma, Risso EM, Schmiele M, Steel CJ and Chang YK, Physical Characteristics, Nutritional Quality, and Antioxidant Potential of Extrudates Produced with Polished Rice and Whole Red Bean Flours. *Cereal Chemistry*, 2017, 94: 74-81.
6. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis of the AOAC. 2010. 18.ed. Gaithersburg, Maryland.
7. Frei M, Siddhuraju P and Becker K, Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. *Food Chemistry*, 2003; 83, 395-402.
8. Rufino MSM, Alves RE, Brito ES, Jiménez JP, Calixto FS and Mancini-Filho J, Bioactive compounds and antioxidant capacities of eighteen non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 2010; 21: 996-1002.
9. Chen M H, McClung A M, Bergman C J, Concentrations of oligomers and polymers of proanthocyanidins in red and purple rice bran and their relationships to total

phenolics, flavonoids, antioxidant capacity and whole grain color. Food Chemistry, 2016, 208: 279-287.

10. Lavelli V, Sri Harsha PSC, Ferranti P, Scarafoni A and Iametti S Grape skin phenolics as inhibitors of mammalian  $\alpha$ -glucosidase and  $\alpha$ -amylase – effect of food matrix and processing on efficacy. Food & Functional, 2016; 7: 1655-1663.
11. Goretta, LA, Ottaviani JL, Keen CL and Fraga CG, Inhibition of angiotensin converting enzyme (ACE) activity by avan-3-ols and procyanidins. FEBS Letters, 2003, 555: 597-600.
12. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Statistical year book. World food and agriculture Roma. 2013, 307 p. Acesso em: 19/01/2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i5555.pdf>
13. Gunaratne A, Wu K, Li D, Bentota A, Corke H and Cai YZ, Antioxidant activity and nutritional quality of traditional red-grained rice varieties containing proanthocyanidins. Food Chemistry, 2013, 138: 1153-116.
14. Balindong, J. L. et al. Rice grain protein composition influences instrumental measures of rice cooking and eating quality. Journal of Cereal Science, 2018, 79: 35-42.
15. Biswas SK, Kim DE, Keum YS and Saini RK, Metabolite profiling and antioxidant activities of white, red, and black rice (*Oryza sativa* L.) grains. Journal of Food Measurement and Characterization, 2018, 12: 2484-2492.
16. Somaratne GM, et al., Effect of polishing on glycemic index and antioxidant properties of red and white basmati rice. Food Chemistry, 2017, 15: 716-723.
17. Jeong S, Kim HG and Lee S, Rheological and secondary structural characterization of rice flour-zein composites for noodles slit from gluten-free sheeted dough. Food Chemistry, 2017, 221:533 1539-1545.
18. Menacho LMP, Silva LH, Sant'Ana AS and Gonçalves LAG, Refino de óleo de farelo de arroz (*Oryza sativa* L.) em condições brandas para preservação do  $\gamma$ -orizanol. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2007, 27: 45-53.
19. Sompong, R, Ehn SS, Martin GL and Berghofer E, Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. Food Chemistry, 2011, 124: 132-140.
20. Kumar A, Sahoo U, Baisakha B and Oko A, Resistant starch could be decisive in determining the glycemic index of rice cultivars. Journal of Cereal Science, 2018, 79: 348-353.

21. Zhu J, et al., Structural features and thermal property of propionylated starches with different amylose/amylopectin ratio. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 97:560 123-130.
22. Gani A, Ashar BA, Akhter G, Shah A, Wani IA and Masoodi FA, Physico-chemical, structural, pasting and thermal properties of starches of fourteen Himalayan rice cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 95: 1101-1107.
23. BRASIL. Ministério da Agricultura. Instrução Normativa nº 06 de 16 de fev. de 2009. 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 União*, 17 de fevereiro de 2009. Seção 1, p
24. Raigond P, Ezekiel R and Raigond B, Resistant starch in food: a review. *Journal Science Food Agricultural*, 2015, 95: 1968-1978.
25. Oh IK, Bae IY and Lee HG, Hypoglycemic Effect of Dry Heat Treated Starch With Xanthan: An In Vitro and In Vivo Comparative Study. *Starch-Stärke*, 2018, 70: 9-10.
26. Niu M, Hou GG and Zhao S, Dough rheological properties and noodle-making performance of non-waxy and waxy whole-wheat flour blends. *Journal of cereal Science*, 2017, 75: 261-268.
27. Kennedy G and Burlingame B, Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. *Food Chemistry*, 2003, 80: 589-596.
28. Anggraini T, Limber NU and Amelia R, Antioxidant activities of some red, black and white rice cultivar from west Sumatra, Indonesia. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2015, 14: 112-117.
29. Sumczynnski D, Kotásková E, družbíkóvá H and Micek J, Determination of contents and antioxidant activity of free and bound phenolic compounds and in vitro digestibility of commercial black and red rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Food Chemistry*, 2016, 211: 339-346.
30. Pang Y, et al., Bound phenolic compounds and antioxidant properties of whole grain and bran of white, red and black rice. *Food Chemistry*, 2018, 240: 212-221.
31. Pengkumsri N, et al., Physicochemical and antioxidative properties of black, brown and red rice varieties of northern Thailand. *Food Science and Technology*, 2015, 35: 331-338.



32. Hu Z, Tang X, Liu J, Zhu Z and Shao Y, Effect of parboiling on phytochemical content, antioxidant activity and physicochemical properties of germinated red rice. *Food Chemistry*, 2017, 214: 285-292.
33. Kim H, Quon MJ and Kim J, New insights into mechanisms of polyphenols beyond antioxidant properties; lessons from the green tea polyphenol, epigallocatechin 3-gallate. *Redox Biology*, 2014, 2: 187-195.
34. Huang Y P, Lai H M, Bioactive compounds and antioxidative activity of colored rice bran. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2016, 24: 564-574.
35. Tan Y, Chang SKC and Zhang Y, Comparison of  $\alpha$ -amylase,  $\alpha$ -glucosidase and lipase inhibitory activity of the phenolic substances in two black legumes of different genera. *Food Chemistry*, 2017, 214: 259-268.
36. Gonzalez ALM, Sánchez AGD, Rosa LAI, Jaimes LB and Parrilla EA, Inhibition of  $\alpha$ -amylase by flavonoids: Structure activity relationship (SAR). *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2019, 206: 437-447.
37. Derosa G. and Maffoli P,  $\alpha$ -Glucosidase inhibitors and their use in clinical practice. *Management of diabetic patients with hypoglycemic agents*, 2012, 8: 899-906.
38. Tadera K, Minami Y, Takamatsu K and Matsuoka T, Inhibition of  $\alpha$ -Glucosidase and  $\alpha$ -Amylase by Flavonoids. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 2006, 52: 149-153.
39. Polesi LF, Sarmiento SBS and Brazaca SGC, Starch Digestibility and Functional Properties of Rice Starch Subjected to Gamma Radiation. *Rice Science*, 2018, 25: 42-51.
40. Taubert D, et al., Reaction rate constants of superoxide scavenging by plant antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine*, 2003, 35: 1599-1607.

**CAPÍTULO III** - Chemical composition, Functional and Rheological Properties of whole red rice blends and durum wheat semolina

**ARTIGO submetido a Revista *International Journal of Gastronomy and Food Science***

# Chemical composition, Functional and Rheological Properties of whole red rice blends and durum wheat semolina

## Abstract

Durum Wheat Semolina (DWS) is commonly addressed in the food industry for the elaboration of pasta, and the combination of DWS to whole cereals such as Whole Red Rice Flour (WRRF) has arisen an interest in researches and has been a global trend. In this present work, the mixing of DWS and WRRF form three different cultivars in the ratio 25:75; 50:50; 75:25 (DWS:WRRF) were evaluated regarding its chemical characteristics, nutritional, functional and rheological properties. For all the rice cultivars, the substitution of DWS for WRRF in all the studied proportion could increase ( $p \leq 0.05$ ) and the ash content, protein, lipids, total carbohydrates, total starch and non-starch polysaccharides in comparison to the control (DWS). The same behavior was observed for DPPH, albeit it did not favor FRAP and Total Phenolic methods. Regarding the rheological properties, 75:25 and 50:50 of DWS:WRRF showed the best results for farinograph and extensograph assay. As for Rapid Visco analysis (RVA), only the blends of Virginia cultivar showed homogeneous behavior similar to DWS 100 %. In general, the addition of WRRF improved the chemical characteristics, nutritional and antioxidant capacity of the blends, demonstrating being a feasible alternative to aggregate nutritional value and functional properties to food.

**Keywords:** Antioxidant capacity, non-starch polysaccharides, farinograph, RVA

## 1. INTRODUCTION

Rice (*Oryza sativa* L.) is commonly consumed by the majority of the population (Zavarese et al., 2010; Marti et al., 2010; Vargas et al., 2017; Kraithong et al., 2018). Even though the white rice is the most consumed in a world scale, there are certain pigmented grains, such as red and black that had been highlighted in the market due to the presence of numerous bioactive compounds on its composition (Paiva et al., 2014).

Regarding the whole red rice, after hulled, the cereal keeps its endosperm, the external layer, where it contains the majority of bioactive compounds, besides the important nutrients, such as fibers, minerals, and lipids (Falade and Christopher, 2015; Somaratne et al., 2017).

Among these bioactive compounds, the phenolic compounds were highlighted, which has been associated to numerous benefits to human health (e.g. Cholesterol reduction, glycemic control, lipids oxidation and blood pressure (Vargas et al., 2017). Furthermore, Red rice presents proanthocyanin as a pigment, where its consumption has been associated to a high rate of digestibility,

antioxidant power, atheromatous plaque, blood pressure and anti-hyperglycemic activity (Sweeney et al., 2006).

In the endosperm, the internal portion of cereal starch appears as the majority component, which has arisen increasing the interest by the incorporation of this cereal in food products (Walter et al., 2008). However, the variability in the cultivars and the type of rice can show significant effects in the technological properties of this cereal flour and in the final quality of the product, compromising its application in the industry (Kraithong et al., 2018).

Wheat flour is the major raw material in the development of many products such as bread, cookies, cakes and pasta, food where its consumption is the base of food in the Brazilian population (Scheuer et al., 2011). However, there are numerous research that aim the wheat mixing with other cereal in order to improve the nutritional qualities of these food products, since it shows functional properties below its energetic values.

Durum Wheat Semolina (DWS) is one of the major ingredients used in the elaboration of food products, due to its desirable characteristics as moisture below 14 %, protein content and 11 to 14 %, gluten source, low ash content, low  $\alpha$ -amylase activity and uniform grain size (Fernandes et al., 2008).

Therefore, the aim of this work was to evaluate the physical-chemical properties, the rheological function of blends from different wheat proportion of whole red rice and durum wheat semolina.

## **2. MATERIAL AND METHODS**

### **2.1. Blend elaboration**

For the elaboration of the blends, it was utilized commercial DWS from brand Renata® (control sample) and whole red rice flour (WRRF) from three cultivars (i.e. Rubi, Virginia and ENA AR 1601). The samples were cultivated and retrieved from Agronomy Institute at Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ) – Seropedica, RJ – Brazil.

In order to obtain the flours, the grain hulled with 12 % moisture were grounded in hammer mill LM3100 (Perten Instruments® AB, Huddingen, Sweden) equipped with sieve 0.8 mm mesh. Afterward, DWS and WRRF from each cultivar were weighed and mixed in this proportion 25:75; 50:50; 75:25 (DWS:WRRF) respectively adding the control, totalizing 10 samples.

### **2.2. Chemical composition of the Blends**

In the chemical composition of the blends were determined the moisture content, protein, ashes and according to the described methodologies by Association of Official Analytical Chemists

(AOAC, 2010) and the total carbohydrate was estimated by difference as described by Santos et al. (2010). The total starch content was determined by acid hydrolysis, followed by Lane and Enyon quantification (ASEAN, Manual of Food Analysis, 2011). The non-starch polysaccharides (NSP) was estimated by the difference between the total carbohydrate and total starch. All the described analysis were performed in triplicate and Wheat Durum Semolina (WDS) was used as control.

### **2.3. Antioxidant capacity determination and the total phenolic compound in studied blends**

The antioxidant capacity of blends and its control was determined in ethanolic extract (80 % p/v) by radical scavenging method DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) and Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) according to Rufino et al. (2010), while in the phenolic compounds content, it was used the Folin-Ciocalteu method according to Quertier-Deleu (2000).

### **2.4. Rheologic Behavior of Blends**

In the Rheological properties of the blends DWS/WRRF was performed the analysis of farinograph and extensograph, by 52-21, 54-10 methods of AACC (2010), respectively. A farinograph was used (Duisberg/Germany) to evaluate the following parameters: Water Absorption (WA), arrival time (AT), Departure Time (DT) and Stability (S) and the Mixing Tolerance Index (MTI). The farinograph parameters were expressed in WA in %, DDT and S in min and MTI in Farinograph units (FU). The viscosity of the control pasta sample and the blends were determined using a Rapid Vico Analyser (RVA), with a software ThermoLine, version 2.3, following 162 from AACC methodology (2010), using the standard 1 and evaluating the viscosity peak (VP), the breakdown (BD) and retrogradation (RG). All the parameters were expressed in (cP), while for the pasta temperature it was used (°C).

### **2.5. Statistical analysis**

Statistical Analysis the results were analyzed by variance analyses (ANOVA) and Tukey test at 5 % significance level to compare their mean.

### **3. RESULTS AND DISCUSSION**

#### **3.1. The chemical composition of the semolina blends of durum wheat semolina and whole red rice flour:**

The results observed for the chemical composition of DWS (control) and the studied blends are shown in Table 1.

**Table 1.** Physical-chemical characterization and the proportion of polysaccharides in the blends of durum wheat semolina (DWS) and whole red rice flour (WRRF)

		Chemical Composition (%)				Polysaccharides (%)			
Cultivar	Blends (DWS: WRRF) <sup>1</sup>	Moisture	Ashes	Protein	Lipids	Total Carbohydrates	Total Starch	Non-Starch	
<i>Rubi</i>	Control*	12.05±0.21 <sup>a</sup>	0.77±0.24 <sup>h</sup>	2.17±0.11 <sup>e</sup>	0.91±0.53 <sup>i</sup>	84.15±0.63 <sup>a</sup>	69.76±0.01 <sup>f</sup>	14.34±0.28 <sup>a</sup>	
	25:75	11.93±0.19 <sup>c</sup>	1.55±0.12 <sup>e</sup>	9.21±0.09 <sup>bcd</sup>	3.05±0.13 <sup>g</sup>	74.23±0.11 <sup>e</sup>	70.58±0.05 <sup>e</sup>	3.65±0.92 <sup>e</sup>	
	50:50	12.25±0.20 <sup>b</sup>	1.52±0.10 <sup>d</sup>	9.01±0.13 <sup>bcd</sup>	2.32±0.13 <sup>d</sup>	74.94±0.15 <sup>f</sup>	71.14±0.54 <sup>d</sup>	3.80±1.16 <sup>d</sup>	
	75:25	12.71±0.18 <sup>a</sup>	1.47±0.03 <sup>c</sup>	8.92±0.06 <sup>abc</sup>	1.07±0.09 <sup>a</sup>	75.82±0.08 <sup>h</sup>	73.31±0.01 <sup>c</sup>	2.51±1.87 <sup>g</sup>	
	<i>Virgínia</i>	25:75	11.74±0.19 <sup>cd</sup>	1.33±0.09 <sup>f</sup>	10.52±0.13 <sup>a</sup>	2.86±0.05 <sup>b</sup>	74.21±0.10 <sup>h</sup>	74.05±0.02 <sup>b</sup>	0.16±2.61 <sup>j</sup>
		50:50	11.52±0.24 <sup>d</sup>	1.28±0.14 <sup>g</sup>	10.49±0.07 <sup>a</sup>	1.98±0.08 <sup>e</sup>	74.76±0.13 <sup>g</sup>	74.16±0.01 <sup>b</sup>	0.60±0.87 <sup>i</sup>
		75:25	11.19±0.17 <sup>e</sup>	1.27±0.23 <sup>g</sup>	9.02±0.05 <sup>bcd</sup>	0.98±0.02 <sup>h</sup>	77.71±0.01 <sup>b</sup>	76.33±0.02 <sup>a</sup>	1.38±2.06 <sup>h</sup>
	<i>ENA ARI601</i>	25:75	12.52±0.20 <sup>a</sup>	1.95±0.16 <sup>a</sup>	8.69±0.08 <sup>ab</sup>	2.53±0.03 <sup>c</sup>	73.33±0.10 <sup>i</sup>	70.11±0.01 <sup>ef</sup>	3.22±1.97 <sup>f</sup>
		50:50	11.51±0.17 <sup>d</sup>	1.93±0.09 <sup>a</sup>	8.02±0.05 <sup>cd</sup>	1.73±0.01 <sup>f</sup>	76.82±0.16 <sup>c</sup>	71.92±0.01 <sup>d</sup>	4.90±1.18 <sup>c</sup>
75:25		11.76±0.15 <sup>cd</sup>	1.87±0.13 <sup>b</sup>	7.80±0.13 <sup>d</sup>	1.07±0.06 <sup>g</sup>	76.56±0.09 <sup>d</sup>	70.33±0.01 <sup>ef</sup>	6.23±2.18 <sup>b</sup>	

a-i Different letters at the same line indicate significant differences between samples ( $p < 0.05$ ); Values expressed in the dry base; the reference values correspond to the mean followed by the standard deviation (SD). Means in the same column with same letters did not differ statistically ( $p > 0.05$ ) (Tukey test at 95 %) \*Control 100 % DWS; <sup>1</sup>DWS: WRRF Drum Wheat Semolina; Whole Red Rice Flour.

The moisture content varied from 11.19 to 12.71 % between the control and the evaluated blends (Table 1). These results are in accordance with the maximum limit of 15 % established by resolution 263 of 2005 of ANVISA (Brasil, 2005) for flour and cereal.

The moisture in the blended flours is an important parameter to be evaluated since it denotes the product's stability during storage in addition low values of moisture make possible the proliferation of fungus and non-desirable biochemical reactions (Odebode et al., 2018).

The nine different blends showed ash content between 1.27 % - 1.95 % and the control sample presented 0.77 % of fixed mineral residue (Table 1). Among the cultivars, the highest ash percentage ( $p \leq 0.05$ ) were observed for ENA AR 1601 cultivar and its blends (Table 1).

The ash content is an important parameter because it corresponds to the mineral fraction of the cereal (Walter et al., 2008). In general, it was observed that the increase in the DWS content to WRRF was proportional to the ash content in all evaluated blends ( $p \leq 0.05$ ) (Table 1), signaling the importance of inclusion of whole cereal flour to the refined wheat flour or semolina aiming to improve its nutritional quality of these products.

For protein content, it was observed that DWS showed less value ( $p < 0.05$ ) when compared to all the studied blends (Table 1). Between the evaluated blends, the ones formulated with Virginia cultivar presented higher values of those nutrients (protein) (Table 1).

