

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

FERNANDA SALAMONI BECKER

**CARACTERIZAÇÃO DE FARINHAS CRUAS E
EXTRUSADAS OBTIDAS A PARTIR DE GRÃOS
QUEBRADOS DE DIFERENTES GENÓTIPOS DE ARROZ**

Goiânia
2010

FERNANDA SALAMONI BECKER

**CARACTERIZAÇÃO DE FARINHAS CRUAS E
EXTRUSADAS OBTIDAS A PARTIR DE GRÃOS
QUEBRADOS DE DIFERENTES GENÓTIPOS DE ARROZ**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, como exigência para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Dr Eduardo da Costa Eifert

Co-orientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior

Goiânia
2010



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

FERNANDA SALAMONI BECKER

**CARACTERIZAÇÃO DE FARINHAS CRUAS E
EXTRUSADAS OBTIDAS A PARTIR DE GRÃOS
QUEBRADOS DE DIFERENTES GENÓTIPOS DE
ARROZ**

Dissertação DEFENDIDA e APROVADA em 31 de agosto de 2010, pela
Banca Examinadora constituída pelos membros:

A handwritten signature in purple ink, reading 'Rosângela Vera', is positioned above a horizontal line.

Profª Drª Rosângela Vera
EA/UFG

A handwritten signature in purple ink, reading 'Priscila Z. Bassinello', is positioned above a horizontal line.

Profª Drª Priscila Zaczuk Bassinello
Embrapa Arroz e Feijão

A handwritten signature in purple ink, reading 'Eduardo da Costa Eifert', is positioned above a horizontal line.

Prof. Dr. Eduardo da Costa Eifert
Orientador – Embrapa Arroz e Feijão

À minha mãe

Minha maior incentivadora, pelo apoio incondicional, ensinamentos, compreensão, cuidado, amizade, amor e por não ter medido esforços para a realização de mais um grande sonho.

Ao meu irmão

Pelo companheirismo, amizade, estímulo, amor e por me fazer sorrir nos momentos menos prováveis.

Ao meu namorado

Pela paciência, amor e por sempre me incentivar a alcançar vãos cada vez mais altos com confiança, empenho e determinação.

A minha família

Por todo o incentivo e por torcerem pelo meu sucesso e realização pessoal e profissional.

Aos meus amigos

Pelas palavras de apoio e esperança, pelos momentos de alegria e descontração e pela presença constante na minha vida.

A todos vocês,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus que ilumina o meu caminho com grandes oportunidades e grandes pessoas.

À minha família que soube transformar a saudade em estímulo e confiança; e pelo amor, princípios e valores que me transmitiram.

À minha mãe Ivani, fonte de amor e dedicação inesgotáveis.

Ao meu irmão Rodrigo, meu amor incondicional.

Ao meu namorado Thiago, pela compreensão nos momentos de ausência.

À Embrapa Arroz e Feijão, em nome do meu orientador Dr. Eduardo da Costa Eifert, pelo fornecimento das amostras, pelo usufruto dos laboratórios, pela orientação e aprendizado; à Dra. Priscila Zaczuk Bassinello pela atenção e pelos ensinamentos transmitidos; à MSc. Selma Nakamoto Koakuzu e toda a equipe do Laboratório de Grãos e Subprodutos, em especial a Rosângela, Renilda, Suely e Edmar, pela amizade, carinho e contribuição na realização deste trabalho.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Manoel Soares Soares Junior pelo profissionalismo, pelos valiosíssimos ensinamentos e pela amizade compartilhada.

À pesquisadora Dr^a Ana Vânia Carvalho, Embrapa Amazônia Oriental, pela extrusão das farinhas de arroz.

À minha amiga e colega de mestrado July-Ana Souza Tavares pela parceria na realização deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos e do Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, pelas grandes parcerias feitas e em especial a Prof^a Dr^a Clarissa Damiani pela amizade, pela confiança e por me incentivar a continuar na área da pesquisa.

Às amigas de todas as horas feitas no mestrado: Adriane Alexandre de Melo, Andréia Di Martins Carmo, Giselle Lima Paixão e Silva, July-Ana Souza Tavares, Karla Rúbia Ananias, Ludmila de Paula Czeder e Marise Baiocchi.

E, é claro, aos meus cachorrinhos Sophia e Thobias, por terem suportado meu mau humor, a falta de atenção e os curtos passeios pela pracinha.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

*"Se enxerguei mais longe foi
porque me apoiei sobre os
ombros de gigantes"*

Isaac Newton

RESUMO

Objetivou-se neste trabalho caracterizar farinhas cruas e pré-gelatinizadas obtidas a partir de grãos quebrados de diferentes genótipos de arroz. Utilizou-se grãos de arroz das cultivares IRGA 417, BRS Primavera e da linhagem CNA 8502, safra 2008. As farinhas cruas e extrusadas foram caracterizadas quanto ao índice de expansão (IE), cor, granulometria, microscopia eletrônica de varredura (MEV), composição centesimal, teor de amilose, índices de absorção e solubilidade em água (IAA/ISA) e em leite (IAL/ISL), índice de absorção em óleo (IAO) e propriedades viscoamilográficas. A cv. IRGA 417 apresentou maior IE dentre os extrusados. As farinhas cruas e extrusadas diferenciaram-se nos parâmetros de cor, com escurecimento, amarelecimento e avermelhamento após a extrusão. As farinhas de arroz cruas e extrusadas da IRGA 417 e BRS Primavera e a extrusada da CNA 8502 apresentaram percentual superior a 90% de partículas finas ($< 250 \mu\text{m}$). Pela MEV observou-se nas farinhas cruas a presença de componentes íntegros soltos ou aglomerados, enquanto que nas extrusadas estes apresentaram-se como uma massa compacta, amorfa. A extrusão não exerceu efeito no conteúdo de cinzas, tendo-se apenas o efeito de genótipo. As farinhas apresentaram seu conteúdo de umidade e lipídios reduzidos após a extrusão, enquanto que o conteúdo protéico manteve-se inalterado na cv. IRGA 417 e linhagem CNA 8502, aumentando na cv. BRS Primavera. A extrusão aumentou o conteúdo médio de amilose nas farinhas. Os índices IAA, ISA, IAO, IAL e ISL aumentaram com a extrusão, sendo os IAL e ISL maiores que os de IAA e ISA nas farinhas cruas e extrusadas dos diferentes genótipos. A viscosidade inicial das farinhas cruas foi baixa, com pico de viscosidade alto e posterior quebra da viscosidade, além de alta tendência a retrogradação. Nas farinhas extrusadas, baixos valores de pico de viscosidade, viscosidade final, quebra de viscosidade e tendência a retrogradação foram observados. A extrusão exerceu modificações nas propriedades físicas, na maioria das propriedades químicas e nas características tecnológicas das farinhas de arroz, variando, algumas vezes, entre os materiais genéticos estudados.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., subproduto, extrusão.

CHARACTERIZATION OF RAW AND EXTRUDED FLOURS OBTAINED FROM BROKEN GRAINS OF DIFFERENT GENOTYPES OF RICE

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize raw and pre-gelatinized flours obtained from broken grains of different genotypes of rice. Were used grains of rice cultivar IRGA 417, BRS Primavera and CNA 8502, vintage 2008. The raw and extruded flours were characterized physically as the expansion index (EI), color, texture, scanning electron microscopy (SRM), chemical composition, amylose content, water absorption and water solubility index (WAI / WSI) and milk (MAI/MSI), oil absorption index (OAI) and viscoamylographic properties. The cultivar IRGA 417 showed higher IE from the extrudates. The raw and extruded flours were differentiated to the parameters of color, browning, yellowing and reddening after extrusion. The raw and extruded rice flours from IRGA 417 and BRS Primavera and extruded CNA 8502 had a percentage higher than 90% of fine particles (< 250 microns). The SRM was observed in the presence of raw flours components intact or loose clusters, while in the extruded they presented themselves as a compact mass, amorphous. Extrusion had no effect on ash content and it was only the effect of genotype. The flours had its moisture content and lipid reduced after extrusion, while the protein content remained unchanged in IRGA 417 and CNA 8502, increasing in BRS Primavera. Extrusion increased the average amylose content in flour. The WAI, WSI, OAI, and MSI increased with the extrusion, and the MAL and MSL higher than those of WAI and WSI in raw and extruded flours of different genotypes. The initial viscosity of the raw flours was low, with high peak viscosity and subsequent drop in viscosity and high retrogradation. The flours extruded, low values of peak viscosity, final viscosity, breakdown viscosity and retrogradation were observed. Extrusion changed in physical properties in most chemical properties and technological characteristics of rice flour, varying, sometimes between genetic materials.