As per the protein concentration the samples showed values between 7.80 - 10.52 % and the control sample presented 2.17 % compared to the blend means.

Protein is an essential component in the human diet and its constitution in amino acids influences its nutritional properties, functional and technological in food products (Odebode et al., 2018). From a technological point of view, the industry should be aware when dealing with blends regarding the protein amino acid profile, especially in DWS, since when it is hydrated and homogenized, it forms a resistant protein-complex through disulfide bonds, hydrogen bonds and van der Waals interactions called the gluten network (Somaratne et al., 2017).

The lipid content varied from 0.91 to 3.05 % (Table 1). Overall the WRRF quantities in the blend contributed to the increase of the lipid content in the studied blends, where the blend 25:75 (DWS:WRRF) Rubi cultivar, presented the highest amount of this nutrient (Table 1).

From a technological perspective, the lowest lipids content observed in some of the samples can be advantageous, since it contributes to less rancid flavor in the blend samples during storage. On the other hand, from a nutritional perspective, flour blends with low lipid content tend to show less fat-acid content such as, oleic and linoleic, what usually is present in the lipid fraction of whole red rice and are important to the diet (Pourali et al., 2010).



The carbohydrate content between the evaluated samples varied from 73.33 to 84.15 %, where the DWS showed higher quantity (Table 1). For all the studied blends, it was verified that the major substitution DWS by WRRF reduced the total carbohydrates content (Table 1). According to Wang et al. (2017), the whole cereal tends to show less quantity of total carbohydrates, due to higher protein content, fiber, lipids and ashes present in the pericarp and other fractions of the grain.

Starch was the major component in the carbohydrates fraction of all evaluated samples (Table 1). The studied blends showed values from 70.11 – 76.33 % total aminoacid, whereas the control presented a slightly lower (69.76 %) compared to all the studied samples. (Table 1).

Besides the starch, the whole rice, showed non-starch polysaccharides (NSP), such as cellulose, hemicellulose, resistant starch, and pectin, that are not digestible by enzymes during gastrointestinal tract and plays a role as the fiber content fraction, which contributes to gastrointestinal health. The higher concentration of NSP lies in the external layers of the grain, which reduces towards the inner direction in the grain. This behavior results in a low concentration of these components in the grain submitted to the polishing process (Walter et al., 2008; Martinez et al., 2014).

This NSP result was expected, once, the whole proportion and its fiber content were proportional. The samples from this study showed 0.16-6.23 % and the control (14.34 %) of NSP (Table 1), where the 75:25 from ENA AR1601 cultivar showed the higher quantities for this nutrient (Table 1).

### **3.2.Antioxidant Capacity**

The results of antioxidant capacity by DPPH and FRAP methods and the total Phenolic compounds are expressed in Table 2. The observed results for antioxidant capacity of the three cultivars of red rice, demonstrated that these cereals show promising scavenging free radical (SFR) of DPPH (Table 2), where Rubi showed the best results followed by ENA AR1601 and Virginia respectively (Table 2), as the more WRRF added to the blend the better the positive response to the tested methods.

The SFR of the samples in this present study was observed by Sompong et al., (2011) in ten samples of red rice in Asian countries, where they obtained means of 13 and 76 % respectively for DPPH.

**Table 2.** Antioxidant Capacity in the blends of durum wheat semolina (DWS) and whole red rice flour (WRRF)

		<b>Antioxidant Capacity</b>			
<i>Cultivar</i>		<b>Blends (DWS: WRRF)<sup>1</sup></b>	<b>DPPH % (SRL)<sup>2</sup></b>	<b>FRAP <math>\mu\text{mol FeII/g}^3</math></b>	<b>Phenolics mmol GAE/g</b>
			Control*		34.15±0.10 <sup>a</sup>
<i>Cultivar</i>	<i>Rubi</i>	25:75	77.17±0.12 <sup>h</sup>	64.46±0.11 <sup>d</sup>	58.66±0.09 <sup>e</sup>
		50:50	68.25±0.19 <sup>g</sup>	29.81±0.09 <sup>d</sup>	42.31±0.03 <sup>e</sup>
		75:25	24.50±0.10 <sup>ba</sup>	23.8±0.03 <sup>cd</sup>	37.05±0.06 <sup>d</sup>
		Control*			
	<i>Virginia</i>	25:75	54.82±0.10 <sup>h</sup>	42.86±0.02 <sup>d</sup>	77.36±0.03 <sup>a</sup>
		50:50	19.21±0.15 <sup>f</sup>	14.17±0.03 <sup>d</sup>	57.29±0.07 <sup>d</sup>
		75:25	4.81±0.17 <sup>c</sup>	9.45±0.09 <sup>bc</sup>	38.49±0.05 <sup>c</sup>
	<i>ENA ARI601</i>	25:75	54.20±0.14 <sup>gh</sup>	49.67±0.05 <sup>d</sup>	60.07±0.07 <sup>b</sup>
		50:50	40.31±0.11 <sup>d</sup>	22.35±0.09 <sup>d</sup>	42.51±0.05 <sup>e</sup>
75:25		26.45±0.15 <sup>c</sup>	10.62±0.13 <sup>cd</sup>	37.62±0.03 <sup>d</sup>	

a-h Different letters at the same line indicate significant differences between samples ( $p < 0.05$ ); <sup>1</sup>Data are expressed as the mean  $\pm$  standard deviation of the mean, dry weight; 3 replicates; <sup>2</sup>radical scavenging activity 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazine; <sup>3</sup>Ferric Reducing Antioxidant Power;

The mean value found for FRAP was 64.46 - 9.45  $\mu\text{mol FeII/g}$  in the control and blends of the blends of Rubi, Virginia, and ENA AR 1601 cultivars, where the mean between this values was approximately 9 times higher compared to the mean 3.25  $\mu\text{mol FeII/g}$  found in a study by Niu et al. (2013), in which the authors performed a study comparing eleven red rice samples, harvested in the same period of the year, where the first harvest was in 2006 and other in 2007. The authors attributed the difference to the capacity of ferric reduction to the weather and soil variation, where the samples were collected.

On the other hand, the mean 32.11  $\mu\text{mol FeII/g}$  of reducing power of iron in the present study was lower than the one 85.03  $\mu\text{mol FeII/g}$  found, in one of the samples in the study of Sompong et al. (2011), therefore, it corroborates the hypotheses that the concentration of the bioactive compounds of vegetables is totally dependent on environmental conditions.

As per the determination of the Phenolic compounds, Virginia sample demonstrated values slightly higher compared to the other cultivars (Table 2). Thuengtung et al., (2018) reported

that the bioactive compounds from pigmented cereals, such as the red rice, enhances positively the nutritional value of the blends using two or more associated cereals (e.g. wheat, rice).

For the determination of the Phenolic compounds, Virginia sample showed values slightly bigger compared to the other cultivars (Table 2). When observing the results of the phenolic compounds in the studied samples, it was possible to verify that the higher DWS the lesser the concentration of phenolics between the blends. This behavior was expected, once the highest concentrations of phenolics are originated from rice. Due to this fact, the literature report numerous studies substituting DWS to flour from different vegetable, such as green banana flour (Martinez et al., 2014), bean flour (Infante et al., 2010), barley flour (Verardo et al., 2011), chickpeas (Fares and Menga, 2012) and sorgo (Khan et al., 2013), aiming to develop the functional characteristics of these blends.

Khan and collaborates (2013) when evaluating the blend of flour of white and red sorghum to DWS to the elaboration of pasta observed the equal behavior to this present study. The higher the pigmented cereal proportion to the blend the higher was the total phenolic. Besides, they observed the value of 71.20 mmol GAE/g in the red sorgo, being this result 7.73 times bigger to the DWS when the flour was analyzed separated.

The majority of phytochemicals in rice is present in the bran and in the embryo fraction (Shao et al., 2018). It is believed that whole grains contribute positively to human health since these compounds can influence biological function individually or synergetically. There are lots of studies that have demonstrated that the consumption of whole grains of pigmented rice is associated with the reduction of risk for chronic non communicable disease, such a cardiovascular, obesity, diabetes type II and some types of cancer (Mattei et al., 2015; Shao and Bao, 2015).

The major bioactive compound present in red rice is proanthocyanin, which is the principal subgroup of flavonoids (Chen et al., 2016). According to Correia (2014), these compounds can present varied concentration between vegetables due to soil condition, the genetic material, seasonality and climate conditions. These conditions justify this variation in the antioxidant capacity percentage observed in the present study when compared to other reports.

### **3.3.Rheological Characteristics**

#### **3.3.1. Farinograph analysis**

In Table 3 it is presented the results of 9 blends and the control. For all the studied samples, it was observed that by substituting DWS to WRRF a reduction in the water absorption was obtained (Table 3), which corresponds to the necessary water quantity to be added to the mixture, in the way that it acquires standard consistency until it reaches the line of 500 FU. For all the

blends it was possible to verify that the higher the WRRF ratio the lower the water absorption (Table 3). The reduction in water absorption is probably related to the dilution of gluten proteins, even with the increase in fiber.

**Table 3.** Rheological Characteristics of Semolina wheat Durum (DWS) and the Whole red rice flour (WRRF).

<b><i>Blends (WDS:WRRF<sup>1</sup>)</i></b>										
	<b><i>Rubi</i></b>				<b><i>Virginia</i></b>			<b><i>ENA AR1601</i></b>		
<b>Farinograph</b>	<b>WDS</b>	<b>75:25</b>	<b>50:50</b>	<b>25:75</b>	<b>75:25</b>	<b>50:50</b>	<b>25:75</b>	<b>75:25</b>	<b>50:50</b>	<b>25:75</b>
WA (%)	60.4	53.7	49.3	-	52.2	51.2	-	51.3	47.3	-
DDT (min)	6.6	8.9	15.2	-	7.4	16.4	-	5.4	20.1	-
S (min)	24.1	12.7	27.6	-	16.4	20.7	-	16.9	37.8	-
MTI (FU)	25	19	8	-	11	7	-	22	10	-
<b>Extensograph</b>	<b>WDS</b>	<b>75:25</b>	<b>50:50</b>	<b>25:75</b>	<b>75:25</b>	<b>50:50</b>	<b>25:75</b>	<b>75:25</b>	<b>50:50</b>	<b>25:75</b>
<b>Time 45':</b>										
R(UE)	610	394	-	-	428	-	-	385	-	-
R <sub>m</sub> (UE)	657	395	-	-	433	-	-	386	-	-
E(mn)	113	87	-	-	100	-	-	89	-	-
D(UE)/mn	5.8	4.5	-	-	4.3	-	-	4.3	-	-
<b>Time 90':</b>										
R(UE)	792	146	-	-	472	-	-	393	-	-
R <sub>m</sub> (UE)	825	174	-	-	480	-	-	422	-	-
E(mn)	100	33	-	-	92	-	-	67	-	-
D(UE)/mn	8.3	9.8	-	-	5.2	-	-	6.2	-	-
<b>Time 135':</b>										

R(UE)	356	430	-		396	-	-	290	-	-
R <sub>m</sub> (UE)	1033	448	-	-	397	-	-	366	-	-
E(mn)	73	69	-	-	57	-	-	59	-	-
D(UE)/mn	17.9	6.5	-	-	4.5	-	-	6.2	-	-

---

WA (water absorption); DDT (development time); S (stability); MTI (mass tolerance index); FU: Farinograph Units; <sup>1</sup>WRRF: Whole Red Rice Flour; DWS Durum Wheat Semolina; (EU): Extensograph Units; R: elasticity resistance or tension; R<sub>m</sub>: maximum resistance; E: Extensibility; D: Proportional number.

Regarding dough development time (DDT), it can be seen that the higher the concentration of WRRF the higher the DDT (Table 3). The increase in DDT can be explained by the lower quantity of water available for gluten development and by the presence of fibers in the flours from the whole grains, that alter dough consistency and may also retard dough development (Koca and Anil, 2007).

Dough stability (S) is a parameter that indicates how long a dough maintains its consistency under mechanical shear, where higher stability suggests a stronger flour. The stability of the dough varied from 12.7 to 37.8 min (Table 3) among the blends studied. According to ICTA (2018), these values would characterize a very strong flour, ideal for nonfermented pasta production. Nevertheless, it must be taken into account that not only the effects of proteins are being evaluated.

The lowest values of stability were observed in the ratio 75:25 in all the studied cultivars (Table 2), since it was a decrease in the linkage force between the proteins gliadin and glutenin, resulting from the substitution of DWS by WRRF, (Table 3). This behavior can be explained since the elaboration of the blends were performed without previous treatment.

The lowest stability was also observed by Ahmed et al. (2013), when they evaluated the enrichment of wheat flour with insoluble fiber at 5 and 10 %, indicating less resistance to kneading and less technological quality since this pasta shows to be brittle and less cohesive.

The stability of mass is a parameter that indicates flour forces under mechanical shearing where higher stability suggests a stronger flour. The stability of the pasta varied from 12.7 to 37.8 min (table 3), according to ICTA (2018), these values characterize a really strong flour, ideal for the nonfermented pasta production.

The mixing tolerance index (MTI) results, shown in Table 3 demonstrated fewer values as the proportion of WRRF increases compared to control. Ahmed et al. (2013) suggest that this fact is due to the possible weakening of gliadin, a protein responsible for cohesiveness, through the addition of crescent WRRF in the samples from this study.

### **3.3.2. Extensograph**

The results from the extensograph assay of DWS and the blends in the proportion of 25 % of WRRF are expressed in Table 3, where they were evaluated for the following parameters: resistance to extension, maximum resistance, extensibility and ratio number in extensograph units (EU). During the assay, all pasta demonstrated a brittle behavior not allowing rounding and molding, a mandatory procedure during the analyze. This is the reason why it was not

possible to evaluate the extensograph behavior for blends with more 25 % of WRRF when replacing DWS.

The extensograph results presented in Table 3 demonstrated that the extensibility, the resistance to pasta and necessary energy to disrupt the dough strength after 45 min was reduced as the level of DWS decreased while being replaced by WRRF. This behavior can be justified, since the increase of WRRF promotes a bigger proportion of fiber, when it represented a whole cereal. Besides, the gluten absence, results in weak gluten network reducing the dough extensibility and elasticity (Wandee et al., 2015).

In dough using wheat, gluten is the major constituent, which is responsible for dough structure, as well as the characteristics, such as extensibility, elasticity or extension resistance (Torbica et al., 2010). Wang et al. (2002) reported that fiber that interacts with the protein, acting like weaknesses spots, contributing to the physical disruption of gluten matrix and, consequently, impairing the dough expansion.

### **3.3.3. RVA**

The pasta viscosity profile of ENA AR1601, Virginia and Rubi blends are presented in Table 4. It shows that the peak viscosity between the studied blends varied between 3062-3243 cP; 2972-3017 cP; 1916-2674 cP, for Rubi, Virginia and ENA AR1601 respectively. The blends with higher WRRF to DWS alter directly the viscosity between the blends. According to Falade and Christopher (2015), starch and rice flours show specific characteristics of higher pasta viscosity, with a subsequent increase in the final viscosity (Table 4).



**Table 4.** Viscosity profile of blends Semolina wheat Durum (DWS) and the Whole red rice flour (WRRF)

	<b>Blends (WRRF:DWS)<sup>1</sup></b>	<b>Peak Viscosity</b>	<b>Breakdown</b>	<b>Setback (cP)</b>	<b>Final Viscosity</b>	<b>Pasta Temperature</b>	
		<b>(cP)</b>	<b>(cP)</b>		<b>(cP)</b>	<b>(°C)</b>	
<b>Cultivar</b>	<b>Rubi</b>	75:25	3243±17.61 <sup>ab</sup>	1339±13.07 <sup>a</sup>	2166±13.54 <sup>de</sup>	4071±8.52 <sup>de</sup>	81±0.46 <sup>a</sup>
		50:50	3164±15.90 <sup>abc</sup>	1236±66.36 <sup>b</sup>	2088±28.00 <sup>ef</sup>	4016±10.33 <sup>de</sup>	80±0.49 <sup>a</sup>
		25:75	3062±18.12 <sup>bcde</sup>	1040±14.95 <sup>c</sup>	1995±113.54 <sup>f</sup>	3977±14.95 <sup>e</sup>	81±1.70 <sup>a</sup>
	<b>Virginia</b>	75:25	3017±22.03 <sup>cde</sup>	1010±22.00 <sup>cd</sup>	2360±24.82 <sup>b</sup>	4368±17.82 <sup>abc</sup>	81±0.08 <sup>a</sup>
		50:50	3090±63.37 <sup>bcd</sup>	925±140.90 <sup>def</sup>	2171±110.56 <sup>de</sup>	4335±15.88 <sup>bc</sup>	81±0.90 <sup>a</sup>
		25:75	2972±23.66 <sup>de</sup>	918±18.55 <sup>cde</sup>	2128±23.430 <sup>e</sup>	4112±19.97 <sup>de</sup>	80±0.44 <sup>a</sup>
	<b>ENA AR1601</b>	75:25	2664±1.41 <sup>f</sup>	822±13.43 <sup>f</sup>	2627±2.82 <sup>a</sup>	4479±91.66 <sup>ab</sup>	82±0,07 <sup>a</sup>
		50:50	2652±102.53 <sup>f</sup>	793±38,89 <sup>f</sup>	2326±45.25 <sup>bc</sup>	4185±10.10 <sup>cd</sup>	82±0,02 <sup>a</sup>
		25:75	1916±15.01 <sup>ef</sup>	708±52.57 <sup>ef</sup>	2186±47.14 <sup>cde</sup>	4102±54.72 <sup>de</sup>	81±0,50 <sup>a</sup>

a-e Different letters at the same line indicate significant differences between samples (p<0.05);

Wu and collaborators (2011) observed that the higher the final viscosity the higher the retrogradation since after cooling down the leached amylose tends to crystallize, which can justify the results found in the study. The samples that showed higher setback also were the blends with the greatest proportion of WRRF.

In addition, Demiate and Kotovicz (2011) observed that the greater the concentration of amylose the bigger the setback rate. In another study, Brites and collaborators (2019), when evaluating the Rheological behavior of wheat flour observed 19 % of amylose. On the other hand Zhu et al., (2011) when studying 4 samples of non-pigmented rice verified amylose concentration between 17-55 %, that can justify the bigger rates of setback between the studied blends.

The breakdown value is related to the resistance of starch granules to starch shearing, however, the higher the breakdown values the lower the starch capacity to stand for heating during shearing process (Balet et al., 2019).

The bigger values between the studied samples were subjected to the samples with higher WRRF compared to DWS (Table 4), Therefore, the blends with a higher ratio of DWS showed higher resistance to shearing, thus developed more viscous mixture during a bigger time. As per the pasta temperature, it was observed a variation between 80.41 to 82.3 (Table 4) for all the studied samples, which was slightly different from those evaluated by Falade and Christopher (2015), when they studied the rheological behavior of six flours and starches from Nigerian rice.

#### **4. CONCLUSION**

It is concluded that the incorporation of the whole red rice to the three different DWS was capable of contributing to nutritional values effectively. Regarding the antioxidant capacity method for DPPH, FRAP and total phenolics it showed great potential and it was pointed out that the concentration of DWS and the concentration of phenolics are inversely proportional, which means that higher concentration of the DWS decreases the antioxidant activity. Furthermore, the substitution of 50 % of WRRF to DWS showed a desirable rheological behavior either for the extensibility or elasticity, demonstrating the viability for the elaboration of pasta from the studied blends.

#### **Acknowledgments**

The authors gratefully thank Federal Rural University of Rio de Janeiro - UFRRJ and federal University of Campinas – UNICAMP for all the support given to this study. The authors

would also like to thank the “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico” (CNPq) for the grants award.

## 5. REFERENCES

- Ahmed, J., Almusallam, A., Al-Hooti, S. N., 2013. Isolation, and characterization of insoluble date (*Phoenix dactylifera* L.) fibers. *LWT - Food Sci. Technol.*, 50 (2), 414 - 419.
- American Association of Cereal Chemists - AACC., 2010. *Approved Methods of American Association of Cereal Chemists*, 9 ed. (1 e 2) St. Paul: Approved Methods Committee.
- ASEAN. *Manual of Food Analysis.*, 2011. Regional Centre of ASEAN Network of Food Data System. Institute of Nutrition, Mahidol University. (1th ed). Thailand.
- Association of Official Analytical Chemists. *Official methods of analysis of the AOAC.*, 2010. (18th) Gaithersburg, Maryland.
- Balet, S., Guelpa, A., Fox, G., Manley, M., 2019. Rapid Visco Analyser (RVA) as a Tool for Measuring Starch-Related Physicochemical Properties in Cereals: a Review. *Food Analytical Methods*, 1-17.
- Brasil, Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária., 2005. Resolução – (RDC Nº 263, de 22 de setembro de 2005).
- Correia, D. C. S., O’Connell, M., Irwin, M. L., Henderson, K., 2014. Pairing Vegetables with a Liked Food and Visually Appealing Presentation: Promising Strategies for Increasing Vegetable Consumption among Preschoolers. *Child. Obes.*, 10(1), 10-27.
- Chen, M. H., Mcclung, A. M., Bergman, C. J., 2016. Concentrations of oligomers and polymers of proanthocyanidins in red and purple rice bran and their relationships to total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity and whole grain color. *Food Chem.*, 208, 279-287.
- Demiante, I. M. and Kotovicz, V., 2011. Cassava starch in the Brazilian food industry. *Food Sci. Technol.*, 31 (2),1-10.
- Falade, K. O. and Chritopher, A. S., 2015. Physical, functional, pasting and thermal properties of flours and starches of six Nigerian rice cultivars. *Food Hydrocoll.*, (44):478-490.
- Fares, C. and Menga, V., 2012. Effects of toasting on the carbohydrate profile and antioxidant properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour added to durum wheat pasta. *Food Chem.*, 131(4),1140-1148.
- Fernandes, A. F., Pereira, J., Germani, R., Oiano-Neto, J., 2008. Efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de casca de batata (*Solanum Tuberosum* Lineu). *Food Sci. Technol.*, (28), 56-65.

ICTA – Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos. Avaliação da Qualidade Tecnológica, Industrial da Farinha de Trigo. 2018. <https://www.ufrgs.br/napead/projetos/avaliacao-farinha-trigo/2a.php> (accessed 25 May 2019).

Infante, J. A. G., Guzman, N. E., Laredo, R. F. G., Martínez, L. A., Corzo, N., Perez, L. A. B., Torres, L. M., Alvares, L. E., 2010. Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem.*, 114(4), 1544-1549.

International Association for Cereal Science and Technology – ICC (1995). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. Schwechat, Austria.

Khan, I., Yousif, A., Johnson, S. K., Gamlath, S., 2013. Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta. *Food Res. Int.*, 54, 578-586.

Koca, A. F. and Anil, M., 2007. Effect of flaxseed and wheat flour blends on dough rheology and bread quality. *J. Sci. Food Agric.*, 87 (6), 1172-1175.

Kraithong, S., Lee, S., Rawdkuen, S., 2018. Physicochemical and functional properties of Thai organic rice flour. *J. Cereal Sci.* 79, 259-266.

Marti, A., Seetharaman, K., Pagani, M. A., 2010. Rice based pasta: A comparison between conventional pasta making and extrusion-cooking. *J. Cereal Sci.* 52, 404-409.

Martinez, M. M., Calviño, A., Rosell, C. M., Gómez, M., 2014. Effect of Different Extrusion Treatments and Particle Size Distribution on the Physicochemical Properties of Rice Flour. *Food Bioproc Tech.*, 7 (9), 2657-2665.

Mattei, J., Malik, V., Wedick, N. M., Hu, F. B., Spiegelman, D., Willett, W. C., Campos, H., 2015. Reducing the global burden of type 2 diabetes by improving the quality of staple foods: The Global Nutrition and Epidemiologic Transition Initiative. *Globalization and Health*, 11(23), 1-20.

Niu, U., Gao, B., Slavin, M., Xiaowei, Z., Yang, F., Bao, J., Shi, H., Xie, Z., Yu, L. L., 2013. Phytochemical compositions, and antioxidant and anti-inflammatory properties of twenty-two red rice samples grown in Zhejiang. *LWT - Food Sci. Technol.*, 54 (2), 521-527.

Odebode, F. D., Ekeleme, O. T., Ijarotimi, O. S., Malomo, S. A., Odowu, A. O., Badejo, A. A., Adebayo, I. A., Fagbemi, T. N., 2018. Nutritional composition, antidiabetic and antidiabetic potentials of flour blends made from unripe plantain, soybean cake, and rice bran. *J. Food Biochem.* 42 (4), 123-133.

Paiva, F. F., Vanier, N. L., Berrios, J. J., Pan, J., Villanova, F. A., Takeoka, G., Elias, M. C., 2014. Physicochemical and nutritional properties of pigmented rice subjected to different degrees of milling. *J. Food Compos. Anal.*, 35, 10-17.

Pourali, O., Asghari, F. S., Yoshida, H., 2010. Production of phenolic compounds from rice bran biomass under subcritical water conditions. *Chem Eng J.* 160 (15), 259-266.

Querttner, C. D., 2000. Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *J. Ethnopharmacol.*, 72, 35-42.

Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Jiménez, J, P, Calixto, F. S., Filho Mancini, J., 2010. Bioactive compounds and antioxidant capacities of eighteen non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chem.*, 121(4), 996-1002.

Santos, J., Silva, G., Santos, J.A.B., JUNIOR, A.M.O., 2010. Processamento e avaliação da estabilidade da farinha de banana verde. *Exacta*, 8, 219-224.

Shao, Y. and Bao, J., 2015. Polyphenols in whole rice grain: Genetic diversity and health benefits. *Food Chem.*, 180, 86-97.

Shao, Y., Hu, Z., Yu, Y., Mou, R., Zhu, Z. Beta, T., 2018. Phenolic acids, anthocyanins, proanthocyanidins, antioxidant activity, minerals and their correlations in non-pigmented, red, and black rice. *Food Chem.*, 239, 733-741.

Scheuer, P. M., Francisco, A., Miranda, M. Z., Limberger, V. M., 2011. Trigo: Características e utilização na panificação. *Rev. Bra. Prod. Agroin.*, 13, 211-222.

Somaratne, G. M., Prasantha, B. D. R., Dunuwila, G. R., Chandrasekara A., Wijesinghe D. G. N. G., Gunasekara, D. C. S., 2017. Effect of polishing on glycemic index and antioxidant properties of red and white basmati rice. *Food Chem.* 237(15), 716-723.

Sompong, R., Siebenhandl, E., Martin L., Berghofer, E., 2011. Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. *Food Chem*, 124(1), 132-140.

Sweeney, M. T., Thomson, M. J., Pfeil, B. E., Mccouch, S., 2006. Caught Red-Handed: Rc Encodes a Basic Helix-Loop-Helix Protein Conditioning Red Pericarp in Rice. *The Plant Cell*, 18, 283-294.

Thuengtung, s., Niwat, C.; Tamura, M. and Ogawa, Y., 2018. In vitro examination of starch digestibility and changes in antioxidant activities of selected cooked pigmented rice. *Food Biosci.* 23, 129-136, 2018.

Torbica, A., Hadnadev, M., Dapcevic, T., 2010. Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocoll.* 24, 626-632.

Vargas, G. C., Costa, T. M. H., Rios, A. O., Flôres, S. H., 2017. Comparative study on the properties of films based on red rice (*Oryza glaberrima*) flour and starch. *Food Hydrocoll.* 65, 96-106.

- Verardo, V., Gomez C. A. M., Messia, M. C., Marconi, E., Caboni, M. F., 2011. Development of functional spaghetti enriched in bioactive compounds using barley coarse fraction obtained by air classification. *J. Agric. Food Chem.*, 59(17), 9127–9134.
- Walter, M., Marchezan, E., Avila, L. A., 2008. Arroz: composição e características nutricionais. *Ciênc. Rural*, 38 (4), 1184-1192.
- Wandee, Y., Uttapap, D., Puncha, A. S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Wetprasit, N., 2015. Quality assessment of noodles made from blends of rice flour and canna starch. *Food Chem*, 179(15), 85-93.
- Wang, J., Rosell, C. M., Barber, C. B., 2002. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chem*, 79(2), 221-226.
- Wang, S., Li, P., Zhang, T., Yu, J., Wang, S., Copeland, L., 2017. In vitro starch digestibility of rice flour is not affected by method of cooking. *LWT- Food Sci. Technol.*, 84, 536-543.
- Wu, L., Ek, M., Song, M., Sichen, D., 2011. The Effect of Solid Particles on Liquid Viscosity. *Steel Res. Int.*, 27, 45-56.
- Zavarese, E. R., Storck, C. R., Castro, L. A. S., Schirmer, M. A., Dias, A. R. G., 2010. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. *Food Chem*, 121(15), 358-365.
- Zhu, L. J., Liu, Q. Q., Wilsn, J. D., Gu, M. H., Shi, Y. C., 2011. Digestibility and physico-chemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) flours and starches differing in amylose content. *Carbohydrate Polymers*, 86, 1751-1759.

**CAPÍTULO IV - A alta pressão afeta as propriedades químicas, funcionais e a atividade enzimática em farinha de arroz integral vermelho**

**Manuscrito em preparação para ser enviado ao Journal of Food Science and Technology**

## **A alta pressão afeta as propriedades químicas, funcionais e a atividade enzimática em farinha integral de arroz vermelho**

Andréa dos Anjos Silva<sup>a</sup>; João Paulo de Menezes<sup>a</sup>; Marcus Vinicius da Silva Ferreira<sup>a</sup>; Douglas Guedes<sup>b</sup> e Amauri Rosenthal<sup>a,c</sup>; Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Instituto de Tecnologia (IT), Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA), Km 07, Zona Rural, BR-465, Seropédica - RJ, 23890-000.

<sup>b</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Escola de Química (EQ), Departamento de Microbiologia de Petróleo (DMP), Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 21941-909.

<sup>c</sup>Embrapa Agroindústria de Alimentos, Av. das Américas, 29501 - Guaratiba, Rio de Janeiro - RJ, 23020-470.

### **RESUMO**

O arroz (*Oryza sativa* L.) integral é um cereal amplamente consumido pela população mundial e pode apresentar diferentes colorações de cariopse que é constituída de fibras e inúmeros compostos bioativos que desempenham benefícios a saúde humana. Entretanto, esses cereais integrais apresentam em sua composição enzimas amilolíticas, que atuam modificando a estrutura do amido e as lipases provocam ranço. Nesse caso, o uso do Tratamento com a Alta Pressão Hidrostática (TAP) pode ser uma alternativa aos processamentos tradicionais, por sua capacidade de ativar ou inativar enzimas, uma vez que, são as principais responsáveis por alterações indesejáveis das características originais de produtos vegetais. Com o objetivo de avaliar a o efeito do TAP em farinha de duas cultivar de arroz vermelho, adotaram-se as variáveis de pressão de 300, 400 e 500 MPa por 3 e 5 minutos. A utilização desse método foi capaz de aumentar a quantidade dos compostos fenólicos, uma vez que a alta pressão provocou a ruptura nos tecidos vegetais, em especial na amostra da cultivar Rubi que teve onde, quanto maior a pressão aplicada, mais a biodisponibilidade desses compostos. Os resultados mostraram também que o uso do TAP por um período mais longo provocou uma maior redução da atividade da enzima lipase, o que pode resultar na diminuição do ranço oxidativo. Além desses fatores, a utilização da alta pressão fez com que a quantidade de amido total reduzisse, uma vez que esse tratamento



causou um melhor desempenho da  $\alpha$ -amilase em todas as amostras estudadas. Diante das condições experimentais, o tratamento com a alta pressão pode ser uma técnica potencialmente aplicável em cereais mantendo propriedades funcionais e nutricionais.

## 1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um cereal que representa uma das culturas mais importantes no mundo e base da alimentação de quase 1/3 da população mundial (HU et al., 2017; MENG et al., 2019; TIAN et al., 2018).

Cerca de 80% da estrutura do grão de arroz na sua forma integral corresponde ao endosperma, composto majoritariamente por amido, enquanto o restante do peso, é composto pela cariopse, pálea e lema, frações denominadas farelo (FELIX, ROMERO, GUERRERO, 2016).

Apesar do elevado teor de carboidratos, o arroz integral também apresenta fibras, proteínas, sais minerais (principalmente fósforo, ferro e cálcio) e vitaminas do complexo B, como a B1 (tiamina), B2 (riboflavina) e B3 (niacina) que são capazes de contribuir com a saúde dos indivíduos (FACCIN et al., 2009; SOMPONG et al., 2011; GUNARATNE et al., 2013).

A maior parte do arroz cultivado e consumido em todo o mundo é o polido, mas algumas variedades produzem grãos com pericarpo marrom, vermelho, negro ou roxo (JENG et al., 2012; LI et al., 2018). Os fitoquímicos responsáveis pela pigmentação do pericarpo são principalmente as antocianinas e proantocinoidinas, que atuam diminuindo o estresse oxidativo *in vivo* (CALLCOTT et al., 2018; DAS e BHATTACHARYA, 2019). Além disso, estudos *in vivo* demonstram que o consumo de arroz pigmentado está associado à redução do risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares, obesidade, diabetes tipo II e alguns tipos de câncer (MATTEI et al., 2015; SHAO e BAO, 2015; CALCOTT et al., 2018).

No caso do arroz vermelho, sua coloração é devido ao acúmulo no pericarpio de proantocianidinas, que são taninos condensados, importante subgrupo de flavonóides capazes de modular as respostas inflamatórias (CHEN et al., 2018).

No pericarpo do arroz vermelho também há fração lipídica juntamente com enzimas, lipases que atuam hidrolisando ácidos graxos e as lipoxigenases que catalisam reação de oxidação com formação de peróxidos (GODOY et al., 2018). Os ácidos graxos oxidados pelas lipoxigenases ou por autooxidação formam compostos voláteis e sabor amargo ao cereal (CHEN, BERGMAN e MC CLUNG, 2019), comprometendo sua qualidade sensorial.

A tecnologia de alta pressão (TAP) é um processamento não térmico que tem sido amplamente aplicada nas indústrias de alimentos, incluindo produtos cárneos, laticínios, amido, frutos do mar e sucos de fruta (YANG et al., 2017; KHAN et al., 2018). Estudos apontam que a TAP pode causar alterações estruturais no alimento, além da inativação de microrganismos e algumas enzimas que provocam a rancidez oxidativa em arroz pigmentados, além de facilitar a extração de compostos bioativos. (KIM et al., 2015; LEE et al., 2018; WANG et al., 2018; HUANG et al., 2020).

Essa tecnologia é aplicada aos alimentos a fim de se obter esterilização, alteração da atividade enzimática, modificação na conformação molecular da célula e aceleração de reações bioquímicas, onde a pressão é transmitida de modo uniforme independente do volume da amostra (KNORR et al., 2006).

Assim, nesse estudo objetivou-se a avaliar efeito de diferentes condições de TAP no teor de amido total, na atividade enzimática, na capacidade antioxidante e no teor de compostos bioativos de farinha de duas cultivar de arroz vermelho.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Material**

As cultivar de arroz vermelho (*Oryza Sativa* L.) Rubi e ENA AR1601 foram adquiridas no Instituto de Agronomia (IA) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, Rio de Janeiro (localizada em latitude coordenadas -22.764596 e longitude - 43.688343). Após a semeadura das cultivar estudadas, a colheita foi realizada manualmente após 120 dias. Os grãos colhidos com cerca de 20% de umidade foram submetidos à secagem natural ao sol até atingirem a umidade de 13%. Após a secagem, os grãos foram submetidos ao descascamento realizado com beneficiadora (VT-97, Máquinas Suzuki S/A, Sta. Cruz do Rio Pardo, São Paulo) de arroz, para obtenção de grãos do sub-grupo integral com posterior moagem em moinho de martelo (Perten Instruments® AB, Huddingen, Sweden)., para obtenção das farinhas.

### **2.2. Tratamento de alta pressão (TAP)**

O TAP foi realizado conforme descrito em Bisconsin-Junior et al., (2014), com adaptações no tempo de tratamento baseados em ensaios anteriores com arroz negro do Grupo de pesquisa. As farinhas de arroz vermelho da cultivar Rubi (AVPR) e ENA AR1601 (AVPE) foram empacotadas em embalagens de politereftalato de etileno (PET flexíveis), colocadas em recipiente

de pressão de 500 MPa e submetidas ao TAP no Stansted Food Lab 9000 (Stansted Fluid Power, S-FL-850-9-W, Reino Unido). Este equipamento possui pressão máxima de operação de 900 MPa e uma temperatura com uma faixa de 28 a 43°C durante a compressão. A temperatura foi controlada por circulação de líquido na parte exterior ligado a um sistema de aquecimento-resfriamento. O fluido de transferência de pressão utilizado foi o etanol 70% (v/v). A compressão foi de 7 MPa.s<sup>-1</sup> e o tempo de decompressão foi menor que 10 segundos. As amostras de AVPR e AVPE submetidas as pressões de 0,1 (controle), 300, 400 e 500 MPa por 3 e 5 minutos.

### **2.3. Análises físico-químicas e das propriedades funcionais da farinha de arroz vermelho pressurizado (AVP)**

#### **2.3.1. Determinação de amido total**

O percentual (%) de amido total (AT) nas amostras de arroz vermelho pressurizado das cultivar estudadas foi determinado por hidrólise ácida, seguida da quantificação conforme por Lane & Enyon adaptada (ASEAN, 2011).