Key words: *Oryza sativa* L., by product, extrusion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Estrutura do grão de arroz.....	15
Figura 2.	Beneficiamento do arroz em casca com as proporções aproximadas de seus produtos e subprodutos.....	19
Figura 3.	Desenho esquemático de um extrusor de rosca simples.....	22
Figura 4.	Estrutura da amilose.....	24
Figura 5.	Estrutura da amilopectina.....	25
Figura 6.	Classificação das cadeias de amilopectina em tipo A, B e C.....	26
Figura 7.	Extrusora INBRAMAQ, modelo RXPQ Labor 24.....	30
Figura 8.	Paquímetro digital Litz.....	31
Figura 9.	Micrografias das farinhas de arroz em microscópio eletrônico de varredura sob aumento de 120x. Farinhas cruas: (a) IRGA 417; (b) BRS Primavera; (c) CNA 8502. Farinhas extrusadas: (d) IRGA 417; (e) BRS Primavera; (f) CNA 8502.....	50
Figura 10.	Micrografias das farinhas de arroz em microscópio eletrônico de varredura sob aumento de 500x. Farinhas cruas: (a) IRGA 417; (b) BRS Primavera; (c) CNA 8502. Farinhas extrusadas: (d) IRGA 417; (e) BRS Primavera; (f) CNA 8502.....	51
Figura 11.	Micrografias das farinhas de arroz em microscópio eletrônico de varredura sob aumento de 2000x. Farinhas cruas: (a) IRGA 417; (b) BRS Primavera; (c) CNA 8502. Farinhas extrusadas: (d) IRGA 417; (e) BRS Primavera; (f) CNA 8502.....	51
Figura 12.	Perfis das curvas de viscosidade das farinhas cruas e extrusadas das cultivares IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Classificação do teor de amilose em arroz.....	34
Tabela 2.	Médias e desvio padrão da composição centesimal das farinhas de arroz cruas e extrusadas das cultivares IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502.....	39
Tabela 3.	Teor de amilose das farinhas de arroz cruas e extrusadas das cultivares IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502.....	43
Tabela 4.	Índice de expansão dos extrusados das cultivares IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502.....	44
Tabela 5.	Valores médios seguidos pelos desvios-padrão da luminosidade (L*) e coordenadas de cromaticidade a* e b* das farinhas cruas e extrusadas das cultivares IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502.....	46
Tabela 6.	Perfil granulométrico da farinha crua e extrusada da cultivar IRGA 417.....	48
Tabela 7.	Perfil granulométrico da farinha crua e extrusada da cultivar BRS Primavera.....	48
Tabela 8.	Perfil granulométrico da farinha crua e extrusada da linhagem CNA 8502.....	48
Tabela 9.	Índice de absorção em água das farinhas de arroz cruas e extrusadas das cultivares IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502.....	52
Tabela 10.	Índice de solubilidade em água (ISA) das farinhas de arroz cruas e extrusadas das cultivares IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502.....	54
Tabela 11.	Índice de absorção em óleo (IAO) das farinhas de arroz cruas e extrusadas das cvs. IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502.....	55
Tabela 12.	Índice de absorção em leite (IAL) das farinhas de arroz cruas e extrusadas das cultivares IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502.....	56
Tabela 13.	Índice de solubilidade em leite (ISL) das farinhas de arroz cruas e extrusadas das cultivares IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502.....	57
Tabela 14.	Pico de viscosidade, viscosidade final, quebra de viscosidade (<i>breakdown</i>) e tendência à retrogradação (<i>setback</i>) das farinhas de arroz cruas e extrusadas das cultivares IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502.....	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1	ARROZ.....	15
2.2	BENEFICIAMENTO DO ARROZ.....	18
2.3	FARINHA DE ARROZ.....	20
2.4	EXTRUSÃO.....	21
2.5	AMIDO.....	23
3	OBJETIVOS	28
3.1	OBJETIVO GERAL	28
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
4	MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1	MATERIAL.....	29
4.2	MÉTODOS.....	29
4.2.1	Tratamentos e delineamento experimental.....	29
4.2.2	Obtenção das farinhas de arroz.....	29
4.2.3	Obtenção dos extrusados de farinhas de arroz.....	29
4.2.3.1	Condicionamento da umidade.....	29
4.2.3.2	Extrusão.....	30
4.2.4	Caracterização física das farinhas cruas e extrusadas.....	31
4.2.4.1	Índice de expansão (IE).....	31
4.2.4.2	Parâmetros instrumentais de cor.....	32
4.2.4.3	Granulometria.....	32
4.2.4.4	Microscopia eletrônica de varredura.....	32
4.2.5	Caracterização química das farinhas cruas e extrusadas.....	32
4.2.5.1	Composição centesimal.....	32
4.2.5.2	Teor de amilose.....	32
4.2.6	Caracterização tecnológica das farinhas cruas e extrusadas.....	34
4.2.6.1	Índice de absorção de água (IAA).....	34
4.2.6.2	Índice de solubilidade em água (ISA).....	35
4.2.6.3	Índice de absorção em óleo (IAO).....	35
4.2.6.4	Índice de absorção em leite (IAL).....	36
4.2.6.5	Índice de solubilidade em leite (ISA).....	37

4.2.6.6	Propriedades viscoamilográficas.....	37
4.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS FARINHAS CRUAS E EXTRUSADAS.....	39
5.1.1	Composição centesimal	39
5.1.1.1	Umidade.....	39
5.1.1.2	Cinzas.....	40
5.1.1.3	Lipídios.....	41
5.1.1.4	Proteínas.....	42
5.1.2	Teor de amilose	42
5.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS FARINHAS CRUAS E EXTRUSADAS.....	44
5.2.1	Índice de expansão (IE)	44
5.2.2	Parâmetros instrumentais de cor	45
5.2.3	Granulometria	48
5.2.4	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	50
5.3	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS FARINHAS CRUAS E EXTRUSADAS.....	52
5.3.1	Índice de absorção de água (IAA)	52
5.3.2	Índice de solubilidade em água (ISA)	54
5.3.3	Índice de absorção em óleo (IAO)	55
5.3.4	Índice de absorção em leite (IAL)	56
5.3.5	Índice de solubilidade em leite (ISL)	57
5.3.6	Propriedades viscoamilográficas	58
5.3.6.1	Pico de viscosidade (PV).....	59
5.3.6.2	Viscosidade final.....	61
5.3.6.3	Quebra de viscosidade (<i>Breakdown</i>).....	61
5.3.6.4	Tendência a retrogradação (<i>Setback</i>).....	62
6	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS	65
	APÊNDICES	76

1 INTRODUÇÃO

Os cereais de maior importância mundial são o trigo, o milho e o arroz, constituindo a base da alimentação humana e contribuindo com cerca da metade da ingestão energética e protéica dos indivíduos (FAO, 2007; JULIANO, 1993). Os dois primeiros cereais são reconhecidamente importantes ingredientes alimentares, normalmente transformados em farinha ou amido antes do consumo, ao contrário do arroz, que no Brasil é consumido principalmente na forma de grãos inteiros, que podem ser polidos, parboilizados e integrais (CASTRO et al., 1999; CAVALHEIRO; MISSIO; GULARTE, 2007).

Representando cerca de 20% da ingestão mundial de energia e 15% do aporte de proteína, o arroz é o alimento básico de dois terços da humanidade (FERREIRA; DEL VILLAR, 2004; KENNEDY; BURLINGAME, 2003). Em países mais pobres do Continente Asiático, o consumo de arroz perfaz mais da metade do aporte energético e protéico dessas populações (MACLEAN et.al, 2002).

Cultivado em mais de cem países em todos os continentes, exceto a Antártida (JULIANO, 1993), no Brasil, o arroz assumiu grande importância social, econômica e política desde os tempos coloniais, alçando o País à condição de seu maior produtor no hemisfério ocidental (FAO, 2007; PEREIRA, 2002). O Brasil ocupa a décima posição no ranking mundial de produção de arroz, sendo os maiores produtores os países asiáticos China, Índia e Indonésia com mais de 50% da produção mundial (FAO, 2007).

O fruto das gramíneas é um fruto-semente conhecido como grão ou cariopse, constituído pela casca, película, germe e endosperma amiláceo (VIEIRA; RABELO, 2006), classificado quanto ao beneficiamento em arroz integral, arroz parboilizado integral, arroz polido e arroz parboilizado polido (BRASIL, 2009). Para obtenção do produto beneficiado polido, o arroz passa pelo descasque (extração de 20-22% de casca), pela brunição e pelo polimento (retirada, parcial ou totalmente, do embrião e da maior parte da película que recobre o grão), resultando no subproduto farelo (8% do volume do produto em casca) (CASTRO et al., 1999). Na etapa de separação, obtêm-se as frações de grãos quebrados (14%) e inteiros (58%), e ocorre a classificação dos grãos quebrados em grandes, médios e quirera. O endosperma contém basicamente amido e é o produto final mais consumido pela população brasileira (BASSINELLO; CASTRO, 2004; CASTRO et al., 1999).