#### **2.3.2. Determinação das atividades enzimática nas amostras de arroz vermelho pressurizadas**

##### **2.3.2.1. Atividade de $\alpha$ -amilase (AA)**

Para a determinação da atividade de  $\alpha$ -amilase (AA) conforme descrito por ASANTE et al. (2013) quando aproximadamente 1,0 g de amostra de farinha de AVPR e AVPE foi misturada com 10 mL de gelo em solução de cloreto de cálcio 0,001 molL<sup>-1</sup> e a mistura foi incubada a 4 °C durante um período de 18 h. Esta mistura foi centrifugada a 3000 rpm durante 20 min e o sobrenadante obtido então utilizado como extrato enzimático para análise de  $\alpha$ -amilase.

A atividade de  $\alpha$ -amilase foi determinada medindo a quantidade de açúcares redutores produzido por hidrólise de amido utilizando o método descrito por SOMOGYI (1951). O extrato de enzima foi incubado previamente a 70 °C por 15 min, então 1,0 mL do extrato e 1,0 mL de solução padrão de amido a 1% (m/v) previamente preparada foram misturados e incubadas a 27 °C durante 15 min e então aquecidos em água fervente por 5 min.

Uma unidade de atividade enzimática (U) foi definida como a quantidade de micromol de glicose liberado por minuto sob as condições de teste e calculado utilizando a equação 1, onde G

corresponde a mg. mL<sup>-1</sup> em termos de glicose, M a massa molecular da glicose e T o tempo de hidrólise em minutos. A atividade foi expressa em (U/ mL) e o tempo em minuto.

$$Atv\left(\frac{U}{mL}\right) = \frac{G \cdot 10^3}{(M \cdot T)^2} \quad (\text{Equação 01})$$

#### **2.3.2.2. Atividade de lipase (AL)**

A atividade lipase (AL) nas amostras de farinha de AVPR e AVPE foi determinada segundo o método descrito por QIAN et al., (2014), onde foram pesados 2,0 g de amostra em erlenmeyer e adicionados 1,0 mL de azeite de oliva extra virgem como substrato, 5 mL de água destilada, 5 mL de tampão fosfato pH 7,4, 3 gotas de tolueno. A mistura foi incubada a 30°C durante 18 h. Após este período foram acrescentados 50 mL de solução etanol e éter de petróleo na proporção de 4:1, então o sistema permaneceu 5 min em repouso, logo em seguida foi realizada a titulação da amostra com NaOH 0,5M e seu resultado obtido através da Equação 02 e expresso em mg/g. Onde V1 é o volume de titulante, V0 é o volume de titulante na prova em branco, m a massa de amostra e M a umidade da amostra.

$$AL\left(\frac{mg}{g}\right) = \frac{(V1-V0) \cdot 0,540,01}{m \cdot (100-M)} \cdot \left(\frac{60}{20}\right) \quad (\text{Equação 02})$$

#### **2.3.2.3. Preparação dos extratos etanólicos**

A capacidade antioxidante pelos métodos de DPPH e de FRAP, o teor de compostos fenólicos totais e de proantocianoidinas totais das farinhas AVPR e AVPE foram determinados em extratos etanólicos em água (80% v/v), segundo a metodologia de XU e CHANG (2007).

#### **2.3.2.4. Determinação da capacidade antioxidante pelos métodos de FRAP e DPPH**

A determinação da capacidade antioxidante total das amostras de farinha de AVPR e AVPE foi determinada pela captura do radical orgânico DPPH (2,2-definil-1-picrilidrazil) e de pela Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) segundo RUFINO et al. (2010). Os valores da capacidade antioxidante foram expressos em µM Trolox 100g/amostra em base seca.

#### **2.3.2.5. Determinação de compostos fenólicos totais**

A determinação de compostos fenólicos totais (CFT) nas farinhas de AVPR e AVPE foi determinada conforme DELEU et al., (2000) com modificações utilizando 1 mL da solução de Folin-Ciocalteu diluída em água destilada (1:10) a 1 mL do extrato etanólico aquoso (80% v/v),

respectivamente fazendo-se a leitura no espectrofotômetro a 725 nm. Os resultados foram expressos em mg equivalentes de ácido gálico (GAE)/g amostra em base seca.

#### **2.3.2.6.Determinação do teor proantocianidinas totais**

A determinação das proantocianidinas das farinhas de AVPR e AVPE foi realizada de acordo com MIN, MC CLUNG e CHEN (2010), onde 0,50 mL do extrato etanólico 80% foram adicionadas soluções de butanol-HCl (95:5, v/v) e sulfatoférrico amoniacal-HCl (2% de sulfato férrico amoniacal em HCl 2N), que, quando aquecidas ( $100\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) por 60 minutos, formam complexos de coloração avermelhada. Após o resfriamento, em temperatura ambiente, foi realizada leitura da absorvância no comprimento de onda de 550 nm em espectrofotômetro. O teor de proantocianidinas totais foi expresso em mg catequina equivalente (CE)/g amostra seca.

#### **2.4.Análise estatística**

Todas as análises foram realizadas em triplicatas e os resultados foram expressos em valores médios  $\pm$  desvio padrão. A análise estatística foi realizada por meio da análise de variância (ANOVA) e teste Tukey ao nível de 5% de significância, para comparação das médias. Para a avaliação dos dados foi utilizado o software XLSTAT (versão Pro 7.5 by Addinsoft).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1.Determinação do Amido Total e atividade enzimática nas amostras de farinha de arroz vermelho**

Os resultados da determinação de amido total e da atividade enzimática das amostras de farinha de AVPR e de AVPE estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Teor de amido total e atividade da  $\alpha$ -amilase (AA) e lipase (AL) em amostras de farinha de arroz vermelho pressurizado submetidas a diferentes intensidades de pressão e tempo

Farinhas	Pressão aplicada (MPa)	Tempo de Pressurização (min)	Amido Total (%)	AA (U/ml)	AL (mg de AG /g amostra)
AVPR	Controle	0	51,55±1,54 <sup>a</sup>	71,41±2,59 <sup>e</sup>	23,11±0,42 <sup>a</sup>
	300	3	50,22±0,76 <sup>ab</sup>	196,86±6,66 <sup>c</sup>	18,37±1,41 <sup>b</sup>
		5	48,37±1,42 <sup>bc</sup>	187,98±2,96 <sup>c</sup>	17,89±0,01 <sup>b</sup>
	400	3	50,17±0,69 <sup>ab</sup>	247,56±5,50 <sup>b</sup>	19,08±0,43 <sup>b</sup>
		5	46,05±0,99 <sup>d</sup>	297,51±5,18 <sup>a</sup>	14,45±0,99 <sup>c</sup>
	500	3	49,12±1,10 <sup>bc</sup>	138,02±9,25 <sup>d</sup>	13,81±0,40 <sup>cd</sup>
		5	48,11±0,69 <sup>cd</sup>	128,77±14,55 <sup>d</sup>	12,43±1,98 <sup>c</sup>
	AVPE	Controle	0	52,10±0,93 <sup>a</sup>	67,71±5,74 <sup>f</sup>
300		3	50,53±0,48 <sup>ab</sup>	268,65±2,41 <sup>c</sup>	19,29±1,26 <sup>b</sup>
		5	49,54±0,21 <sup>bc</sup>	282,71±12,69 <sup>b</sup>	11,97±1,10 <sup>e</sup>
400		3	50,10±0,76 <sup>b</sup>	283,82±6,94 <sup>bc</sup>	14,31±0,73 <sup>d</sup>
		5	47,36±0,85 <sup>d</sup>	322,31±10,57 <sup>a</sup>	12,22±3,52 <sup>e</sup>
500		3	48,89±1,18 <sup>bc</sup>	164,30±2,41 <sup>e</sup>	17,58±1,66 <sup>c</sup>
		5	47,95±0,52 <sup>cd</sup>	236,46±1,51 <sup>d</sup>	9,94±0,66 <sup>f</sup>

\*Farinhas de arroz vermelho da cultivar Rubi (AVPR) e ENA AR1601 (AVPE); AA=Atividade de  $\alpha$ -amilase (U=Unidade de atividade enzimática); AL= Atividade da lipase (mg de ácido graxo produzido /g amostra); AG= Ácido graxo; Os valores se referem à medias seguidas do desvio padrão. Médias na mesma coluna com iguais, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 95% de confiança).

Foi possível observar o decréscimo na quantidade de amido total (%) nas farinhas de AVPR e AVPE à medida que houve um aumento da intensidade da pressão e o tempo de processo (Tabela 1).

Para a farinha AVPR e AVPE, não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre o teor amido total das amostras submetidas a pressão 300 MPa por 3 minutos controle (pressão 0,1/ 0 min) (Tabela 1), sinalizando que as condições de processo não foram suficientes para promover modificações na conformação da molécula do amido.

Redução gradativa ( $p < 0,05$ ) do teor de amido total foi observado para a farinha AVPR e AVPE com o aumento da intensidade de pressão (400 e 500 MPa) durante 5 minutos quando comparado ao tempo de 3 minutos e ao controle (Tabela 1), sinalizando que estas condições de processos foram suficientes para acarretar modificações na estrutura do amido. De forma geral, o amido nativo apresenta baixa estabilidade térmica e elevada taxa de retrogradação, sendo necessária sua modificação utilizando-se por processos químicos, físicos ou enzimáticos, para a obtenção de propriedades desejadas (WANG et al., 2020). A TAP pode acarretar modificações nas propriedades estruturais, térmicas e físico-químicas dos amidos, promovendo sua gelatinização devido ao calor da compressão, como também a clivagem ou alteração da conformação de ligações covalentes interatômicas do polissacarídeo, diminuindo o seu percentual (HU et al., 2011; JIANG et al., 2015; KIM et al., 2015; DU et al., 2019; WANG et al., 2020; CASTRO et al., 2020), o que justifica o observado neste estudo. O processo de gelatinização promove a desordem térmica na estrutura cristalina do amido nativo, fazendo com que a superfície de contato deste polissacarídeo tende a ficar mais susceptível à hidrólise enzimática, o que contribui para o aumento na liberação dos monos e oligossacarídeos consequente redução, na quantidade de amido total (OH et al., 2008). A susceptibilidade do amido a ação enzimática pode ser afetada por diversos fatores como: a fonte de amido, a relação amilose e amilopectina, o tamanho do grânulo e sua estrutura cristalina (LIU et al., 2016).

O tipo de cultivar não demonstrou ser um fator determinante, pois após os tratamentos de 300, 400 e 500 MP por 5 minutos os valores do % final de amido total para as farinhas AVPR e AVPE foram semelhantes (Tabela 1). De forma geral para as duas farinhas estudadas, todas as intensidades de pressão nos intervalos de tempo estudados aumentaram significativamente ( $p < 0,05$ ) a atividade da  $\alpha$ -amilase em relação às farinhas controle de cada cultivar (Tabela 1). As farinhas AVPR e AVPE apresentaram maior atividade de  $\alpha$ -amilase ( $p < 0,05$ ) quando submetidas a 400 MPa por 3 e 5 minutos (Tabela 1). Nessas condições de processo, a farinha AVPR

apresentou aumento de aproximadamente de 71 e 76% da atividade  $\alpha$ -amilase, em comparação ao controle, nos períodos de 3 e 5 minutos, respectivamente. Já para as farinhas AVPE, o aumento da atividade de  $\alpha$ -amilase foi respectivamente 76 e 79% maior que o controle (Tabela 1), nos tempos 3 e 5 minutos. Por outro lado, para o tratamento de 500 MPa durante 3 e 5 minutos foi observada a redução significativa ( $p < 0,05$ ) a atividade da  $\alpha$ -amilase das farinhas AVPR e AVPE, em comparação aos tratamentos controle e de 300 e 400 MPa (Tabela 1). Verificou-se que o aumento da atividade enzimática da  $\alpha$ -amilase pode ser associado a redução do teor de amido total nas amostras de farinha AVPR com coeficiente de correlação de -0,60 e para farinha AVPE este valor foi de -0,68. Segundo Odo et al. (2016), uma justificativa para este comportamento é de que a TAP atua modificando as estruturas do amido tornando-o um substrato menos impedido estericamente aumentando a ação enzimática, e conseqüentemente a redução do teor de amido do alimento.

Ao contrário do observado para as amilases, a atividade da lipase foi reduzida ( $p < 0,05$ ) nas amostras de farinha das cultivar de arroz estudadas à medida que houve um aumento gradativo da pressão e do tempo de processamento (Tabela 1). Esse resultado era esperado, uma vez que o TAP é capaz de desnaturar ou modificar a estrutura das proteínas, como também, alterar as interações enzima-substrato, reduzindo a atividade de algumas enzimas (BUTZ; TAUSCHER, 2002). De forma geral, as farinhas das duas cultivar de arroz estudadas submetidas a 300, 400 e 500 Mpa por 3 e 5 min apresentaram redução significativa ( $p < 0,05$ ) da atividade de lipase quando comparadas a farinha controle de cada cultivar (Tabela 1). As maiores reduções na atividade da lipase foram observadas nas amostras de farinhas submetidas a maior tempo de exposição e intensidade de pressão aplicada (Tabela 1). Para farinha AVPR, os tratamentos a 500 MPa por 3 e 5 minutos acarretou a redução da AL de aproximadamente 9 e 10%, respectivamente em comparação a farinha controle. Já para as farinhas AVPE, a maior inativação da AL foi observada no tratamento de 500 MPa por 5 minutos, com redução de aproximadamente 13% em comparação ao controle (Tabela 1).

Por outro lado, WANG et al. (2018) reportaram aumento da atividade da lipase em arroz marrom submetido a 0, 100, 200, 300 e 400 MPa por 0 e 10 minutos. Os autores observaram que as amostras submetidas a maior intensidade de pressão (400 MPa) por 0 e 10 minutos foram as que apresentaram maior teor de ácidos graxos livres (35.5 e 33.0 mg KOH/100 de arroz) em comparação ao controle (24.9 mg KOH/100 de arroz), sugerindo que durante estas condições



podem ter promovido o aumento da atividade das lipases endógenas que catalisaram a reação de hidrólise das moléculas de triacilglicerol liberando mais AG.

Algumas lipases presentes no arroz catalisam as reações de hidrólise de triglicerídeos resultando em glicerol e ésteres de ácidos graxos (CHEN et al. 2017), caracterizando a rancidez hidrolítica um fenômeno indesejável provocado pelas lipases levando a formação de compostos voláteis como aldeídos, cetonas, ácidos, álcool e compostos heterocíclicos que provocam amargor no cereal após o cozimento (SHEN et al., 2009; DENG et al., 2013; LIU et al., 2017). Outra etapa importante é o descascamento pode danificar algumas camadas externas dos grãos do arroz, causando contato da fração lipídica com as lipases, e conseqüentemente a hidrólise de triglicerídeos e liberação ácidos graxos (AG) (Guraya e Patindol, 2011). Estes AG livres servem como substrato preferencial para as reações de oxidorredução catalisadas pelas lipoxigenase (Barnes e Galliard 1991).

O aumento da AL também foi observado por Xia e colaboradores (2017) quando estudaram o efeito da alta pressão na faixa de 150 – 450 MPa por 10 minutos em arroz marrom. Os autores reportaram que o TAP atuou rompendo as microestruturas dos alimentos, sugerindo assim aumento a atividade enzimática em todos as pressões aplicadas, com maior relevância na pressão de 150 MPa em relação a amostra controle devido a maior quantidade de triacilglicerol observado após o tratamento do TAP.

### **3.2.Capacidade antioxidante pelos métodos de DPPH e FRAP e determinação dos compostos fenólicos totais e proantocianoidinas**

A capacidade antioxidante dos alimentos está relacionada a presença de compostos bioativos, cujo teor depende de fatores intrínsecos, como gênero, espécie e cultivar, e extrínsecos, como agrônômico, ambiental, manuseio e armazenamento (BARBERÁN e ESPÍN, 2001; RUFINO et al., 2010; LIU et al., 2020). O arroz vermelho pode conter uma variedade de compostos antioxidantes tais como, ácido fenólico, flavonóides, antocianinas, proantocianidinas, tocoferol, vitamina E,  $\gamma$ -orizanol e ácidos fítico (GOUF e TRINDADE, 2014; SOMARATNE et al., 2017). A capacidade antioxidante, o teor de compostos fenólicos totais e proantocianoidinas das farinhas de AVPR e AVPE estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Capacidade antioxidante, conteúdo de fenólicos totais e proantocianoidinas em amostras de arroz vermelho pressurizado submetidas a diferentes intensidades de pressão e tempo

Farinha*	Pressão (MPa)	Tempo de Pressurização (min)	DPPH ( $\mu\text{mol Trolox Eq./g}$ )	FRAP ( $\mu\text{mol FeII /g}$ )	Compostos Fenólicos (mg GAE/g)	Proantocianoidinas (mg CE/g)
AVPR	0,1	0	39,15 $\pm$ 0,13 <sup>d</sup>	65,57 $\pm$ 0,01 <sup>g</sup>	0,95 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>	0,15 $\pm$ 0,01 <sup>d</sup>
	300	3	39,42 $\pm$ 0,21 <sup>cd</sup>	88,66 $\pm$ 0,02 <sup>e</sup>	0,97 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>	0,18 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup>
		5	43,54 $\pm$ 0,20 <sup>b</sup>	95,29 $\pm$ 0,02 <sup>c</sup>	1,00 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	0,20 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>
	400	3	39,30 $\pm$ 0,37 <sup>cd</sup>	86,35 $\pm$ 0,01 <sup>f</sup>	0,95 $\pm$ 0,02 <sup>c</sup>	0,21 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>
		5	44,29 $\pm$ 0,13 <sup>b</sup>	100,78 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	0,99 $\pm$ 0,01 <sup>ab</sup>	0,21 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup>
	500	3	40,16 $\pm$ 0,78 <sup>c</sup>	91,83 $\pm$ 0,01 <sup>d</sup>	0,96 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>	0,26 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>
		5	47,25 $\pm$ 0,19 <sup>a</sup>	99,77 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>	1,01 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	0,27 $\pm$ 0,20 <sup>a</sup>
	AVPE	0,1	0	36,95 $\pm$ 0,28 <sup>c</sup>	72,07 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>	0,91 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
300		3	44,36 $\pm$ 0,48 <sup>bc</sup>	65,14 $\pm$ 0,06 <sup>e</sup>	0,84 $\pm$ 0,04 <sup>c</sup>	0,07 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
		5	39,49 $\pm$ 0,14 <sup>abc</sup>	67,89 $\pm$ 0,01 <sup>d</sup>	0,90 $\pm$ 0,01 <sup>ab</sup>	0,08 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
400		3	44,94 $\pm$ 0,05 <sup>abc</sup>	74,38 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup>	0,87 $\pm$ 0,01 <sup>ab</sup>	0,07 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>
		5	50,53 $\pm$ 0,29 <sup>ba</sup>	76,68 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	0,89 $\pm$ 0,00 <sup>ab</sup>	0,09 $\pm$ 0,09 <sup>a</sup>
500		3	45,70 $\pm$ 0,23 <sup>abc</sup>	62,83 $\pm$ 0,01 <sup>f</sup>	0,87 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>	0,08 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
		5	52,26 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>	67,59 $\pm$ 0,01 <sup>d</sup>	0,91 $\pm$ 0,01 <sup>ab</sup>	0,09 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>

\*Farinhas de arroz vermelho da cultivar Rubi (AVPR) e ENA AR1601 (AVPE); Os valores se referem à médias seguidas do desvio padrão. Para farinha de cada cultivar, médias na mesma coluna com letras iguais, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 95% de confiança); GAE: ácido gálico equivalente); CE: catequina equivalente.