Os grãos quebrados e a quirera, subprodutos do beneficiamento do arroz, representam aproximadamente 14% do total de arroz branco beneficiado, com valor comercial de cerca de 1/5 do preço em relação aos grãos inteiros e utilizados basicamente na indústria cervejeira, em

vinícolas e na alimentação animal (CARVALHO; VIEIRA, 1999; CASTRO et al., 1999; LIMBERGER et al., 2008). Considerando a composição química desse subproduto, rico em amido (75-80%), uma das alternativas para agregar valor aos grãos quebrados seria a produção de farinha de arroz (CARVALHO; VIEIRA, 1999; SHENG, 1995).

A farinha de arroz já é utilizada, ainda que de forma insipiente, pela indústria alimentícia na produção de alimentos instantâneos, produtos cárneos, alimentos para bebês, produtos como mingaus, cremes e pó para pudins dentre outros (CARVALHO; VIEIRA, 1999; NABESHIMA; EL-DASH, 2004).

Modificações físicas alteram as propriedades de farinhas ricas em amido, sendo uma alternativa para aprimorar as propriedades de amidos nativos. A extrusão permite produzir modificações pela compressão da matéria-prima amilácea que é forçada contra uma matriz ou molde, em condições de aquecimento e pressão que levam a geleificação do amido (HAGENIMANA; DING; FANG, 2006; LEONEL et al., 2006).

Estudos têm mostrado a utilização do processo da extrusão com o arroz (BORGES, 2002; CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002; GÓMEZ, 1997; MENDONÇA, 2005; SILVA, 2002; SILVA, 2007; WANG et al., 1999b). As vantagens de usar este cereal na elaboração de *snacks*, massas alimentícias, farinhas instantâneas e cereais matinais consiste no fato de que o arroz não é alergênico, é livre de glúten, tem baixo teor de sódio e somente traços de lipídios, é uma fonte importante de vitaminas e minerais, e tem aproximadamente 7 % de proteína de alta qualidade (DZIEZAK, 1991; GÓMEZ, 1997).

As características de cocção do arroz são definidas por propriedades que compreendem a cultivar, as práticas pós-colheita, como bom rendimento no beneficiamento, e propriedades físicas e químicas, particularmente o teor de amilose, a estrutura da amilopectina, o conteúdo de proteínas e a temperatura de gelatinização (VIEIRA; CARVALHO, 1999; JULIANO, 1993).

As cultivares de arroz IRGA 417, BRS Primavera e a linhagem CNA 8502 possuem teor de amilose intermediário (22 a 27%), porém apresentam comportamentos distintos durante a cocção. Enquanto as cvs. IRGA 417 e BRS Primavera têm um tempo médio de cozimento de 10 min., resultando em grãos macios e levemente soltos, a linhagem CNA 8502 apresenta maior tempo de cozimento (26 min.), com grãos macios e levemente pegajosos. Assim, este estudo tem como objetivo analisar as mudanças ocorridas nas características físicas e químicas, e nas propriedades tecnológicas de farinhas obtidas a partir de grãos quebrados de genótipos de arroz, pelo uso da extrusão, visando ampliar a utilização destas farinhas pela indústria de alimentos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ARROZ

O arroz (*Oryza sativa* L.) pertence à Divisão Magnoliophyta, Classe Liliopsida, tribo Oryzeae, família Poaceae, subfamília Oryzoideae e ao gênero *Oryza* (WATANABE, 1997). Das mais de vinte espécies de arroz conhecidas (LU, 1999), existem apenas duas formas domesticadas: *Oryza sativa* L. na Ásia e *Oryza glaberrima* Steud. na África ocidental, sendo que a espécie *Oryza sativa* L. é cultivada em maior número e está amplamente distribuída nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia, Europa, Austrália e Américas do Sul, Central e Norte (PROCHNOW, 2002).

Botanicamente, o arroz é o fruto-semente das gramíneas, conhecido como cariopse ou grão, cujo tegumento, testa, que envolve a semente, encontra-se diretamente ligado ao pericarpo, membrana que envolve o fruto. No caso do arroz, toda essa estrutura encontra-se envolvida pelas glumas, lema e pálea, que constituem a casca, e são removidas durante o beneficiamento do produto para consumo (Figura 1) (VIEIRA; RABELO, 2006).

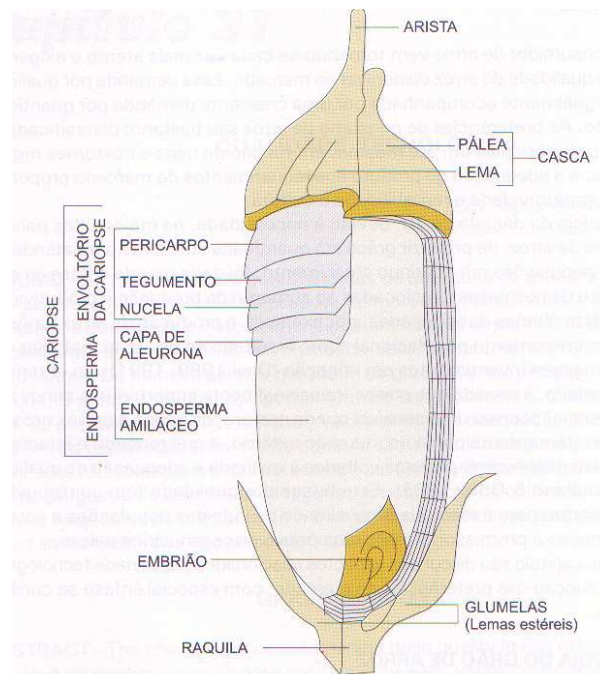


Figura 1. Estrutura do grão de arroz
Fonte: Vieira e Rabelo (2006)

A espécie de arroz *Oryza sativa* L compreende três subespécies: Índica, Japônica e Javânica (JULIANO, 1993). O grupo índico, chamado “continental”, é o mais cultivado nas regiões tropicais do Brasil, Índia, Borna e Ceilão (PEREIRA, 2002). Morfologicamente, este grupo caracteriza-se por possuir colmos longos, alta capacidade de perfilhamento, folhas longas e decumbentes, além de ciclo tardio (CHANG, 1976). O grupo japonico compreende as variedades tropicais cultivadas nas regiões temperadas do Japão, Itália, Espanha e Egito (PEREIRA, 2002), possuindo colmos curtos e rígidos, mediana capacidade de perfilhamento, folhas estreitas de cor verde-escuro e ciclo curto (CHANG, 1976). As variedades do grupo javânica são consideradas intermediárias entre os grupos índica e japônica, sendo cultivadas nas regiões equatoriais da Indonésia (PEREIRA, 2002).

Existem várias versões sobre a origem das primeiras culturas de arroz, embora, entre os historiadores, a mais popular assinale a China como o primeiro país em que se desenvolveu a cultura deste cereal, apesar de reconhecerem que foi na Índia onde primeiro foi encontrado na sua forma selvagem (PEREIRA, 2002).

O cultivo do arroz teve início nas Américas, em data pré-colombiana, trazido por colonizadores espanhóis, portugueses e holandeses e, no Brasil foi introduzido quando as caravelas de Pedro Álvares Cabral aportaram na Bahia, no século XVI (CASTRO et al., 2005). No século XVII, a rizicultura foi introduzida no Maranhão, onde consolidou sua importância social e econômica ao longo dos períodos colonial e imperial, permitindo que, nos séculos XVIII e XIX, o país obtivesse êxitos nas exportações deste cereal (PEREIRA, 2002).

O cultivo do arroz no Brasil se dá em dois ecossistemas: o de várzea e o de terras altas (GUIMARÃES et al., 2006). O ecossistema de várzea é dividido em sistema irrigado por inundação e sistema por irrigação não controlada (várzea úmida), enquanto o ecossistema de terras altas pode ser em sistema de sequeiro tradicional, onde a disponibilidade de água para a cultura é totalmente dependente da precipitação pluvial, ou sistema de sequeiro sob irrigação suplementar por aspersão (MORAES et al., 2004). O sistema de produção de arroz irrigado por inundação é o mais expressivo, representando 80% do arroz produzido no mundo, responsável por, aproximadamente, 93% da produção total (EMBRAPA, 2007).

A orizicultura irrigada é responsável por 65% da produção nacional, porém, com baixa rentabilidade, em função do alto custo de produção e de distorções de mercado devido à pequena variação de sistemas produtivos, que utilizam modernas técnicas de produção, permitindo elevada produtividade e grãos com características mais uniformes e de melhor aceitação no mercado (FERREIRA et al., 2005).

No Brasil, o cultivo de arroz irrigado tem destaque na região Sul, nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, ocupando, estes Estados, cerca de 37% da área cultivada com arroz e com mais de 60% da produção nacional. A produção de arroz irrigado não é significativa nas demais regiões (EMBRAPA, 2005; FERREIRA et al., 2005).

O arroz de terras altas é caracterizado pela condição aeróbica de desenvolvimento radicular da planta, encontrado predominantemente no Brasil, sendo a região Centro-Oeste a mais importante no seu cultivo (GUIMARÃES et al., 2006). Esse sistema de cultivo apresenta-se com uma ampla variabilidade de sistemas produtivos com produtividade menor, mas que vem apresentando significativa evolução tecnológica nos últimos anos (FERREIRA et al., 2005).

As cultivares de arroz de terras altas têm conseguido atender, de forma parcial, as demandas agrônômicas e de qualidade dos grãos, contribuindo para que a cultura se torne mais competitiva em relação ao arroz irrigado dos Estados do Sul (FERREIRA; MÉNDEZ DEL VILLAR; ALMEIDA, 2005).

Com relação à produção mundial, o arroz é produzido nos cinco continentes, com área plantada de 150 milhões de hectares e produção anual de 600 milhões de toneladas de arroz em casca, sendo considerado um dos cereais mais produzidos e consumidos em todo o mundo (SANTOS; STONE; VIEIRA, 2006).

O Brasil destaca-se como o maior produtor de arroz da América Latina e o décimo maior produtor mundial (FAO, 2007). O país obteve um crescimento de 7,7% na produção de arroz em casca, em relação à safra de arroz 2007/2008, com produção de 12.605,5 mil toneladas de arroz em casca na safra 2008/2009 e a perspectiva para a safra 2009/2010 é de 11.487,7 mil toneladas, com queda de 8,8% na produção devida a perda ocorrida na região Nordeste onde houve diminuição de 16,2 mil toneladas. Os maiores estados produtores são o Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Mato Grosso, com produção de 7.905,9; 1.039,7 e 803,9 mil toneladas na safra 2008/2009; Goiás teve uma produção de 255, 2 mil toneladas ocupando a sétima posição na produção Nacional (CONAB, 2010).

As três principais formas de consumo de arroz no Brasil, em função do processamento pós-colheita são o arroz polido, o integral e o parboilizado, sendo o arroz polido a forma predominantemente consumida na maioria das regiões brasileiras, seguido pelo arroz parboilizado, consumido de forma localizada no Estado de Santa Catarina, onde se concentra o maior número de indústrias de parboilização e por último, o arroz integral, restringindo-se a uma pequena parcela da população com hábitos de consumo mais sofisticados e de maior poder aquisitivo (SANTOS; STONE; VIEIRA, 2006).

As cultivares de arroz produzidas nos sistemas de várzea e terras altas podem ter características agrônômicas e tecnológicas diferentes. A cultivar IRGA 417 é cultivada no sistema de várzeas, apresenta teor intermediário de amilose ($22 < 27\%$), com rendimento industrial de 62% de grãos inteiros quando polidos e excelentes características de cocção (EMBRAPA, 2005; STORCK; SILVA; COMARELLA, 2005; MARTÍNEZ; CUERVAS, 1989), enquanto a linhagem CNA 8502, cultivada no sistema de várzeas, apresenta produtividade média de 5.550 Kg/ha, com rendimento médio de grãos inteiros de 62% e teor de amilose intermediário, porém com um desempenho ruim em testes de cocção, tornando-se pegajosa após o cozimento (EMBRAPA, 2000). A cultivar BRS Primavera, assim como a IRGA 417, destaca-se como altamente competitiva no quesito qualidade de grãos. Produzida no sistema de cultivo de terras altas, apresenta produtividade média de 3.200 Kg/ha, rendimento de grãos inteiros médio de 51% e teor de amilose intermediária (PINHEIRO; FERREIRA, 2003; MORAIS et al., 2004).

2.2 BENEFICIAMENTO DO ARROZ

De acordo com a Portaria nº 269/88 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, o arroz é classificado em grupos, subgrupos, classes e tipos. Conforme a forma de apresentação é classificado em arroz em casca e arroz beneficiado. Dependendo das etapas do beneficiamento submetido, o arroz é ordenado em grupos: integral, parboilizado, parboilizado integral e polido. O arroz beneficiado é distribuído em cinco classes, de acordo com suas dimensões: longo fino, longo, médio, curto e misturado. Ainda na classificação do arroz, são considerados os grãos inteiros, quebrados e a quirera (BRASIL, 2009).

O arroz integral é o produto do qual somente se retira a casca durante o beneficiamento, mantendo-se intactos o germe e as camadas interna e externa do grão, sendo obtido a partir do arroz em casca natural ou parboilizado (BRASIL, 1988).

O arroz branco polido é obtido a partir da brunição e do polimento do grão integral. Apesar de ser mais rico em nutrientes que o arroz polido, o arroz integral é pouco consumido no Brasil, restringindo-se a uma pequena parcela da população com hábitos de consumo mais sofisticados e de maior poder aquisitivo (VIEIRA; RABELO, 2006).

O parboilizado integral pode ser uma melhor alternativa para os apreciadores de arroz integral, obtido como o parboilizado, porém não sofre a operação de polimento no engenho (AMATO; CARVALHO; SILVEIRA FILHO, 2002).

Os grãos de arroz, após serem colhidos, são limpos utilizando-se máquinas contendo sistema de ventilação e peneiras para remoção de impurezas como folhas, galhos, outras sementes e pedras (FERREIRA; YOKOYAMA, 1999).

O beneficiamento dos grãos de arroz inicia-se após a limpeza e compreende o descascamento, onde é removido cerca de 20% de casca, seguida pelas etapas de brunimento e polimento, onde é extraído, parcial ou totalmente, o embrião e a maior parte do pericarpo que recobre o grão. Desta etapa, resulta o farelo que representa aproximadamente 8% da massa do produto em casca. Em seguida, segue-se a etapa de separação das frações de grãos quebrados (14%) e inteiros (58%). Ao final, realiza-se a separação das frações dos grãos quebrados em grandes, médios e quirera (Figura 2) (CASTRO et al., 1999).

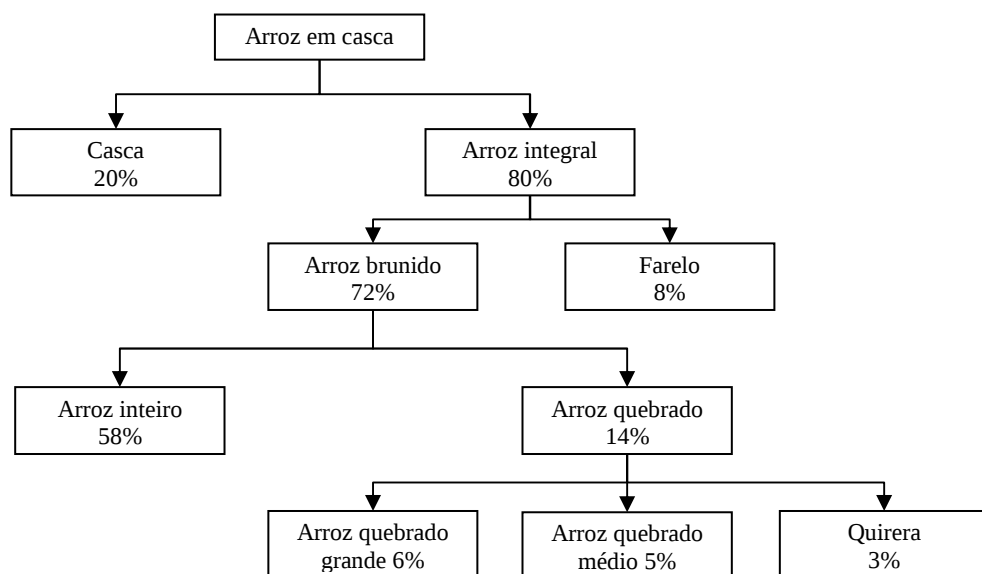


Figura 2. Beneficiamento do arroz em casca com as proporções aproximadas de seus produtos e subprodutos.

Fonte: Castro et al. (1999)

Considera-se grão quebrado, o pedaço de arroz que fica retido na peneira de 1,6 mm de diâmetro e apresenta comprimento inferior a três quartas partes do comprimento mínimo da classe a que pertence. Enquanto que a quirera é a parte que passa na referida peneira (BRASIL, 2009), sendo formada por fragmentos de grãos que se rompem durante o processo de beneficiamento e é decorrente do efeito da aplicação de uma força mecânica externa aos grãos, o que ocasiona a divisão em pequenos pedaços. Podem ser ainda resultantes de grãos fissurados, portadores de pequenas trincas decorrentes de ação mecânica interna originada de condições externas não mecânicas, ocasionadas durante o descasque (LOPES, 1989).