De forma geral para as farinhas das duas cultivar estudadas, foi observado que o aumento da intensidade da pressão e o tempo de exposição ao tratamento aumentaram a capacidade antioxidante determinada pelo método de DPPH (Tabela 2). Para as farinhas AVPR e AVPE o melhor valor pelo método DPPH foi observado no tratamento a 500 MPa por 5 minutos, ( $p < 0,05$ ) em comparação ao controle (Tabela 2). Estudo realizado por XIA e LI (2018) em arroz integral pigmentado demonstrou que o TAP não impactou diretamente na capacidade antioxidante pelo método DPPH, pois não foram observadas alterações significativas no sequestro do radical livre nas amostras após o período de 20 dias nas pressões de 150, 350, 450 MPa.

Nas farinhas AVPR, a controle não diferiu estatisticamente ( $p > 0,05$ ) das amostras tratadas nas pressões de 300 e 400 MPa por 3 minutos (Tabela 2). No entanto, quando avaliados os demais tratamentos foi possível observar que as farinhas obtidas apresentaram um aumento significativo ( $p < 0,05$ ) da capacidade antioxidante na faixa de 1-6% em relação à amostra controle. Para as farinhas AVPE, as amostras que diferiram significativamente ( $p < 0,05$ ) da amostra controle foram as tratadas com 400 e 500 MPa por 5 minutos. Além disso, foi observado que quanto maior o tempo e a pressão de exposição ao tratamento, maior foi o desempenho de sequestro entre a amostra controle e a submetida a pressão 500 MPa por 5 minutos (Tabela 1).

MENG e colaboradores (2019) avaliaram o efeito da alta pressão hidrostática, nas condições de 200, 300, 400 e 500 MPa durante o tempo de estocagem de 40 dias, sobre os compostos bioativos do arroz negro cozido e observaram que houve aumento significativo na capacidade antioxidante conforme se elevou a pressão, determinada pelo método DPPH, e reafirmaram a hipótese que a alta pressão permite maior liberação dos compostos fenólicos na matriz alimentícia aumentando a capacidade antioxidante.

Já para o método FRAP, as amostras de farinha das duas cultivar estudadas também apresentaram a tendência de aumento da capacidade antioxidante com o aumento da intensidade da pressão e do tempo de exposição (Tabela 2).

Todas as farinhas AVPR apresentaram aumento significativo da capacidade antioxidante determinada por FRAP ( $p < 0,05$ ) tanto comparando as amostras entre si e em relação ao controle, sendo que as submetidas a pressão de 400 MPa por 3 minutos foram as que apresentaram maior capacidade antioxidante (Tabela 2).

Já para as farinhas AVPE, apenas as amostras submetidas a 400 MPa por 3 e 5 minutos apresentaram capacidade antioxidante ligeiramente maior ( $p < 0,05$ ) do que a farinha controle desta cultivar (Tabela 2). No entanto, para as demais pressões estudadas, verificou-

se redução significativa ( $p < 0,05$ ) da capacidade antioxidante em todos os tempos estudados, em comparação ao controle (Tabela 2). Este comportamento pode sinalizar que as condições de processo não foram suficientes para romper as estruturas dos grãos onde estão localizados os compostos bioativos que podem ser detectados pelo método de FRAP.

Conforme mencionado anteriormente, nos grãos integrais de arroz a presença de compostos fenólicos com capacidade antioxidante, são abundantes. No entanto, a maioria destes compostos estão presentes em formas insolúveis, localizados majoritariamente nos vacúolos e ligados à parede celular. Portanto não são considerados, uma vez que estes não são absorvidos amplamente durante a passagem pelo sistema gastrointestinal (GUTIÉRREZ et al., 2012).

Conforme observado para a capacidade antioxidante, a aplicação da alta pressão (TPA) se mostrou um método eficiente para o aumento da disponibilidade dos compostos fenólicos totais e das proantocianoidinas para as farinhas das duas cultivar de arroz estudadas (Tabela 2).

Para as farinhas AVPR, as condições de processo (pressão e tempo) podem ter atuado nas estruturas celulares do grão de arroz clivando as ligações nas paredes celulares e vacúolos, aumentando gradativamente a disponibilidade desses compostos (Tabela 2). As farinhas AVPR expostas por 5 minutos a 300, 400 e 500 MP foram as que apresentaram maior ( $p < 0,05$ ) quantidade de compostos fenólicos totais quando comparadas a farinha controle (Tabela 2). Já para a proantocianoidinas, as farinhas com maior ( $p < 0,05$ ) quantidade de pigmento foram alcançadas condições de processamento de 500 MPa por 3 e 5 minutos (Tabela 2).

A partir de 400 MPa houve aumento progressivo da quantidade de proantocianoidinas de acordo com o aumento do tempo de pressurização (Tabela 2), evidenciando assim o rompimento das ligações entre os compostos fenólicos e as estruturas celulares, o que desencadeia em uma melhor capacidade antioxidante.

Estudo realizado por LEE et al., (2018) avaliaram o efeito da alta pressão em farinha de feijão vermelho submetidas a 400, 500 e 600 MPa por cinco minutos e observaram que as amostras que apresentaram maior conteúdo de fenólicos e proantocianoidinas foram as amostras submetidas a 400 e 500 MPa, no entanto, o mesmo não foi observado na pressão de 600 MPa.

Segundo KIM et al, (2015) o tratamento com a alta pressão não afeta de forma significativa os compostos bioativos, quando avaliaram arroz integral submetidos a pressão de 300

MPa. MENG et al. (2019) avaliaram amostras de arroz negro tratadas com 200, 300, 400 e 500 MPa e observaram que para 200 e 300 MPa não houve diferença expressiva na concentração total dos compostos fenólicos, porém quando aplicadas pressões de 400 e 500 MPa as amostras apresentaram um ligeiro aumento na extração dos compostos fenólicos, conseqüentemente, maior capacidade antioxidante pelo método DPPH. Esses resultados estão em consonância com o observado no presente estudo.

#### **4. CONCLUSÃO**

Conclui-se que nas condições estudadas, a alta pressão aumentou a atividade da  $\alpha$ -amilase reduzindo o teor de amido total das farinhas de AVPR e AVPE. Por outro lado, houve a redução da atividade da lipase nas amostras de farinha estudadas. Além disso, o TAP foi eficaz na preservação do conteúdo dos compostos fenólicos totais evidenciados na farinha da cultivar Rubi, que teve excelente capacidade antioxidante. Embora, esses compostos fenólicos não foram representativos na cultivar ENA AR 1601, apresentaram elevada capacidade antioxidante por FRAP sob as condições aplicadas nos tempos de três e cinco minutos e com o aumento da pressão, demonstrando que em condições controladas é possível a garantia de uma matéria prima com elevado valor nutricional. Mediante os resultados da capacidade antioxidante, sugere-se novos trabalhos para a caracterização e identificação dos demais compostos fenólicos em ambas as cultivar de arroz estudadas.

#### **5. Referências Bibliográficas**

- Asante E, Adjattor A A, Woode, M Y (2013) Malting characteristics of Wita 7 variety of rice. *Peak Journal of Food Science and Technology*,1, 61-67.
- Asean (2011) Manual of food Analysis. Determination of Starch by Acid Hydrolysis. Compiled to ASEAN FOOD members. Bangkok, Thailand: Mahidol University, 2011.
- Barberán T FA, Espín, J C. (2001) Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of Science and Food Agriculture*, 81, 853-879.
- Bisconsin, A, Rosenthal A, Monteiro M. (2014) Optimisation of High Hydrostatic Pressure Processing of Pêra Rio Orange Juice. *Food Bioprocess Technology*, 7, 1670-1677.
- Callcot E T, Santhakumar A B, Strappe P, Luo J, Blanchard C L. (2018) Polyphenols from Australian-grown pigmented red and purple rice inhibit adipocyte differentiation. *Journal of Cereal Science*, 81, 140-146.

- Carrión M H, Quiles H A. (2014) High hydrostatic pressure treatment as an alternative to pasteurization to maintain bioactive compound content and texture in red sweet pepper. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, 76-85
- Chen G, Miao M, Jiang B, Jin J, Campanella O H, Feng B. (2017) Effects of high hydrostatic pressure on lipase from *Rhizopus chinensis*: I. Conformational changes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 267-276.
- Chen M H, McClung A M, Bergman C J. (2018) Concentrations of oligomers and polymers of proanthocyanidins in red and purple rice bran and their relationships to total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity and whole grain color. *Food Chemistry*, 208, 279-287.
- Chen M H, Bergman C J, McClung A M. (2019) Hydrolytic rancidity and its association with phenolics in rice bran. *Food Chemistry*, 285, 485-491.
- Das A B, Bhattacharya S. (2019) Characterization of the batter and gluten-free cake from extruded red rice flour. *LWT*, 102, 197-204.
- Deng Y, Zhong Y, Yu W, Yue J, Liu Z, Zheng Y, Zhao Y. (2013) Effect of hydrostatic high pressure pretreatment on flavor volatile profile of cooked rice. *Journal Cereal Science*, 58, 479-487.
- Deleu C Q, Gressier B, Vasseur J, Dine T, Brunet C, Luyckx M, Cazin M, Cazin J C, Bailleul F, Trotin F. (2000) Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of Ethnopharmacology*, 72, 35-42.
- Du J, Yang Z, Xu X, Wang X, Du X. (2019) Effects of tea polyphenols on the structural and physicochemical properties of high-hydrostatic-pressure-gelatinized rice starch. *Food Hydrocolloids*, 91, 256-262.
- Faccin G L, Vieira L N, Miotto L A. (2009) Chemical, Sensorial and Rheological Properties of a New Organic Rice Bran Beverage. *Rice Science*, 16, 226-234.
- Felix M, Romero A, Guerrero A. (2016) Development and evaluation of rheological and bioactive properties of rice protein-based gels. *Journal of Cereal Science*, 72, 91-100.
- Ferreira G, Maresca P, Ciccarone R. (2010) The application of high hydrostatic pressure for the stabilization of functional foods: Pomegranate juice. *Journal of Food Engineering*, 100, 245-253.
- Godoy L C, Duquesne S, Bordes F, Sandoval G, Marty A. (2018) Lipases: An Overview. *Methods in Molecular Biology*, 1835, 181-238.

- Goufo P, Trindade H. (2014). Rice antioxidants: phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, gamma-oryzanol, and phytic acid. *Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2, 75 – 104.
- Gunaratne A, Wy K, Li D, Bentota A, Corke H, Cai Y Z. (2013) Antioxidant activity and nutritional quality of traditional red-grained rice varieties containing proanthocyanidins. *Food Chemistry*, 138, 1153-1161.
- Gutiérrez J L, Carrión M H, Quiles A, Hernando I, Munnuera I P. (2012) Impact of high hydrostatic pressures on the structure, diffusion of soluble compounds and textural properties of persimmon ‘Rojo Brillante’. *Food Research International*, 47, 218-222.
- Hu X, Xu X, Jin Z, Tian Y, Bai Y, Xie Z (2011) Retrogradation properties of rice starch gelatinized by heat and high hydrostatic pressure (HHP). *Journal of Food Engineering*, 106, 262-266.
- Hu X P, Zhang B, Jin Z Y, Xu X M, Chen H Q. (2017) Effect of high hydrostatic pressure and retrogradation treatments on structural and physicochemical properties of waxy wheat starch. *Food Chemistry*, 232, 560-566.
- Huang L, Li W C, Tam N F Y, Ye Z (2019) Effects of root morphology and anatomy on cadmium uptake and translocation in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Environmental Sciences*, 75, 196-306.
- Jermann C, Koutchma T, Margas E, Leadley C, Polski V R. (2015) Mapping trends in novel and emerging food processing technologies around the world. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 31, 14-27.
- Jiang H, Zhang Y, Hong Y, Bi Y, Gu Z, Cheng L, Li Z, Li C (2015) Digestibility and changes to structural characteristics of green banana starch during in vitro digestion. *Food Hydrocolloids*, 49, 192-199.
- Khan I, Yousif A, Johnson S K, Gamlath S. (2018) Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta. *Food Research International*, 54, 578-586.
- Kim M Y, Lee S H, Jang G Y, Park H J, Li M, Kim S, Lee Y R, Noh Y H, Lee J, Jeong H S (2015) Effects of high hydrostatic pressure treatment on the enhancement of functional components of germinated rough rice (*Oryza sativa* L.). *Food Chemistry*, 166, 86-92.
- Knorr D, Heinz V, Buckow R (2006) High pressure application for food biopolymers. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics*, 2006, 619-631.

- Lee H, Há M J, Shahbaz H M, Kim J U, Jang H, Park J. (2018) High hydrostatic pressure treatment for manufacturing of red bean powder: A comparison with the thermal treatment. *Journal of Food Engineering*, 238, 141-147.
- Lee J H, Song K B, Choi E J, Kim H K, Park H W, Chun H H. (2019) Combined effects of high hydrostatic pressure treatment and red ginseng concentrate supplementation on the inactivation of foodborne pathogens and the quality of ready-to-use kimchi sauce. *LWT*, 114, 108-110.
- Li C, Oh S, Lee D, Baik K, Chung H (2018) Effect of germination on the structures and physicochemical properties of starch from brown rice, oat, sorghum and millet. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 931-939.
- Liu H, Guo X, Li Y, Li H, Fan H, Wang M. (2016) In vitro digestibility and changes in physicochemical and textural properties of tartary buckwheat starch under high hydrostatic pressure. *Journal of Food Engineering*, 189, 64-71.
- Liu K, Li Y, Chen F, Yong F. (2017) Lipid oxidation of brown rice stored at different temperatures. *International Journal of Food Science & Technology*, 52, 188-195.
- Liu R, Xu Y, Chang M, Tang L, Lu M, Liu R, Jin Q, Wang X. (2020) Antioxidant interaction of  $\alpha$ -tocopherol,  $\gamma$ -oryzanol and phytosterol in rice bran oil. *Food Chemistry*, 22, 128-131.
- Mattei J, Malik V, Wedick N M, Hu F B, Spiegelman D, Willett W C, Campos H. (2015) Reducing the global burden of type 2 diabetes by improving the quality of staple foods: The Global Nutrition and Epidemiologic Transition Initiative *Globalization and Health*, 11, 23.
- Meng L, Zhang W, Zhou X, Wu Z, Hui A, He Y, Gao H, Chen P. (2019) Effect of high hydrostatic pressure on the bioactive compounds, antioxidant activity and in vitro digestibility of cooked black rice during refrigerated storage. *Journal of Cereal Science*, 86, 54-59.
- Mim B, McClung A, Chen M H. (2010) Phytochemicals and Antioxidant Capacities in Rice Brans of Different Color, *Journal of Food Science*, 76, 117-126
- Munir M, Nadeem M, Qureshi T M, Leong T S H, Gamlath C J, Martin G J O, Ashokkumar M. (2019) Effects of high pressure, microwave and ultrasound processing on proteins and enzyme activity in dairy systems — A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 57, 102-112,
- Odo M O, Okorie P A, Ikegwu O J, Kalu M A. (2016). Malting potential of hybrid and local varieties of rice. *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences*, 4, 146-151.



Oh H E, Hemaie Y, Anema S G, Wong M, Pinder D N (2008) Effect of high-pressure treatment on normal rice and waxy rice starch-in-water suspensions. *Carbohydrate Polymers*, 73, 332-343.

Oliveira L C, Lima D C N, Bailoni M A, Risso E M, Schmiele M, Steel C J, Chang Y K (2017) Physical Characteristics, Nutritional Quality, and Antioxidant Potential of Extrudates. *Cereal Chemistry*, 94, 74-81.

Produced with Polished Rice and Whole Red Bean Flours

Qian J Y, Gu Y P, Jiang W, Chen W (2014) Inactivating effect of pulsed electric field on lipase in brown rice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 22, 89-94.

Rufino M S M, Jiménez J P, Taberner M, Alves R E, Brito E S, Calixto F S. (2010) Acerola and cashew apple as sources of antioxidants and dietary fibre, *International Journal of Food Science & Technology*, 45, 2227-223.

Shao, Y F, Bao, J S. (2015). Polyphenols in whole rice grain: genetic diversity and health benefits. *Food Chemistry*, 180, 86–97.

Shen Y, Jin L, Xiao P, Lu Y Bao J. (2009) Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. *Journal of Cereal Science*, 49, 106-111.

Somogyi N (1951) Note on sugar determination. *Journal of Biological Chemistry*, 70, 599-612.

Somaratne G M, Prasantha B D R, Dunuwila G R, Chandrasekara A, Wijesengle D G N G, Gunasekara D C S. (2017). Effect of polishing on glycemic index and antioxidant properties of red and white basmati rice. *Food Chemistry*, 237, 716-723.

Sompong R, Siebenhandl-Ehn S, Martin G L, Berghofer E. (2011) Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. *Food Chemistry*, 124, 132-140.

Tian Y C, Gu K J, Chu X, Yao X, Cao W X, Zhu Y. (2018) Comparison of different hyperspectral vegetation indices for canopy leaf nitrogen concentration estimation in rice. *Plant and Soil*, 376, 193-209.

Xia Q, Wang L, Yu W, Li Y. (2017) Investigating the influence of selected texture-improved pretreatment techniques on storage stability of wholegrain brown rice: Involvement of processing-induced mineral changes with lipid degradation. *Food Research International*, 99, 510-521.

Xia Q, Li Y. (2018) Ultra high pressure effects on color, volatile organic compounds and antioxidants of wholegrain brown rice (*Oryza sativa* L.) during storage: A comparative

- study with high-intensity ultrasound and germination pretreatments. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 45, 390-400.
- Xu B J and Chang S K C. (2007) A Comparative Study on Phenolic Profiles and Antioxidant Activities of Legumes as Affected by Extraction Solvents. *Journal of Food Science*, 72, 159-166.
- Yang Z, Chaib S, Gu Q, Hemar Y. (2017) Impact of pressure on physicochemical properties of starch dispersions. *Food Hydrocolloids*, 68, 164-177.
- Wang H, Zhu S, Ramaswamy H S, Hu F, Yu Y (2018) Effect of high pressure processing on rancidity of brown rice during storage. *LWT - Food Science and Technology*, 93, 405-411.
- Wang X M, Zhu X M, Zhang N H, Tu Z C, Wang H, Liu G X, Ye Y H. (2018) Morphological and structural characteristics of rice amylose by dynamic high-pressure microfluidization modification. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42, 13764.
- Wang C, Xue Y, Yousaf L, Hu J, Shen Q. (2020) Effects of high hydrostatic pressure on swelling behavior of rice starch. *Journal of Cereal Science*, 93, 102967.
- Zeng F, Li T, Gao Q, Liu B, Yu S. (2018) Physicochemical properties and in vitro digestibility of high hydrostatic pressure treated waxy rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 1030-1038.