Durante o beneficiamento os grãos de arroz são submetidos a várias forças de impacto, cisalhamento e fricção principalmente nas etapas de descasque e polimento, sendo que a magnitude dos danos causados durante o processamento depende das propriedades físicas e mecânicas dos grãos (CÔRREA et al., 2007).

Além do manejo dos equipamentos, as causas de quebra do grão no beneficiamento seriam por razões inerentes ao próprio grão, como grãos gessados, mal formados ou danificados, conseqüentemente mais susceptíveis à fragmentação durante o descascamento e polimento. Outro fator é secagem, que se for mal conduzida pode contribuir para a quebra dos grãos (CASTRO et al., 1999).

2.3 FARINHA DE ARROZ

As farinhas de arroz vêm sendo utilizadas para preencher necessidades particulares da indústria ou do consumidor, tais como alimentos infantis, produtos cárneos, formulação de panquecas e waffles, cereais matinais, massa e farinha para empanados ou como parte da formulação de pães, massas de pizza e muffins, além de serem muito utilizadas nas formulações de produtos alimentícios para portadores de doença celíaca (DEOBALD, 1972; BEAN; NISHITA, 1985).

Apesar de apresentar menor custo, a farinha de arroz não possui volume de produção expressivo por não apresentar aplicação competitiva em relação à farinha de trigo; mas possui algumas vantagens especiais que a torna um importante ingrediente alimentício como, não ser alergênica; resultar de variedades com ampla faixa de teor de amilose, o que permite a seleção de acordo com a finalidade; não ser tóxica para portadores de doença celíaca, podendo ser utilizada como substituto do trigo na elaboração de produtos sem glúten (DEOBALD, 1972; TORRES et al., 1999).

Para a indústria de extrusão, a farinha de arroz tem se tornado um ingrediente atrativo devido a seus atributos únicos como textura extremamente suave, sabor e aroma brandos, cor branca atrativa, hipoalergenicidade, possuir alta proporção de carboidratos facilmente digeríveis e baixos níveis de sódio (KADAN; BRYANT; PEPPERMAN, 2003; POLANCO et al., 1995).

Farinha e amidos pré-gelatinizados podem ser usados para obter espessamento ou retenção de água sem emprego de calor como em pudins, misturas lácteas instantâneas e alimentos matinais; para preparar misturas prontas panificáveis, onde o aumento da absorção e retenção de água melhoram a qualidade do produto (POWELL, 1965).

A pré-gelatinização de farinhas de cereais como o arroz pode ser obtida em escala industrial por utilização de atomizadores, secagem em rolos e por extrusão. O processo de extrusão apresenta-se como um dos mais vantajosos para substituir o processo convencional na produção de farinhas pré-gelatinizadas por apresentar controle mais rigoroso do grau de gelatinização, onde pequenas modificações no equipamento e/ou matéria-prima podem levar a diferentes resultados finais na qualidade do produto (EL-DASH, 1982).

2.4 EXTRUSÃO

A extrusão é um processo de tratamento térmico que por uma combinação de calor, umidade e trabalho mecânico modifica as matérias-primas proporcionando novas formas e estruturas com novas características funcionais e nutricionais (SEBIO, 1996). O processo promove a gelatinização do amido, a desnaturação e re-orientação das proteínas, a inativação enzimática, a destruição de substâncias como inibidores de proteases e a redução da carga microbiana para formar um produto de características físicas e geométricas pré-determinadas (THAKUR; SAXENA, 2000).

O cozimento por extrusão tem alguns aspectos ímpares comparados a outros processos térmicos, especialmente porque na extrusão o material é submetido a um intenso cisalhamento mecânico, sendo capaz de romper ligações covalentes de biopolímeros. A intensa ruptura estrutural acompanhada de mistura facilita reações que em outros processos seriam limitadas pela difusão dos reagentes e dos produtos (ASP; BJÖERCK, 1989).

O extrusor é composto de cinco partes principais: um mecanismo de alimentação, que pode ser vertical ou horizontal; uma rosca ou um parafuso sem fim, que transporta a matéria-prima; um cilindro ou canhão, que serve para controlar a temperatura; a matriz que modela o produto na forma desejada, e um mecanismo de corte, essencial para a formação do produto extrusado (EL-DASH, 1981). Um esquema de um extrusor é apresentado na Figura 3.

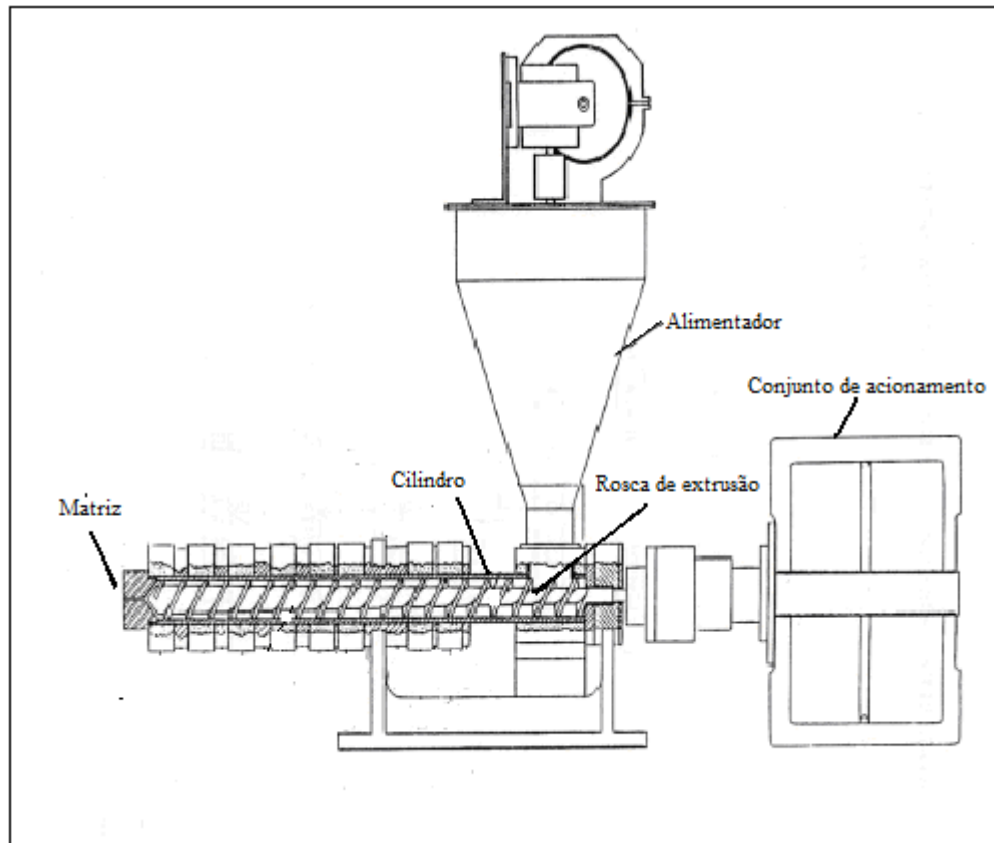


Figura 3. Desenho esquemático de um extrusor de rosca simples
Fonte: Sebío (2006), com adaptações.

O alimentador é onde se introduz a mistura previamente homogeneizada e umedecida, devendo ser a alimentação mantida em velocidade constante e contínua para manter a homogeneidade no processo. É nesta seção que o material é misturado e aquecido (VILELA, 1989; YACU, 1990).

O parafuso sem fim ou rosca pode ser considerado a parte essencial do extrusor. A ele são atribuídas as funções de misturar a massa, conduzi-la pelo cilindro, elevar a temperatura e a pressão pelo atrito com as paredes do cilindro e forçar a massa através da matriz (AREAS, 1992; YAYLAYAN; FICHTALI; VAN DE VOORT, 1992; GUTKOSKI, 1997). A velocidade de rotação, o formato e tamanho, o espaçamento entre as ranhuras da rosca e entre o parafuso e o cilindro são responsáveis diretos pelas características finais do produto extrusado (YACU, 1990).

O extrusor pode ser constituído por um parafuso (extrusora mono rosca) ou por dois parafusos (extrusora dupla rosca) bem encaixados dentro de um cilindro. Os de mono-rosca são simples e de menor custo e têm atuação limitada às matérias-primas com umidade variando de 10 a 30% e baixo teor de lipídeos, enquanto que as extrusoras de dupla rosca são altamente versáteis, pois operam com umidade mais elevada (até 90%) com maior teor de

lipídeos, velocidade variada do parafuso e o seu mecanismo de transporte é independente das forças de atrito (JANSSEN, 1978 ; MARTELLI, 1983).

O cilindro nos extrusores é ranhurado na sua parte interna, evitando o deslizamento da massa, aumentando assim, a taxa de cisalhamento. Para propiciar uma maior flexibilidade e controle do processo, o cilindro é encamisado, permitindo a circulação de vapor ou água fria. Já a matriz do extrusor pode ter várias configurações, influenciando a forma e a textura dos produtos extrusados (HARPER, 1981).

No processo de extrusão a matéria-prima é convertida em uma massa fundida, devido às altas pressões e o grande cisalhamento, em temperaturas elevadas, dentro do extrusor, o que mantém a água em estado líquido. Quando essa massa fundida passa pela matriz do extrusor, ao final do cilindro ou canhão, a água líquida supersaturada vaporiza instantaneamente, devido à mudança de pressão, passando o produto de uma massa fundida a um produto poroso, após a sua solidificação à temperatura ambiente (AREAS, 1992).

O processo de extrusão tem proporcionado numerosas aplicações, sobretudo na indústria alimentícia, na qual há elaboração de produtos, tais como cereais matinais, petiscos, *snacks*, macarrões, alimentos à base de cereais enriquecidos com proteína, bebidas em pó e proteínas de soja texturizada, farinhas e amidos pré-gelatinizados utilizados na formulação de sopas de preparo rápido, molhos semi-processados, produtos de confeitaria, entre outros. Esses produtos geralmente são elaborados à base de cereais, como o milho e o arroz, e de amidos de raízes e tubérculos como a mandioca e a batata (BOONYASIRIKOOL; CHARUNUCH, 2000; CHEYNE; BARNES; WILSON, 2005; CHUANG; YEH, 2004).

2.5 AMIDO

O amido encontra-se amplamente distribuído em diversas espécies vegetais como um carboidrato de reserva, sendo abundante em grãos de cereais (40% a 90% do peso seco), leguminosas (30% a 50% do peso seco), tubérculos (65% a 85% do peso seco) e frutas imaturas ou verdes (40% a 70% do peso seco) (LAJOLO; MENEZES, 2006).

Principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados, uma vez que contribui para diversas propriedades de textura em alimentos, o amido possui aplicações industriais como espessante, estabilizador de colóides, agente gelificante e de volume, adesivo, na retenção de água, dentre outros (SINGH et al., 2003).

Estruturalmente, o amido é um homopolissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina e as proporções em que essas estruturas aparecem diferem em relação às fontes botânicas, variedades de uma mesma espécie e, mesmo numa mesma variedade, de acordo com a idade da planta (ELIASSON, 2004; TESTER; KARKALAS; QI, 2004).

A amilose é um polímero linear consistindo em média de 500 a 2.000 unidades de D-glicose unidas entre si por ligações glicosídicas α -1,4 (Figura 4). Poucas ligações glicosídicas de tipo α -1,6 são encontradas e grupos fosfatos também podem estar presentes (HOOVER, 2001), mas eles têm pouca influência no comportamento da molécula (BULÉON et al., 1998). O número de resíduos de glicose na amilose, também indicado pelo grau de polimerização (DP), varia com a espécie botânica da qual se originou. O conteúdo de amilose pode variar em média de 0 a 75%, sendo o valor típico de 20 a 25% do amido (RAMESH; THARANATHAN, 2003).

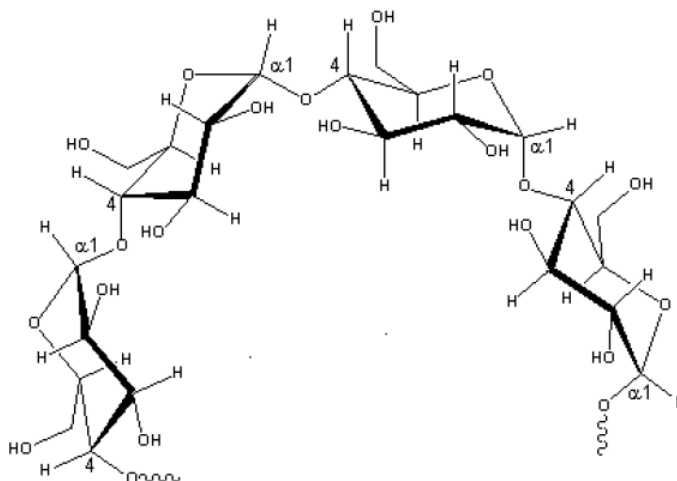


Figura 4. Estrutura da amilose
Fonte: Lajolo e Menezes (2006).

A amilopectina consiste de pequenas cadeias lineares unidas por ligações glicosídicas α -1,4 com 10-60 unidades de glicose e cadeias laterais ligadas por ligações glicosídicas α -1,6, consistindo de 15-45 unidades de glicose (Figura 5). A percentagem média de pontes de ramificação na amilopectina é de 5%, variando com a origem botânica. A molécula completa de amilopectina contém uma média de 2.000.000 unidades de glicose, sendo uma das maiores moléculas encontrada na natureza (VAN DER MAAREL et al., 2002).

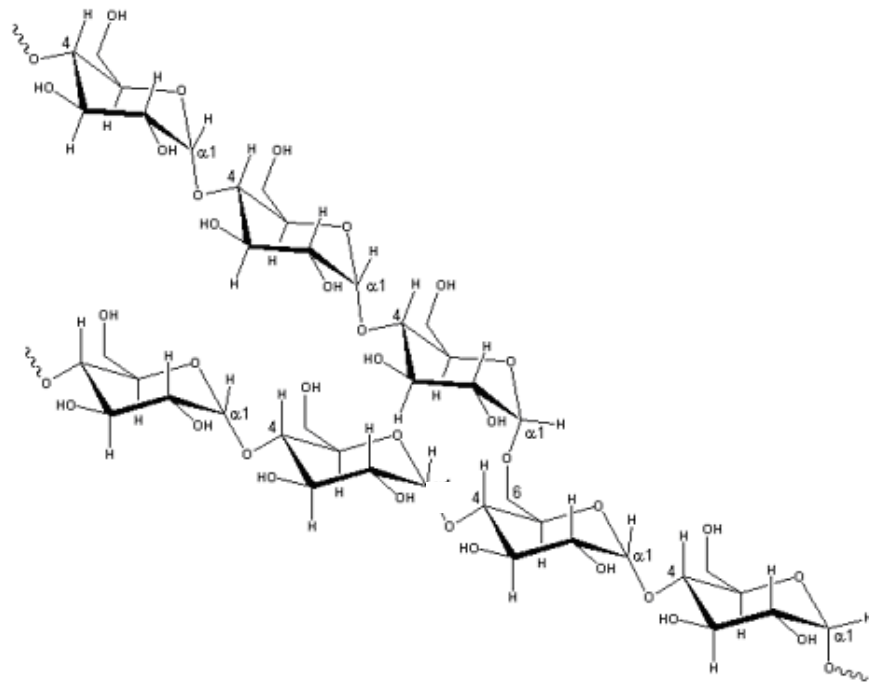


Figura 5. Estrutura da amilopectina
Fonte: Lajolo e Menezes (2006).

As cadeias de amilopectina estão organizadas de maneiras diferentes, sugerindo uma classificação de cadeias A, B e C (Figura 6). O tipo A é composto por uma cadeia não-redutora de glicoses unidas por ligações α -(1,4) sem ramificações, sendo unida a uma cadeia tipo B por meio de ligações α -(1,6). As cadeias do tipo B são compostas por glicoses ligadas em α -(1,4) e α -(1,6), contendo uma ou várias cadeias tipo A e podem conter cadeias tipo B unidas por meio de um grupo hidroxila primário. A cadeia C é única em uma molécula de amilopectina, sendo composta por ligações α -(1,4) e α -(1,6), com grupamento terminal redutor (ELIASSON, 1996; ELIASSON, 2004; VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004; LAJOLO; MENEZES, 2006).

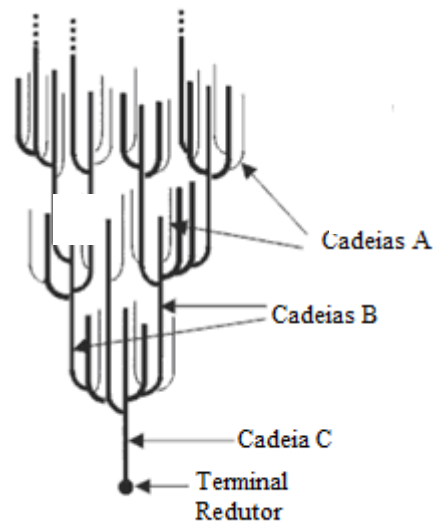


Figura 6. Classificação das cadeias de amilopectina em tipo A, B, C
 Fonte: Parker e Ring (2001).

Em seu estado nativo, o amido é insolúvel em água fria, apresentando grânulos parcialmente cristalinos e cuja morfologia, composição química e estrutura molecular são características de cada espécie em particular (BELLO-PÉREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006).