**CAPÍTULO V** - Elaboração de massas alimentícias mistas de arroz vermelho e semolina:  
Estudo do impacto nos parâmetros de cozimento, na textura e nas propriedades funcionais

**Manuscrito em preparação para ser submetido a revista Ciência Rural**

## **Elaboração massas alimentícias mistas de arroz vermelho e semolina: Estudo do impacto nos parâmetros de cozimento, na textura e nas propriedades funcionais**

Andréa dos Anjos Silva<sup>a</sup>; João Paulo de Menezes<sup>a</sup>; Douglas Guedes<sup>b</sup> Carlos Wanderlei Piler de Carvalho<sup>c</sup> e Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Instituto de Tecnologia (IT), Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), RJ, Brasil.

<sup>b</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Escola de Química (EQ), Departamento de Microbiologia de Petróleo (DMP), RJ, Brasil

<sup>c</sup>Embrapa Agroindústria de Alimentos, Guaratiba, RJ, Brasil.

### **RESUMO**

Massas são consumidas mundialmente tendo como principal matéria-prima o trigo, o que as tornam um alimento de elevado valor energético e reduzido em fibras e compostos bioativos. Uma alternativa para melhorar o perfil nutricional de massas é a associação de farinhas de outros cereais à farinha de trigo. O arroz pigmentado tem se destacado devido aos inúmeros compostos bioativos, em especial o arroz vermelho, devido as proantocianidinas, embora a sua farinha ainda seja pouco utilizada na elaboração de alimentos devido suas características tecnológicas. Neste estudo foram elaborados blends de semolina de trigo durum (STD) e farinha de arroz vermelho de duas cultivar nas proporções 25:75, 50:50, 75:25 e 100:0 FAV e STD, respectivamente, para a elaboração de massa alimentícia curta e avaliar o impacto da cozimento nos parâmetros de cozimento, textura e capacidade antioxidante. De forma geral, foi observado que em todos os parâmetros de qualidade, apenas o tempo de cozimento e o aumento de peso da cultivar Rubi diferiram estatisticamente ( $p < 0,05$ ) da massa controle (100% STD). Já nos parâmetros de textura, a substituição da semolina pela FAV alterou, diminuindo, de forma significativa ( $p < 0,05$ ) a dureza. A adição da FAV também provocou alteração nos parâmetros de elasticidade e mastigabilidade. O cozimento promoveu impacto sobre a capacidade antioxidante nas massas. Conclui-se que a diferença na cultivar não foi um fator determinante nas características das massas e que é promissor adicionar farinha de arroz vermelho as massas alimentícias para se obter um produto com melhor perfil nutricional.

## 1. INTRODUÇÃO

Massa alimentícia é um produto consumido mundialmente, que tem como ingrediente principal a farinha ou semolina de trigo *durum*, que conferem propriedades viscoelástica desejáveis, capazes de garantir uma boa ligação em rede da matriz e formação da massa durante as fases de mistura e extrusão, e conseqüentemente, um bom desempenho durante o cozimento (Padalina et al., 2014a, Padalina et al., 2014b; Punia et al., 2019; Yadva et al., 2014). No entanto, as massas alimentícias tendem a apresentar elevado teor de carboidratos e valor calórico, além do baixo teor de minerais e fibras importantes para dieta humana (Boroski et al., 2011; Omeire, Umeji and Obasi, 2014).

Alguns estudos reportaram melhoria na qualidade nutricional das massas alimentícias quando a farinha ou semolina de trigo foi substituída parcialmente por farinhas não convencionais, como a de feijão, a de ervilha, a de batata doce, a de castanha, a de amaranto, a de trigo sarraceno, a de alfarroba e a de cevada (Yadav et al., 2011; Yadav et al., 2014; Rubio et al., 2014; Biney et al., 2014, Sęczyk et al., 2016; Punia et al., 2019).

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais comumente utilizados na substituição do trigo em diferentes produtos alimentícios, principalmente na elaboração de massas alimentícias sem glúten (Wu et al., 2015). Este cereal apresenta elevada digestibilidade, bom valor biológico e quociente de eficiência protéica, devido aos elevados percentuais de aminoácidos sulfurados, como a metionina e a cisteína, apesar da deficiência no aminoácido essencial lisina (Marti et al., 2010; Yadav et al., 2011).

Dentre os tipos de arroz, os pigmentados têm despertado interesse, em especial o arroz vermelho devido à presença de antocianinas e proantocianidinas que conferem coloração vermelha ao pericarpo do cereal. Além disso, o consumo desses pigmentos tem sido associado a efeitos benéficos a saúde, como a capacidade antioxidante e as atividades anti-hiperglicemiante e anti-hipertensiva (Ranathunga et al., 2015; Itthivadhanapong, P. and Sangnark, A., 2016; Yadav et al., 2017).

Apesar do potencial de utilização desse cereal como ingredientes nas massas alimentícias, são poucos os estudos disponíveis sobre os efeitos da substituição parcial da semolina por farinha de arroz vermelho nas propriedades funcionais, e principalmente no desempenho tecnológico, tendo em vista que, dependendo do grau de substituição parcial da farinha de trigo por farinhas sem glúten podem comprometer qualidade no cozimento e as propriedades de textura das massas (Rubio et al., 2014). Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da substituição parcial de semolina por farinha de arroz vermelho no

desempenho no cozimento, no perfil de textura e nas propriedades funcionais de massas alimentícias cozidas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Elaboração dos Blend's de farinhas

Para a elaboração das misturas, utilizou-se semolina de trigo durum (STD) comercial da marca Renata®, o arroz vermelho integral de duas cultivar: Rubi e ENA AR1601 (ENA) cultivadas no Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) – Seropédica (22° 45' 48.74" S, 43° 41' 19.01" W), RJ – Brasil.

Para a obtenção das farinhas de arroz vermelho (FAV), os grãos brunidos com umidade média de 12% e a semolina foram moídos em moinho de martelo LM3100 (Perten Instruments® AB, Huddingen, Suécia) equipado com peneira de 0,8 mm de abertura. Em seguida, a FAV de cada cultivar e STD foram pesadas e misturadas nas proporções 25:75; 50:50; 75:25 e 100:0 (FAV:STD), respectivamente totalizando oito amostras (Tabela 1). Foi utilizada como controle a amostra 0:100 (FAV:STD).

### 2.2. Produção das massas alimentícias

Os *blends* de farinhas de FAV:STD e ovo em pó nas proporções descritas na Tabela 1 foram pesados e misturados em batedeira planetária M5A (KitchenAid Artisan®, Guangzhou, China) por 10 min.

**Tabela 1.** Formulação e umidade final das massas alimentícias estudadas

	Amostra	Proporção FAV:STD*	Ovo em pó (g)	Água (mL)	Umidade fi- nal (%)
	Controle	0:100	30	100	11,5
Cultivar	Rubi	100:0	30	100	12,8
		75:25	30	100	11,9
		50:50	30	100	12,6
		25:75	30	100	11,9
	ENA AR1601	100:0	30	100	12,4
		75:25	30	100	12,3

50:50	30	100	11,5
25:75	30	100	10,7

\*FAV:STD (Farinha de Arroz Vermelho:Semolina de Trigo Durum);

Em seguida, adicionou-se a água filtrada na quantidade descrita na Tabela 1 e todas as misturas que foram homogeneizadas por mais 10 min até a obtenção de uma massa homogênea. Em seguida, a massa foi retirada da batedeira e transferida para masseira de macarrão Pastaia 2 (ITALVISA, Tatuí, Brazil), com trafiladora de formato *fusilli*, para homogeneização seguida de extrusão. As massas frescas no formato fusilli foram dispostas em bandejas de inox vazadas e submetidas à secagem em estufa com circulação de ar a 50°C por 75 minutos, até que a umidade final atingisse de 10-13% conforme Minguita et al., (2015), (Tabela 1). Em seguida, as amostras foram resfriadas em dessecadores e armazenadas em recipientes de vidro hermeticamente fechados até o momento das análises.

### **2.3. Análise de qualidade tecnológica das massas alimentícias**

#### **2.3.1. Teste de Cozimento**

Para a avaliação dos parâmetros de cozimento foram determinados o tempo de cozimento, o aumento de peso e de volume, além da perda de sólidos solúveis na água de cozimento de todas as massas estudadas de acordo com o método n.16-50 da AACC (1995).

#### **2.3.2. Tempo de Cozimento (TC)**

O tempo de cozimento foi determinado pelo cozimento de 10 g de amostra em 140 mL de água em ebulição, até o cozimento total da massa. O tempo de cozimento foi avaliado pela compressão manual da massa cozida entre duas placas de petri a cada 15 s, após 5 min, até o desaparecimento do eixo central, caracterizado pela gelatinização total do amido em toda a extensão da massa.

#### **2.3.3. Aumento de peso do produto cozido (% AP)**

Determinado pela pesagem de 10 g de massa antes e após o cozimento, obedecendo ao tempo de cozimento de cada amostra. O resultado foi expresso em porcentagem da razão entre o peso da massa cozida pelo peso da massa crua.

#### **2.3.4. Aumento de volume do produto cozido (%AV)**

O aumento do volume do produto cozido foi determinado antes e após o cozimento, pelo deslocamento de 50 mL de hexano em proveta de 100 mL. O resultado foi determinado pela razão entre as duas medidas e expresso em porcentagem.

### **2.3.5. Perda de sólidos solúveis ou resíduos na água de cozimento (%PSS)**

O % PSS foi determinado pela evaporação de uma alíquota de 25 mL de água utilizada no cozimento em estufa a 105°C até o peso constante. O resultado dos sólidos perdidos foi expresso em percentual (%) de resíduo retido na água de cozimento.

### **2.4. Análise do perfil de textura das massas**

As propriedades da textura incluíram a determinação da dureza, elasticidade e mastigação das massas cozidas, respeitando o TC de cada amostra. A análise de textura foi conduzida em um analisador de textura TA XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) em interface com o software de computador Texture Exponent versão 6.1.11 (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) e equipado com uma célula de carga de 5 kg. Foi utilizado um programa de força de compressão de dois ciclos versus tempo para cada teste, que consistia em comprimir as amostras até 90% da espessura original dos grãos cozidos, retornar à posição original e depois comprimir novamente. Uma sonda cilíndrica com 31 mm de diâmetro foi usada para comprimir a massa. A distância de penetração da sonda nas amostras foi de 3 mm e a velocidade do teste foi de 1 mm s<sup>-1</sup>. Vinte medidas foram realizadas em cada amostra, sendo a controle a amostra 0:100 (FAV:STD) e os resultados foram apresentados como valores médios.

### **2.5. Propriedades funcionais e cor das massas mistas cruas e cozidas**

#### **2.5.1. Preparação dos extratos**

A capacidade antioxidante pelos métodos de DPPH e de FRAP, o teor de compostos fenólicos totais e de proantocianoidinas totais das massas alimentícias cruas e cozidas foram determinados em extratos de etanol em água (80% m/m) obtidos segundo a metodologia de Xu e Chang (2007).

#### **2.5.2. Capacidade antioxidante pelo método DPPH e por FRAP**

A determinação da capacidade antioxidante total das amostras cruas e cozidas foi determinada pela captura do radical orgânico DPPH (2,2-definil-1-picrilidrazil) e por Ferric



Reducing Antioxidant Power (FRAP) segundo Rufino et al. (2010). Os valores da capacidade antioxidante foram expressos em  $\mu\text{M}$  Trolox 100g/amostra em base seca.

### **2.5.3. Determinação de compostos fenólicos totais**

A determinação de compostos fenólicos totais (CFT) das massas cruas e cozidas foi determinada conforme Deleu et al. (2000) com modificações utilizando 1 mL da solução de Folin–Ciocalteu diluída em água destilada (1:10) a 1 mL dos extratos etanólicos aquoso (80:20). A quantificação foi realizada por espectrofotometria a 725 nm e os resultados foram expressos em g equivalentes de ácido gálico (GAE)/g amostra seca.

### **2.5.4. Determinação de do teor proantocianidinas totais**

A determinação das proantocianidinas das massas alimentícias cruas e cozidas foi realizada de acordo com Min et al. (2010). A quantificação foi realizada por espectrofotometria e foi realizada leitura da absorbância no comprimento de onda de 550 nm em espectrofotômetro. O teor de proantocianidinas totais das amostras de massas cruas e cozidas foi expresso em mg equivalente de catequina/ g amostra seca.

### **2.5.5. Percentual de impacto (%) do cozimento na capacidade antioxidante e nos teores de compostos fenólicos e de proantocianoidinas das massas alimentícias**

A determinação do % de impacto do cozimento (% IC) na capacidade antioxidante, no teor de fenólicos totais e de proantocianoidinas foi determinada conforme a Equação (1):

$$IC = \left( \frac{x_{\text{massa cozida}} - x_{\text{massa crua}}}{x_{\text{massa cozida}}} \right) \cdot 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde X = capacidade antioxidante DPPH ( $\mu\text{M}$  Trolox 100g/amostra em base seca) ou FRAP (em  $\mu\text{M}$  Trolox 100g/amostra em base seca) ou compostos fenólicos totais (em g equivalentes de GAE/g amostra) ou teor de proantocianoidinas (mg equivalente de catequina/g amostra seca)

## **2.6. Análise estatística**

Todas as análises foram realizadas em triplicatas e os resultados foram expressos em valores médios  $\pm$  desvio padrão. A análise estatística foi realizada por meio da análise de variância (ANOVA) e teste Tukey ao nível de 5% de significância, para comparação das

médias. Para a avaliação dos dados foi utilizado o software XLSTAT versão Pro 7.5 (Adinsoft, Nova York, NY).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Análises da qualidade do cozimento das massas alimentícias

Em geral, a literatura afirma que é possível produzir excelentes massas alimentícias com propriedades de textura e tecnológicas adequadas substituindo parcial ou totalmente o trigo, por farinhas de cereais sem glúten, como o arroz, milho e sorgo (Collado et al., 2001, Aravind et al., 2012).

O comportamento das massas alimentícias durante o cozimento é o parâmetro de qualidade de maior importância para aceitação desse produto pelos consumidores. Como resultado do efeito da temperatura e absorção de água durante o cozimento, destacam-se desnaturação das proteínas, gelatinização do amido, aumento do peso e do volume da massa (Menegassi e Leonel, 2005; Larrosa et al., 2016).

Os resultados das análises de determinação da qualidade do cozimento das massas alimentícias de STD e FAV das duas cultivar estudadas estão apresentados na Tabela 2. De forma geral, observou-se que de todos os parâmetros de qualidade do cozimento das massas alimentícias elaboradas com diferentes proporções de FAV Rubi ou ENA AR1601 e STD estudados (Tabela 2), apenas o tempo de cozimento (cultivar Rubi) e aumento de peso (% AP) diferiram estatisticamente ( $p < 0,05$ ) do controle (100% STD).

**Tabela 2.** Análise tecnológica do tempo, aumento de peso, aumento de volume e perda de sólidos solúveis na água após o cozimento de massas alimentícias mistas elaboradas com diferentes proporções de farinha de arroz vermelho (FAV): semolina de trigo durum (STD)

Cultivar	Proporção FAV:STD*	Tempo de Cozimento (Minutos)	Aumento de Peso (%)	Aumento de Volume (%)	Perda de Sólidos Solúveis em Água (%)
----------	--------------------	------------------------------	---------------------	-----------------------	---------------------------------------

<b>Controle</b>	0:100	9,00±1,23 <sup>Aa</sup>	255,28±0,18 <sup>Cd</sup>	1,29±0,01 <sup>Aa</sup>	7,36±0,72 <sup>Aa</sup>
<b>Rubi</b>	100:0	7,00±0,34 <sup>B</sup>	242,52±0,04 <sup>D</sup>	1,29±0,01 <sup>A</sup>	7,79±0,71 <sup>A</sup>
	75:25	7,00±1,20 <sup>AB</sup>	257,35±0,02 <sup>B</sup>	1,31±0,02 <sup>A</sup>	7,83±0,98 <sup>A</sup>
	50:50	8,00±1,13 <sup>AB</sup>	279,17±1,00 <sup>A</sup>	1,28±0,01 <sup>A</sup>	7,41±0,85 <sup>A</sup>
	25:75	9,00±1,00 <sup>A</sup>	278,92±0,04 <sup>A</sup>	1,28±0,03 <sup>A</sup>	7,12±2,09 <sup>A</sup>
<b>ENA AR1601</b>	100:0	7,00±0,71 <sup>b</sup>	244,19±0,31 <sup>c</sup>	1,31±0,01 <sup>a</sup>	5,38±0,49 <sup>a</sup>
	75:25	7,00±0,79 <sup>ab</sup>	262,39±0,04 <sup>c</sup>	1,28±0,05 <sup>a</sup>	5,12±1,45 <sup>a</sup>
	50:50	8,00±0,69 <sup>a</sup>	263,14±0,04 <sup>b</sup>	1,29±0,01 <sup>a</sup>	6,83±1,15 <sup>a</sup>
	25:75	8,00±0,05 <sup>a</sup>	266,73±0,06 <sup>a</sup>	1,33±0,03 <sup>a</sup>	6,80±1,04 <sup>a</sup>

\*FAV:STD Farinha de Arroz Vermelho:Semolina de Trigo Durum; <sup>A-D</sup>: letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras da cultivar Rubi e a controle (p <0,05); <sup>a-d</sup>: letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras da cultivar ENA AR1601 e a controle (p <0,05).

### 3.1.1. Tempo de Cozimento (TC)

Para as cultivar Rubi e ENA AR1601 foi verificado que apenas a massa alimentícia formulada apenas 100% FAVI apresentou TC ligeiramente menor (p<0,05) (aproximadamente 2 min) da massa controle (100% STD). As demais massas alimentícias formuladas com diferentes proporções de FAV da Rubi e da ENA AR1601 e STD não apresentaram TC diferente (p<0,05) da massa controle (Tabela 2). Apesar disso, pode-se observar a tendência de redução gradual do TC à medida que a proporção de STD era reduzida na massa alimentícia (Tabela 2). Diferença similar no TC foi observada entre a massa controle (100% STD) e massa formulada com 40% STD e 60% da fibra insolúvel do germe de trigo durum (Aravind et al., 2012).