Os sítios de ligação da água são os grupos hidroxilas e os átomos de oxigênio no interior da D-glicose e a presença dos grupos hidroxilas acarretam natureza altamente hidrofílica ao amido. A insolubilidade do grânulo de amido é devida às fortes ligações de hidrogênio que mantêm as cadeias de amido unidas. Entretanto, na presença de água e aquecimento, a água é incorporada na estrutura do grânulo e componentes mais solúveis como a amilose, dissociam-se e difundem-se para fora do grânulo. Este processo é conhecido como gelatinização e a temperatura de sua ocorrência é chamada de temperatura de gelatinização (T_{gel}), que é dependente da origem botânica do amido. Com a gelatinização há um aumento da viscosidade do meio a qual atinge o seu máximo na T_{gel} e os grânulos de amido são totalmente quebrados, desaparecendo as regiões cristalinas do grânulo (COULTATE, 2002; PENG; ZHONGDONG; KENNEDY, 2007).

Quando a suspensão resultante é mantida em repouso, as moléculas de amido gelatinizado começam a se reassociar de forma ordenada e a água é exudada. Este processo é conhecido como retrogradação do amido e é específico para as moléculas de amilose (COULTATE, 2002). É um fenômeno complexo e depende de muitos fatores como a fonte de amido, concentração de amido, condições de aquecimento e resfriamento, pH e presença de solutos como lipídios e açúcares. Essa consiste de dois processos separados, o primeiro

refere-se à gelatinização das moléculas exsudadas de amilose dos grânulos durante a gelatinização e a segunda a recristalização da amilopectina (BELLO-PÉREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006).

Durante a gelatinização e a retrogradação ocorrem mudanças nos grânulos de amido que são os principais determinantes do comportamento de pasta desses amidos, que são medidas principalmente pelas mudanças de viscosidade durante o aquecimento e resfriamento de dispersões de amido usando equipamentos como o Rápido Visco Analisador (RVA), que registram a alteração de viscosidade de um sistema amido-água, sob agitação, em relação à temperatura e tempo (CEREDA, 2001).

O grânulo de amido natural tem uma capacidade limitada de absorver água fria. Durante o processo de cozimento por extrusão, o amido que apresenta inicialmente uma forma granular, é progressivamente comprimido e transformado em um material denso, sólido e compacto, desaparecendo sua estrutura cristalina e granular. As principais propriedades funcionais do amido extrusado quando disperso em água, são a absorção e solubilidade em água. Ele absorve água rapidamente, formando uma pasta à temperatura ambiente, sem qualquer aquecimento. O aumento da solubilidade com a gelatinização é a base para a elaboração de alimentos amiláceos pré-gelatinizados (CHANG et al., 2001).

Os amidos de diferentes fontes botânicas diferem entre si quanto à forma do grânulo, à proporção amilose-amilopectina e à propriedade de expansão. Isto deve ser levado em consideração na seleção de amidos a serem extrusados, principalmente quanto ao conteúdo de amilose e amilopectina, já que os dois polímeros contribuem para os atributos finais dos produtos extrusados (THOMAS; ATWELL, 1997).

Os produtos amiláceos podem expandir diferentemente de acordo com o seu conteúdo de amilose, sendo que esta diferença pode ser atribuída às propriedades viscoelásticas da molécula (DELLA VALLE et al., 1997). O componente amilose melhora a leveza, elasticidade, regularidade da superfície e textura dos produtos extrusados. Em contraste, a amilopectina acarreta dureza e perda de poder de expansão nos produtos extrusados (COLONNA et al., 1997). Aparentemente, o inchamento que ocorre no grânulo de amido é uma propriedade da amilopectina e as áreas cristalinas estabelecidas pela molécula determinariam o início do inchamento e da gelatinização do amido (LI; YEH, 2001).

A amilopectina do amido gelatinizado forma uma rede que aumenta a viscosidade do produto. Por ser um polímero ramificado, a amilopectina é susceptível à degradação no cisalhamento durante a extrusão, resultando em dextrinas e polímeros de cadeias curtas, o que dificulta a operação de corte após a extrusão (THOMAS; ATWELL, 1999).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar física, química e tecnologicamente, farinhas cruas e submetidas ao processo de extrusão obtidas de grãos quebrados de diferentes genótipos de arroz.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter farinhas cruas de arroz polido das cultivares BRS Primavera, IRGA 417 e da linhagem CNA 8502;
- Aplicar o processo de extrusão nas farinhas de arroz cruas;
- Determinar o índice de expansão dos extrusados;
- Avaliar as características físicas de cor, granulometria e microscopia das farinhas cruas e extrusadas;
- Analisar a composição centesimal (umidade, cinzas, lipídios e proteínas) das farinhas de arroz cruas e extrusadas;
- Quantificar o teor de amilose aparente das farinhas cruas e extrusadas;
- Determinar os índices de absorção em água (IAA), em leite (IAL), em óleo (IAO) e os índices de solubilidade em água (ISA) e em leite (ISL) das farinhas de arroz antes e após o processo de extrusão;
- Caracterizar as propriedades viscoamilográficas (pico de viscosidade, viscosidade final, quebra de viscosidade e tendência a retrogradação) das farinhas de arroz cruas e extrusadas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

Foram utilizados grãos de *Oryza sativa* L. das cultivares IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502, a primeira oriunda do Rio Grande do Sul e as demais do programa de melhoramento de arroz da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, Goiás, todas colhidas na safra de 2008.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos utilizados foram farinhas de diferentes genótipos de arroz (cultivares IRGA 417, BRS Primavera e linhagem CNA 8502) e os tratamentos industriais (cru e extrusão). Utilizou-se um delinamento inteiramente casualizado com quatro repetições, tipo fatorial 3x2, sendo três genótipos de arroz e dois tratamentos industriais (crua e extrusada).

4.2.2 Obtenção das farinhas de arroz

Após serem beneficiados e limpos, os grãos quebrados das cvs. IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502 foram moídos em moinho de facas Willey-Mill®, no Laboratório de Grãos e Subprodutos da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás – GO. O produto final foi homogeneizado e acondicionado em sacos plásticos de polietileno e armazenados sob temperatura ambiente até o momento da extrusão.

4.2.3 Obtenção dos extrusados de farinhas de arroz

4.2.3.1 Condicionamento da umidade

As farinhas de arroz foram condicionadas a 17% de umidade. A umidificação foi realizada com água destilada pulverizada com borrifador manual sobre a farinha, que foi revolvida continuamente com auxílio de uma espátula. A quantidade de água a ser adicionada às amostras foi calculada considerando-se a quantidade de farinha a ser extrusada e a sua umidade inicial conforme a Equação 1.

$$Qa = \frac{Uf - Ui}{100 - Uf} \times Ma$$

Equação 1

Na qual:

Qa = quantidade de água a ser adicionada (mL);

Uf = umidade final da amostra estabelecida (17%);

Ui = umidade inicial da amostra;

Ma = massa da amostra (g)

Após essa etapa, as farinhas foram armazenadas em sacos plásticos à temperatura de 7° C durante 24 horas até o momento da extrusão para homogeneização da umidade.

4.2.3.2 Extrusão

As farinhas de arroz foram extrusadas na Embrapa Amazônia Oriental, Manaus – AM, utilizando-se extrusora mono-roscas com capacidade de produção semi-industrial (modelo RXPQ Labor 24, INBRAMAQ – Indústria de Máquinas Ltda., Ribeirão Preto, Brasil) (Figura 7), de configuração e parafusos intercambiáveis, com controle de temperatura nas diferentes zonas de aquecimento e velocidade do parafuso regulável, por regulador e frequência.



Figura 7. Extrusora INBRAMAQ, modelo RXPQ Labor 24.

Fonte: Arquivo pessoal

A temperatura foi controlada por meio de termopares e sistema de refrigeração com água e válvulas solenóides. A alimentação da extrusora foi conduzida por um silo alimentador

com dosagem por gravidade. Acoplado à extrusora, existia um painel que controlava os parâmetros variáveis da extrusão.

Os parâmetros fixos da extrusão foram camisa helicoidal, rosca curta com taxa de compressão de 3:1, matriz circular com um furo com 3,85 mm de diâmetro; temperatura na primeira zona de aquecimento da extrusora de 40 °C; temperatura na segunda zona de aquecimento da extrusora de 60 °C; temperatura na terceira zona da extrusora de 80 °C; velocidade de alimentação de 218 g/min e velocidade do parafuso de 180 rpm.