Esse comportamento pode estar associado à redução da força do glúten como resultado da redução gradativa da STD por farinhas sem glúten, com por exemplo a FAV, na composição da massa alimentícia. Segundo El-Sohaimy et al. (2020), a diminuição do tempo de cozimento pode ser explicada pelo aumento da taxa de absorção de água pela massa, facilitada pelo enfraquecimento da rede formada entre proteínas e amidos que é responsável pela coesão da massa. Nesse sentido, a redução STD na massa alimentícia pode alterar matriz glúten-amido, permitindo uma transferência mais rápida da água de

cozimento até o núcleo central da massa alimentícia, reduzindo do tempo de cozimento em amostras com maior proporção de farinha sem glúten.

Adicionalmente, a redução do TC também é influenciada pela adição de água à mistura, que reduz as interações entre as moléculas de proteína e amido, devido a formação das novas ligações de hidrogênio entre a água e o polímero adicionado (outras proteínas e/ou fibras) (Sibakov et al., 2016). Comportamento similar foi reportado por Islas-Rubio et al., 2014, quando adicionaram diferentes proporções de STD e farinha de amaranto em massas alimentícias e observaram que nas amostras que tinham maior quantidade de farinha de amaranto TC foi menor.

### **3.1.2. Aumento de Peso após Cozimento**

Quanto ao aumento de peso (% AP) considera-se como resultado adequado um valor aproximadamente duas vezes maior ao peso original, ou seja, acima de 200% (Hogg et al., 2015). As massas formuladas com diferentes proporções da cultivar Rubi e da ENA AR1601 apresentaram respectivamente faixa de 242 a 279% e 244 a 266% (Tabela 2), apresentando % AP acima do recomendado.

Todas as massas alimentícias das cultivar estudadas apresentaram % AP que diferiu ( $p < 0,05$ ) do observado para o controle, sendo que as com maiores % AP foram observados para as massas que apresentaram maior proporção de FAV na formulação (Tabela 2). O %AP da massa alimentícia é afetada diretamente pela quantidade de componentes capazes de absorver água durante o cozimento, como por exemplo, o amido. Este comportamento pode ser justificado, pois o amido do trigo apresenta maior capacidade de absorção de água em relação ao amido de outros cereais (Jeong et al., 2017). Outro fator que pode contribuir para alterações no %AP é a maior quantidade de constituintes não amiláceos, como fibras, proteínas e lipídeos (Tangrianugul et al., 2019) das FAV duas cultivar. A presença destes constituintes promove redução na quantidade de amido gelatinizado reduzindo a absorção de água durante e conseqüentemente no peso da massa (Jacobs et al., 2015). Isla-Rubio e colaboradores (2014) também observaram que quanto maior a proporção de STD substituída por farinha de amaranto maior o aumento de peso.

### **3.1.3. Aumento de volume (AV) do produto cozido**

Não foi observado diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as amostras estudadas no parâmetro aumento de volume (Tabela 2). No entanto, houve ligeiro aumento (1,16%) em

média nas amostras elaboradas com FAV da cultivar ENA AR1601 em relação a amostra controle.

Segundo Ormenese e Chang (2002) quanto maior a porcentagem de farinha de arroz na mistura com o trigo, menor a absorção de água do meio de cozimento o que, conseqüentemente, reduz o volume da massa. Nesse estudo, esse comportamento pode ser comprovado ao analisar a amostra ENA AR1601, onde a menor concentração de arroz na mistura, permitiu uma maior absorção de água.

#### **3.1.4. Perda de sólidos na água**

A perda de cozimento é um dos parâmetros mais importantes que afetam a aceitação do consumidor em produtos alimentícios (Fu, 2008).

Dentre as amostras deste estudo não foi possível observar diferença significativa ( $p < 0,05$ ) nas massas das duas cultivar com relação a controle (Tabela 2).

Elevada PSS na água de cozimento é um fator indesejável nas massas alimentícias, uma vez que resulta em textura mais pegajosa e água de cozimento turva, que pode estar relacionado ao teor de amilose e ausência de glúten (Rubio et al., 2014).

Nas massas que são produzidas com ausência ou reduzida quantidade de glúten, a PSS é maior em decorrência a desnaturação da proteína, porém sem a formação de um retículo protéico que envolve o amido gelatinizado formando estruturas mais fracas, permitindo que este polissacarídeo migre livre para na água de cozimento turvando-a e torne a massa menos firme (Ormenese et al., 2002; Sibakov et al., 2016). Marti et al. (2010) afirma ainda que a perda de sólidos durante o cozimento deve-se principalmente à solubilização do amido gelatinizado fracamente ligado à superfície da massa.

Além disso, estudos com massas alimentícias elaboradas com farinha de arroz integral, apontam que a proporção de fibras, também promove o enfraquecimento da rede de amido e resultando em menor retenção dos sólidos (Marti e Pagani, 2013; Sibakov et al., 2016).

As proteínas dos arrozes pigmentados não são capazes de formar uma rede elástica como as gliadinas e gluteninas presentes no glúten do trigo, e quando a rede proteica não possui elasticidade ou sua formação é retardada, os grânulos de amido incham facilmente e parte do material amiláceo migra para a água do cozimento (Marti e Pagani, 2013).

Similar efeito de perda de sólidos foi observado no trabalho de Jalganoankar e Jhan (2016), que usaram farinha de milho (cv. Pusa Composite 443) em diferentes proporções em substituição à semolina de trigo, com a intenção de melhorar nutricionalmente a massa alimentícia e observaram que quanto maior a quantidade da farinha isenta de glúten

maior foi a perda de sólidos na água de cozimento. Eles atribuíram esse efeito a substituição da farinha de trigo por outra sem glúten, o que reduz a força da rede da massa, pois a perda de sólidos durante o cozimento é principalmente devido à solubilização do amido gelatinizado fracamente ligado à superfície do produto.

### 3.2. Análise do perfil de textura das massas

Os parâmetros de textura das massas alimentícias estudadas estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Propriedades de textura das massas alimentícias mistas com diferentes proporções de substituição à STD pela FAV

Cultivar	Proporção FAV:STD*	Dureza (N)	Elasticidade	Mastigabilidade (N)
<b>Rubi</b>	Controle	1,08±0,19 <sup>ABb</sup>	0,93±0,05 <sup>Aa</sup>	0,66±0,16 <sup>Ab</sup>
	100:0	1,02±0,18 <sup>B</sup>	0,86±0,19 <sup>AB</sup>	0,42±0,16 <sup>A</sup>
	75:25	1,07±0,13 <sup>B</sup>	0,90±0,06 <sup>A</sup>	0,45±0,10 <sup>AB</sup>
	50:50	1,26±0,31 <sup>AB</sup>	0,90±0,0 <sup>A</sup>	0,40±0,15 <sup>B</sup>
	25:75	1,46±0,55 <sup>AB</sup>	0,91±0,06 <sup>A</sup>	0,54±0,22 <sup>A</sup>
<b>ENA AR1601</b>	100:0	0,76±0,38 <sup>bc</sup>	0,86±0,17 <sup>ab</sup>	0,49±0,18 <sup>bc</sup>
	75:25	1,01±0,26 <sup>b</sup>	0,90±0,07 <sup>a</sup>	0,50±0,18 <sup>bc</sup>
	50:50	1,25±0,22 <sup>b</sup>	0,93±0,03 <sup>a</sup>	0,62±0,24 <sup>bc</sup>
	25:75	1,86±0,41 <sup>a</sup>	0,94±0,02 <sup>a</sup>	0,99±0,36 <sup>a</sup>

\*FAV:STD Farinha de Arroz Vermelho; Semolina de Trigo Durum; <sup>AB</sup>: letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras da cultivar Rubi e a controle ( $p < 0,05$ ); <sup>a-d</sup>: letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras da cultivar ENA AR160 e a controle ( $p < 0,05$ );

Após o cozimento, as massas devem permanecer firmes e não pegajosas. Segundo Sozer et al. (2008), a dureza e a adesividade são considerados os parâmetros cruciais para a qualidade de massas cozidas.

A substituição de semolina por FAV alterou de forma significativa ( $p < 0,05$ ) a dureza das amostras das massas alimentícias das duas cultivar estudadas (Tabela 2).

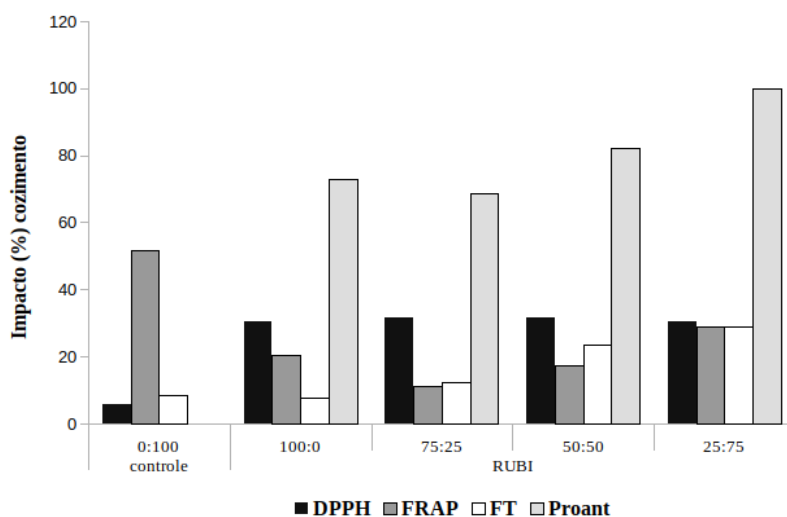
De forma geral, os maiores valores para o atributo dureza foram observadas na massa alimentícia controle e nas massas formuladas com maior proporção de semolina, no caso  $\geq 50\%$  para cultivar Rubi e  $\geq 75\%$  para a ENA AR1601 (Tabela 2). Comportamento similar foi observado por Rubio et al. (2014) que avaliaram a dureza de massas alimentícias formuladas com diferentes proporções de semolina e farinha de amaranto e verificaram que as amostras compostas com maior proporção de semolina apresentaram maior dureza (N). O glúten presente na semolina é a proteína responsável pela formação da estrutura das massas alimentícias, o seu teor e composição das proteínas (força do glúten) são importantes para a qualidade do cozimento e a textura desses produtos (Fuada e Prabhasankar, 2010). Logo, a gradativa substituição da semolina por farinha isenta de glúten (exemplo, de arroz vermelho), contribui para a redução da força do glúten e pelo o enfraquecimento da estrutura, resultando na redução da dureza da massa.

Segundo Aravind et al. (2012), a elasticidade é a capacidade que uma determinada matriz deformada tem de retornar à sua condição original após a remoção da força. A adição de FAV das cultivar estudadas à formulação de massas de semolina de trigo modificou as propriedades de elasticidade e de mastigabilidade quando comparadas ao controle ( $p < 0,05$ ) (Tabela 3). Para as massas alimentícias estudadas, observou-se que a redução gradativa de FAV na formulação contribuiu para o aumento da elasticidade (Tabela 3). Segundo Wee et al. (2019), a glutenina e o resíduo protéico do cereal são responsáveis pela elasticidade da massa, onde há formação das ligações dissulfeto devido a reorganização das proteínas através da aplicação do trabalho mecânico.

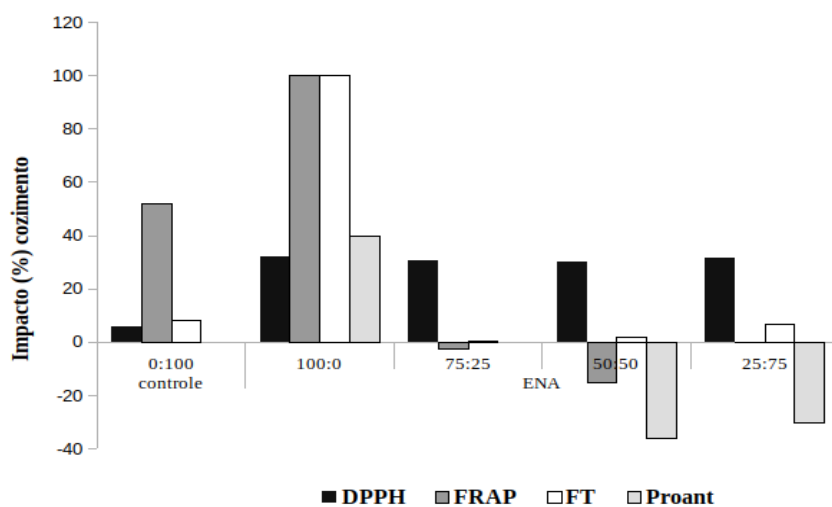
### **3.3. Percentual (%) de Impacto do cozimento**

Nos grãos de arroz vermelho os compostos fitoquímicos, principalmente as antocianinas e proantocianidinas, presente no pericarpo do cereal são responsáveis pela pigmentação (Jeng et al., 2012) e pela capacidade antioxidante (Kimura et al., 2011), devido à sua estrutura química que apresenta facilidade em doar prótons e quelar metais (Gruenwald et al., 2010). Além desses pigmentos, também apresenta compostos fenólicos como ácido caféico, ferrúlico, p-cumárico e simapínico (Gunaratne et al., 2013). A estrutura química do polifenol permite a esses compostos sequestrar radicais livres e serem oxidados. Por esta razão podem desempenhar um papel importante como antioxidantes nos alimentos prevenindo ou abrandando a oxidação responsável pela possível formação de compostos nocivos para a saúde (Bianchi et al., 2015).

Na Figura 1 A e B está apresentado o impacto (%) do cozimento na capacidade antioxidante (DPPH e FRAP), no teor de compostos fenólicos totais e no de proantocianoidinas nas massas alimentícias cozidas formuladas com diferentes proporções de farinha de arroz vermelho (FAV) e semolina (STD) das cultivar de arroz vermelho estudadas.



(A)



(B)

**Figura 1.** Impacto do cozimento (%) na capacidade antioxidante (DPPH e FRAP), no teor de compostos fenólicos totais e de proantocianoidinas nas massas alimentícias de farinha de arroz vermelho (FAV) das cultivar Rubi: semolina (A) ou ENA AR1601:semolina (B).

De forma geral foi possível observar que o cozimento promoveu o aumento ( $p < 0,05$ ) da capacidade antioxidante (DPPH e FRAP), de compostos fenólicos totais e de



proantocianoidinas (Figura 1), principalmente das massas alimentícias controle e das formuladas com diferentes proporções FAV Rubi (Figura 1A). Uma justificativa para este comportamento, é que a água em ebulição durante o cozimento pode melhorar a extração dos compostos fenólicos ligados a matriz alimentar e, assim, aumentar a disponibilidade e a quantidade desses componentes durante as etapas de extração e quantificação química (Fares et al., 2010).

Apesar dos compostos fenólicos serem termossensíveis, o tempo de exposição à temperatura de cozimento utilizada no presente estudo não foi suficiente para degradar a sua estrutura, mas sim em clivar as ligações estabelecidas nas interações com as proteínas, permitindo maior biodisponibilidade e atuação sobre os radicais livres DPPH e a forma reativa do mineral Ferro (Sharma et al., 2016).

Na massa alimentícia controle, o maior aumento foi observado para a capacidade antioxidante quantificada pela técnica de FRAP (+ 50%), enquanto para as massas alimentícias formuladas com diferentes proporções de FAV Rubi e STD, a capacidade antioxidante (DPPH) apresentou aumento médio de 30% e as proantocianoidinas verificou-se um aumento que variou de 69-100% (Figura 1 A).

Já as massas alimentícias elaboradas com diferentes proporções de FAV ENA AR1601 e STD apresentaram uma ligeira diferença com relação ao % de impacto do cozimento (Figura 1 B). A capacidade antioxidante determinada por DPPH apresentou um aumento de cerca de 30% após o cozimento, enquanto os FT aumentaram na faixa de 1-100% variando em função da proporção de FAV na formulação das massas alimentícias estudadas (Figura 1). Por outro lado, foram verificados decréscimos 2,64% e 15,20% da capacidade antioxidante determinada por FRAP das massas formuladas com 75: 25 e 50:50 FAV:STD, respectivamente. Já as proantocianoidinas apresentaram perda de 30% na massa alimentícia elaborada com 50:50 FAV:STD e de 36% para as com 25:75 FAV:STD (Figura 1).

Comportamento semelhante foi observado por Fares et al., 2010 quando avaliaram o efeito do processamento e cozimento de massas elaboradas com semolina de trigo durum, enriquecidas com diferentes proporções de frações de descarte (aleurona, camada hialina e tegumento por exemplo), ricas em compostos fenólicos. Após o cozimento, as massas melhoraram suas propriedades antioxidantes, independentemente do nível de enriquecimento, que pode ser justificado frente a quebra das ligações entre os compostos fenólicos e as paredes celulares durante o aquecimento do cozimento das massas, deixando-os livres possibilitando assim a quantificação interação com compostos oxidantes.

#### 4. CONCLUSÃO

Apesar das duas cultivar apresentarem composição química variada, não demonstraram diferenças expressivas quanto aos parâmetros avaliados para determinar a qualidade de massas alimentícias nas amostras elaboradas com diferentes proporções de substituição da STD por FAV de ambas as cultivar. Além disso, o tempo ótimo de cozimento não provocou alterações marcante na capacidade antioxidante nas massas adicionadas de FAVI, evidenciando que objetivo é possível substituir a STD para obter melhores benefícios nutricionais, pode ser usada para fazer massas com qualidade aceitável e elevado valor nutricional.

#### 5. REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). Approved methods of the AACC. 9.ed. Saint Paul, 1995. V.1-2.

Aravind N, Sissons M, Egan N, Fellows C. (2012) Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chemistry*, 130, 290-309. doi:10.1016/j.foodchem.2011.07.042

Bianchi S, Krosiakova I, Janzon R, Mayer I, Saake B, Pichelin F. (2015) Characterization of condensed tannins and carbohydrates in hot water bark extracts of European softwood species. *Phytochemistry*, 120, 53-61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.10.006>

Biney K, Beta T. (2014) Phenolic profile and carbohydrate digestibility of durum spaghetti enriched with buckwheat flour and bran. *LWT – Food Science and Technology*, 57, 569-579. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.033>

Boroski M, Aguiar A C, Boeing J S, Rotta E M, Wibby C L, Bonafé E G, Souza N, Visentainer J V. (2011). Enhancement of pasta antioxidant activity with oregano and carrot leaf. *Food Chemistry*, 125, 696-700. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.068>

Collado L S, Mabesa L B, Oates C G, Corke H. (2001) Bihon-Type Noodles from Heat-Moisture-Treated Sweet Potato Starch. *Journal of Food Science*, 66, 604-609. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb04608.x>

Deleu C Q, Gressier B, Vasseur J, Dine T, Brunet C, Luyckx M, Cazin M, Cazin J C, Bailleul F, Trotin F. (2000) Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of Ethnopharmacology*, 72, 35-42. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(00\)00196-3](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00196-3)

- Fares C, Platani C, Baiano A, Menga V. (2010) Effect of processing and cooking on phenolic acid profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta enriched with debranching fractions of wheat. *Food Chemistry*, 119, 1023-1029. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.006>
- Fu, B X. (2008) Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing. *Food Research International*, 41, 888-902. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.11.007>
- Fuada T e Prabhasankar P. (2010) Role of Ingredients in Pasta Product Quality: A Review on Recent Developments. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50, 787-798. <https://doi.org/10.1080/10408390903001693>
- Gunaratne A, Wy K, Li D, Bentota A, Corke H, Cai Y Z. (2013) Antioxidant activity and nutritional quality of traditional red-grained rice varieties containing proanthocyanidins. *Food Chemistry*, 138, 1153-1161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.129>
- Gruenwald J, Freder J, Armbruester N. (2010) Cinnamon and helth. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 04, 822-834. <https://doi.org/10.1080/10408390902773052>
- Hogg A C, Martin J M, Manthey F A, Giroux M J. (2015) Nutritional and Quality Traits of Pasta Made from SSIIa Null High-Amylose Durum Wheat. *Cereal Chemistry*, 92, 395-400. <http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM-12-14-0246-R>
- Itthivadhanapong, P. and Sangnark, A. (2016) Effects of substitution of black glutinous rice flour for wheat flour on batter and cake properties, *International Food Research Journal*, 23, 1190-1198.
- Jacobs P J, Hemdane S, Dornez, E, Delcour J A, Courtin C M. (2015) Study of hydration properties of wheat bran as a function of particle size. *Food Chemistry*, 17, 296-304. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.117>
- Jeng T L, Lai C C, Ho P T, Shih Y J, Sung J M. (2012) Agronomic, molecular and anti-oxidative characterization of red- and purple-pericarp rice (*Oryza sativa* L.) mutants in Taiwan. *Journal of Cereal Science*, 56, 425-431. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.05.015>
- Jeong S, Kim M, Yoon M R, Lee S. (2017) Preparation and characterization of gluten-free sheeted doughs and noodles with zein and rice flour containing different amylose contents. *Journal of Cereal Science*, 75, 138-142. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.022>
- Kimura H, Ogawa S, Sugiyama A, Jisaka M, Takeuchi T, Yokota K. (2011) Anti-obesity effects of highly polymeric proanthocyanidins from seed shells of Japanese horse

- chestnut (*Aesculus turbinata* Blume). *Food Research International*, 44, 121-126. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.052>
- Larrosa V, Lorenzo G, Zaritzky N, Califano A. (2016) Improvement of the texture and quality of cooked gluten-free pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 70, 96-103. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.039>
- Marti A, Seetharaman K, Pagani M A. (2010) Rice-based pasta: A comparison between conventional pasta-making and extrusion-cooking. *Journal of Cereal Science*, 52, 404-409. <http://doi:10.1016/j.jcs.2010.07.002>
- Marti A M e Pagani M A. (2013) What can play the role of gluten in gluten free pasta?. *Trends in Food Science & Technology*, 31, 63-71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2013.03.001>
- Menegassi B, Leonel M. (2005) Efeito da adição de farinha de mandioca-salsa nas características de massa alimentícia. *Ciências exatas da terra*, 11, 13-19. <https://doi.org/10.5212/publicatio.v11i03.854>
- Mim B, McClung A, Chen M H. (2010) Phytochemicals and Antioxidant Capacities in Rice Brans of Different Color, *Journal of Food Science*, 76, 117-126, <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01929.x>
- Minguita A P S, Carvalho J L V, Oliveira E M M, Galdeano M C. (2015) Produção e caracterização de massas alimentícias a base de alimentos biofortificados: trigo, arroz polido e feijão carioca com casca, *Ciência Rural*, 45, 1-7. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140491>
- Nocente F, Taddei F, Galassi E, Gazza L. (2019) Upcycling of brewers' spent grain by production of dry pasta with higher nutritional potential. *LWT - Food Science and Technology*, 114, 10842. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108421>
- Omeire G C, Umeji O F, Obasi N E. (2014) Acceptability of Noodles Produced from Blends of Wheat, Acha and Soybean Composite Flours. *Nigerian Food Journal*, 32, 31-37. [https://doi.org/10.1016/S0189-7241\(15\)30093-X](https://doi.org/10.1016/S0189-7241(15)30093-X)
- Padalina L., Mastromatteo M., Lecce L., Spinelli S., Cantò F., Del Nobile M A. (2014) Chemical composition, sensory and cooking quality evaluation of durum wheat spaghetti enriched with pea flour. *International Journal of Food Science +Technology*, 49, 1544-1556. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12453>
- Padalina L., Mastromatteo M., Lecce L., Spinelli S., Cantò F., Del Nobile M A. (2014) Effect of durum wheat cultivars on physico-chemical and sensory properties of spaghetti.

*Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 2196-2204.  
<https://doi.org/10.1002/jsfa.6537>

Punia S., Sirola A K., Sandhu, K S, Kaur M. (2019) Rheological behavior of wheat starch and barley resistant starch (type IV) blends and their starch noodles making potential. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130, 595-604.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.009>

Ranathunga, R A A; Jayawardena, B C; Gunasekara, G T N. (2015) Effect of different extenders on physical, chemical and sensory characteristics of sausage production. *International Journal of Information Research and Review*, 2(11), 1311-1314.

Rubio A R I, Barca M C, Chávez F C, Gastélum A G C, Beta T. (2014) Effect of semolina replacement with a raw:popped amaranth flour blend on cooking quality and texture of pasta. *LWT – Food Science and Technology*, 57, 217-222.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.01.014>

Rufino M S M, Jiménez J P, Taberero M, Alves R E, Brito E S, Calixto F S. (2010) Acerola and cashew apple as sources of antioxidants and dietary fibre, *International Journal of Food Science & Technology*, 45, 2227-223. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02394.x>

Sharma S, Saxena D C, Riar C S. (2016) Nutritional, sensory and in-vitro antioxidant characteristics of gluten free cookies prepared from flour blends of minor millets. *Journal of Cereal Science*, 73, 153-161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2016.10.012>

Sibakov N R, Heiniö R L, Cassan D, Mantila U H, Micard V, Lantto R, Sozer N. (2016) Effect of bioprocessing and fractionation on the structural, textural and sensory properties of gluten-free faba bean pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 67,27-36.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.032>

Sozer N e Kaya A. (2008) The effect of cooking water composition on textural and cooking properties of spaghetti. *International Journal of Food Properties*, 1, 351–362.  
<http://dx.doi.10.1080/10942910701409260>

Świeca M, Sęczyk L, Gawlik-Dziki U, Dziki D. (2014) Bread enriched with quinoa leaves – The influence of protein–phenolics interactions on the nutritional and antioxidant quality. *Food Chemistry*, 162, 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.044>

Xu B J and Chang S K C. (2007) A Comparative Study on Phenolic Profiles and Antioxidant Activities of Legumes as Affected by Extraction Solvents. *Journal of Food Science*, 72, 159-166. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00260.x>

Yadav B S, Yadav R B, Kumari M., Khatkar B S. (2011) Suitability of pigeon pea and rice starches and their blends for noodle making. *LWT – Food Science and Technology*, 44, 1415-1421. <http://doi:10.1016/j.lwt.2011.01.004>

Yadav B S, Yadav R B, Kumari M., Khatkar B S. (2014) Studies on suitability of wheat flour blends with sweet potato, colocasia and water chestnut flours for noodle making. *LWT - Food Science and Technology*, 57, 352-358. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.042>

Yadav, Yadav Kumar (2017)

Wee M S M, Loud D E, Tan V W K, Forde C G. (2019) Physical and sensory characterisation of noodles with added native and denatured pea protein isolate. *Food Chemistry*, 294, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.042>

Wu F, Meng Y, Yang N, Tao H, Xu X. (2015) Effects of mung bean starch on quality of rice noodles made by direct dry flour extrusion. *LWT - Food Science and Technology*, 63, 1190-1205. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.063>

## Conclusões Gerais

Com base nas etapas executadas, pode-se que concluir que:

- A farinha de arroz integral das 3 cultivar apresentou diferença significativa entre elas, para todos os parâmetros nutricionais e funcionais. Em relação aos valores nutricionais, as farinhas apresentaram teor de macronutrientes que atendem ao recomendado pela OMS. As três cultivar de arroz integral vermelho (Rubi, Virgínia e ENA AR 1601 (Pequeno) demonstraram relevante perfil proteico e para o seu conteúdo de carboidratos totais destacaram-se as cultivar Rubi e Pequeno devido a concentração de amido resistente. Além disso, a farinha das três cultivar estudadas apresentaram bons resultados para capacidade antioxidante, anti-hiperglicemiante e hipertensiva. Desta forma, as farinhas podem ser classificadas como um alimento funcional e sua utilização como ingrediente nas massas alimentícias, podem melhorar as propriedades nutricionais e funcionais desses produtos.
- A substituição da semolina de trigo (STD) por da farinha de do arroz vermelho integral (FAV) das cultivar estudadas foi capaz de contribuir efetivamente para obtenção de farinhas mistas com melhores valores nutricionais. A mesma tendência foi observada para a capacidade antioxidante (DPPH e FRAP) e teor de compostos fenólicos totais das farinhas mistas estudadas. Além disso, a substituição de 50% de STD por FAV apresentou comportamento reológico desejável tanto pela extensibilidade quanto pela elasticidade, independente da variedade de arroz estudado sinalizando a viabilidade para elaboração de massas a partir destes *blends*.
- O tratamento com alta pressão foi um método eficaz na inativação da lipase, o que responde a melhora nas condições de estocagem diminuindo a rancidez oxidativa das farinhas de arroz estudadas (cultivar Rubi e ENA AR 1601). O mesmo não ocorreu com a  $\alpha$ -amilase, onde a atividade enzimática diminuiu conforme houve a redução no conteúdo total de amido em ambas as cultivar. Além disso, o TAP foi eficaz na preservação do conteúdo dos compostos fenólicos totais evidenciados na cultivar Rubi, que teve melhor capacidade antioxidante pelo método DPPH. Por outro lado, esses compostos fenólicos não foram representativos na cultivar ENA AR 1601, apesar da melhor resposta no método FRAP sob as condições aplicadas nos tempos de três e cinco minutos e com o aumento da pressão,

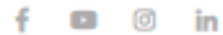
demonstrando que em condições controladas é possível a garantia de uma matéria prima com elevado valor nutricional. Logo, a utilização do método de alta pressão nos cereais integrais garante a inativação enzimática, reduzindo assim a oxidação lipídica, permitindo um produto de maior aceitação pelo consumidor.

- Na elaboração de massas alimentícias, apesar das duas cultivar apresentarem composição química variada, não demonstraram diferenças expressivas quanto aos parâmetros avaliados para determinar a qualidade de massas alimentícias nas amostras elaboradas com diferentes proporções de substituição da STD por FAVI de ambas as cultivar. Além disso, o tempo ótimo de cozimento não alterou a capacidade antioxidante nas massas adicionadas de FAV. Sendo assim, os resultados deste estudo demonstraram que a utilização de farinha de arroz vermelho substituindo a semolina de trigo na elaboração de massas alimentícias pode ser alternativa segura na obtenção de produtos com maior perfil nutricional agregado, mantendo as características desejadas.



## APÊNDICES

Matéria publicada na revista **Ângulos do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro**



> HOME . ALIMENTOS

### Massa alimentícia com arroz vermelho pode ser opção saudável e funcional para comer sem culpa

02/02/2021

Compartilhe: [f](#) [t](#) [in](#) [s](#)



Por [Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa](#)  
[André dos Anjos Silva Santiago](#)

As massas alimentícias são práticas, versáteis, saborosas, baratas e estão presentes na mesa dos brasileiros em diferentes formatos, cores e tamanhos. Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados (ABIMAPI), este produto tem 99,5% de penetração no mercado brasileiro, e, em 2018, movimentou R\$ 6,23 bilhões, sendo comercializadas aproximadamente 916 mil toneladas.

De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), as massas alimentícias ou macarrão "é o produto não fermentado, apresentado sob várias formas, recheado ou não, obtido pelo empasto, amassamento mecânico da mistura de farinha de trigo ou sêmola de trigo durum, e ou farinha de outros vegetais, adicionado ou não de outros ingredientes e acompanhado ou não de temperos e ou complementos, isoladamente ou adicionados diretamente à massa".

#### > Últimos artigos

- [A Petrobras e o interesse nacional](#)
- [Desenvolvimento e Inovação tecnológica na Marinha do Brasil](#)
- [O medo da radiação é mais perigoso que a própria radiação](#)
- [Massa alimentícia com arroz vermelho pode ser opção saudável e funcional para comer sem culpa](#)
- [Desenvolvimento Tecnológico no Brasil: o projeto MagLev-Cobra](#)

#### > Artigos mais lidos

- [Padrão Brasileiro de Plugues e Tomadas: a Engenharia em prol da segurança da população](#)
- [O menor ou o melhor preço para as obras?](#)
- [O medo da radiação é mais perigoso que a própria radiação](#)
- [A engenharia e o lixo ou os "resíduos sólidos urbanos"](#)
- [Desenvolvimento e Inovação tecnológica na Marinha do Brasil](#)

<https://angulos.crea-rj.org.br/alimentos/massa-alimenticia-com-arroz-vermelho-pode-ser-opcao-saudavel-e-funcional-para-comer-sem-culpa/?fbclid=I...> 1/4

Com relação à composição, as massas alimentícias podem ser classificadas em:

- Massa alimentícia ou macarrão: é aquele produzido a partir de farinha de trigo, sêmola/semolina de trigo ou sêmola/semolina de trigo durum.
- Massa alimentícia integral ou macarrão integral: é aquele produzido a partir de farinha de trigo e farinha de trigo integral e ou fibra de trigo.
- Massa alimentícia mista ou macarrão misto: atender legislação específica.
- Massa alimentícia recheada: é aquela contendo recheio preparado com diferentes substâncias alimentícias.
- Massa alimentícia de outros vegetais (especificar o vegetal): é aquela produzida a partir de farinhas e ou derivados de outros vegetais, excetuando-se o trigo.

A massa alimentícia tende a apresentar elevados teor de carboidratos e valor calórico, baixa qualidade proteica e reduzido teor de minerais e de fibras, já que tem a semolina ou a farinha de trigo como ingrediente presente em maior quantidade. Uma das estratégias para reverter este quadro é o uso de ingredientes que agreguem valor nutricional e funcional à massa, como ovos, vegetais desidratados (espinafre, beterraba e cenoura), farinhas de feijão, de soja, de banana verde, de milho ou de sorgo, ou até mesmo, a adição de fibras, com a de bambu.

Nos últimos anos, um cereal emergente tem despertado o interesse de muitos consumidores que buscam uma alimentação mais saudável: o arroz vermelho, uma versão integral e pigmentada, originária da China e que apresenta muitos benefícios à saúde. Sua coloração avermelhada deve-se à presença de corantes naturais, como as proantocianoidinas e antocianinas. Essas substâncias são potentes antioxidantes e combatem a ação de radicais livres no organismo, além de contribuírem para o controle da pressão arterial (atividade anti-hipertensiva) e a redução dos níveis de glicose no sangue (atividade anti-hiperglicemiante).

Outro componente bioativo presente no arroz vermelho é o  $\gamma$ -orizanol (gama orizanol), que apresenta um amplo espectro de efeitos benéficos à saúde, como propriedades que auxiliam no combate ao câncer, redução dos níveis de colesterol e triglicérides no sangue (atividade anti-hiperlipidêmica), ação anti-inflamatória e neuroprotetora.

O arroz vermelho aumenta a sensação de saciedade por ser rico em fibras e por possuir quantidades apreciáveis de amido resistente, um tipo de fibra prebiótica, que demora para ser digerido e ainda provoca reações benéficas ao organismo, como o aumento da quantidade de bactérias que compõem a flora intestinal do bem. O amido resistente também ajuda a reduzir a velocidade da liberação dos açúcares do alimento no sangue (índice glicêmico), prevenindo e auxiliando no tratamento do diabetes tipo 2.

Devido a essas propriedades, o arroz vermelho é uma excelente opção para o desenvolvimento de produtos mais saudáveis, com propriedades funcionais e de boa qualidade nutricional, além de ser isento de glúten.

Uma pesquisa realizada no Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro tem demonstrado que a utilização de farinha de arroz vermelho melhora a qualidade nutricional e funcional das massas, sem comprometer as características de cozimento.

Análises realizadas em amostras de farinha de arroz vermelho das cultivares Rubi, Virgínia e ENA AR 1601 – cultivar desenvolvida pelo Instituto de Agronomia da UFRRJ – apresentaram quantidade de amido resistente similar a de alimentos considerados fonte, como a farinha de banana verde. Todas as cultivares apresentaram atividade anti-hiperglicemiante, sendo que a cultivar Rubi apresentou eficiência similar à do medicamento sintético (acarbose), utilizado no tratamento de pessoas diabéticas. Além disso, todas as amostras de arroz apresentaram atividade anti-hipertensiva, ou seja, são capazes de auxiliar no controle e na redução da pressão alta.

Foram realizados testes comparativos entre a massa alimentícia feita apenas com semolina (controle) e as com semolina adicionadas de diferentes quantidades de farinha

26/02/2021

Massa alimentícia com arroz vermelho pode ser opção saudável e funcional para comer sem culpa | Ângulos

de arroz vermelho da cultivar Rubi. Todas as que receberam adição de farinha de arroz vermelho apresentaram maiores quantidades de minerais, de fibras, além da capacidade antioxidante e quantidade do pigmento natural (proantocianoidinas), em comparação ao controle.

A qualidade tecnológica das massas alimentícias é determinada pelos testes de cozimento (tempo de cozimento, aumento de peso, aumento de volume e perda de sólidos solúveis na água) e de textura. Foi constatado que as massas adicionadas de farinha de arroz vermelho não apresentaram diferença em comparação às massas controle (sem adição de farinha de arroz vermelho). Logo, as massas alimentícias adicionadas de arroz vermelho pode ser uma opção saudável, com qualidade nutricional e tecnológica, para se comer sem culpa.

Este conteúdo foi útil para você? ★★★★★



**CREA-RJ**

Conselho Regional de Engenharia  
e Agronomia do Rio de Janeiro

Rua Buenos Aires, 40  
Centro - Rio de Janeiro, RJ  
CEP 20070-022

### Fale com o CREA-RJ

(21) 2179-2007

Horário de funcionamento:  
Segunda a sexta-feira,  
das 9h às 17h30

Fale com a [Ouvidoria](#)

### Assine a Revista

Quero Assinar

## Certificado de apresentação de trabalho no VIII COINE - Congresso Internacional de Nutrição Especializada & Expo sem Glúten





**Certificado de premiação do trabalho no VIII COINE - Congresso Internacional de Nutrição Especializada & Expo sem Glúten**