No início de cada processamento por extrusão foi utilizada quirera de milho para estabilização da máquina, sendo introduzido, em seguida, um pouco de farinha de arroz com o objetivo de ambientar a extrusora. As farinhas só foram introduzidas na calha de alimentação quando a temperatura e rotação da rosca alcançavam os valores desejados. Ao final do processamento, as amostras de extrusados foram armazenadas em sacos de polietileno. Os extrusados foram moídos em moinho de facas Willey-Mill® e a farinha peneirada em tamis com malha de 60 Tyler/mesh (0,250 mm), no Laboratório de Grãos e Subprodutos da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás – GO e acondicionados em sacos de polietileno em temperatura ambiente.

4.2.4 Caracterização física das farinhas cruas e extrusadas

4.2.4.1 Índice de expansão (IE)

Para a medida do diâmetro dos extrusados utilizou-se paquímetro digital marca Litz (Figura 8). Os valores considerados foram obtidos pela média aritmética das medidas de 20 diferentes extrusados escolhidos aleatoriamente para as duas cultivares e a linhagem.



Figura 8. Paquímetro digital Litz

Fonte: Arquivo pessoal

O índice de expansão foi obtido logo após a extrusão e calculado pelo quociente entre o diâmetro dos extrusados e o diâmetro da matriz (3,85 mm) (Equação 2), conforme metodologia proposta por Faubion e Hosney (1982).

$$IE = \frac{\phi E}{\phi M}$$

Equação 2

Na qual:

IE = índice de expansão;

ϕE = diâmetro do extrusado;

ϕM = diâmetro da matriz.

4.2.4.2 Parâmetros instrumentais de cor

A cor das farinhas cruas e extrusadas foi avaliada em quadruplicata, através do sistema CIE L*a*b* em aparelho Color Quest XE (Hunter Lab, Estados Unidos da América). Foram estabelecidos os parâmetros: ângulo de observação 10° e iluminante D65, que corresponde a luz natural do dia. Os resultados foram expressos em valores L*, a* e b* (BIBLE; SINGHA, 1993), onde os valores de L* (luminosidade ou brilho) variam do preto (0) ao branco (100), os valores de a* variam do verde (-60) ao vermelho (+60) e os valores de b* variam do azul (-60) ao amarelo (+60).

4.2.4.3 Granulometria

A granulometria das farinhas cruas e extrusadas foi determinada pelo método nº 965.22 da AOAC (1995), modificando-se a série de peneiras. Alíquotas de 50 g de amostras foram submetidas à vibração por um período de 20 min, sob velocidade constante, em agitador de peneiras, modelo 2431 (PRODUTEST, Brasil). Utilizou-se um conjunto de peneiras de 48, 60, 80, 100, 150 e 200 mesh e fundo, com massas conhecidas. Após o tempo estipulado, a pesagem das peneiras com material retido foi realizada e determinou-se a distribuição do tamanho das partículas.

4.2.4.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As farinhas de arroz cruas e extrusadas das cvs. BRS IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502 foram fixadas sobre suportes (*stubs*), utilizando-se fita adesiva dupla face. Após fixação, a farinha foi coberta com uma fina camada de ouro em metalizador

(Balzers). O aspecto geral das farinhas foi avaliado em microscópio eletrônico de varredura (marca Zeiss), modelo DSM 940A, com aumentos de 120 x, 500x e 2000x.

4.2.5 Caracterização química das farinhas cruas e extrusadas

4.2.5.1 Composição centesimal

A composição centesimal (%) foi determinada nas farinhas cruas e extrusadas, peneiradas (60 mesh/Tyler), em quadruplicata, no Laboratório de Grãos e Subprodutos da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás – GO.

A umidade foi quantificada em estufa a 105 °C, até peso constante, conforme método oficial nº 925.10 da AOAC International (1997); a proteína bruta pelo método micro-Kjedahl, conforme metodologia oficial nº 960.52 da AOAC International (1997), utilizando o fator 5,95 para converter o teor de nitrogênio em proteína (FAO, 1970; XIE et al., 2008); lipídios totais por extração contínua em aparelho Soxhlet conforme metodologia oficial nº 920.39C da AOAC International (1997); resíduo mineral fixo por incineração total da matéria orgânica em forno mufla a 550 °C, como descrito no método oficial da AOAC International (1997).

4.2.5.2 Teor de amilose

A concentração da fração amilose do amido foi determinada nas farinhas cruas e extrusadas, em quadruplicata, por meio de técnica colorimétrica, desenvolvida por Martínéz e Cuevas (1989) e adaptada pelo Laboratório de Grãos e Subprodutos da Embrapa Arroz e Feijão.

Utilizou-se como indicador a solução de iodeto de potássio e o complexo formado foi medido em espectrofotômetro, no espectro visível ao comprimento de onda $\lambda = 620$ nm. Em 100 mg de farinha de arroz peneirada (60 mesh), pesada em balança analítica modelo FA2104N-BioPrecisa® com precisão 0,0001 g, foram adicionados 1 mL de álcool etílico 95% e 9 mL de solução de NaOH 1,0 N. Deixou-se em repouso, à temperatura ambiente, em balões volumétricos com tampa por 16 h para gelatinização do amido. Após esse processo, a amostra foi transferida para balão volumétrico de 100 mL de capacidade, completado o volume com água destilada e homogeneizado. De cada um dos balões que continham as amostras de amido gelatinizado, foram tomadas alíquotas de 5 mL com uma pipeta volumétrica para serem transferidas para balões de 100 mL e acidificadas com 1 mL de ácido acético 1 N. Foram acrescentados 2 mL do indicador de iodo, que ao reagir com o amido, formou um complexo de coloração azul; e a amostra então, foi homogeneizada.

A curva de calibração foi obtida utilizando-se diversas diluições de amilose de batata, código A-0512, Sigma[®]. Inicialmente foram pesados 40 mg de amilose e colocados em balões de 100 mL. Foram seguidos os mesmos passos realizados para gelatinizar o amido das amostras de arroz. Após gelatinizado o amido e completado o volume de balão, foram pipetadas alíquotas de 2, 3, 4, 5 e 6 mL e transferidas para os balões de 100 mL, obtendo-se cinco diluições da solução padrão. Depois foram colocados 0,2, 0,6, 0,8, 1,0 e 1,2 mL de ácido acético respectivamente e 0,8, 1,2, 1,6, 2,0 e 2,4 mL de iodo. Os balões foram completados com água destilada, agitados e deixados em repouso sob proteção da luz por 30 min, antes da realização das leituras. Utilizando-se espectrofotômetro, modelo 700 Plus-Femto[®], ao comprimento de onda de 620 nm, leu-se a absorção de luz de cada diluição da solução padrão e também das amostras, em triplicata. Como testemunhas, utilizaram-se as variedades Colômbia 1, Bluebonnet 50 e IR 8, pois estas apresentam teores de amilose baixo, intermediário e alto, respectivamente. As amostras foram classificadas de acordo com os teores de amilose apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação do teor de amilose em arroz.

Teor de amilose	(%)
Alto	$27 \leq 32$
Intermediário	$22 < 27$
Baixo	$11 \leq 22$

Fonte: Adaptado de Martínéz e Cuervas (1989).

4.2.6 Caracterização tecnológica das farinhas cruas e extrusadas

4.2.6.1 Índice de absorção de água (IAA)

O índice de absorção de água (IAA) foi determinado segundo metodologia descrita por Anderson et al. (1969). Em um tubo de centrífuga, previamente tarado, foram colocados aproximadamente 2,5 g de amostra peneirada (60 mesh) e 30 mL de água destilada a 28 °C. Os tubos permaceram sob agitação mecânica em banho-maria a 28 °C por 30 min e, em seguida, foram centrifugados em centrífuga, modelo 204 NR (FANEM, Brasil) a 3000 G por 10 min. Do líquido sobrenadante, foram pipetados 10 mL cuidadosamente e colocados em placas de petri, previamente taradas e levados a estufa a 105° C até peso constante. Após esse período, o material foi resfriado em dissecador e pesado em balança analítica modelo FA2104N-BioPrecisa[®] com precisão 0,0001 g. A diferença do peso (em gramas) foi multiplicada por três, sendo o valor obtido o do resíduo de evaporação. O líquido restante no

tubo de centrífuga foi cuidadosamente descartado, o gel remanescente (resíduo de centrifugação) pesado e o IAA calculado conforme a Equação 3.

$$IAA = \frac{PRC}{PA - PRE}$$

Equação 3

Na qual:

IAA = índice de absorção de água (g gel/g de matéria seca);

PRC = peso do resíduo da centrifugação (g);

PA = peso da amostra (g) (base seca);

PRE = peso do resíduo da evaporação (g).

4.2.6.2 Índice de solubilidade em água (ISA)

O índice de solubilidade em água (ISA) foi determinado segundo metodologia descrita por Anderson et al. (1969) e já descrita no item 4.2.5.1. O ISA foi calculado pela relação entre o peso do resíduo da evaporação e o peso da amostra em base seca, conforme a Equação 4.

$$ISA = \frac{PRE}{PA} \times 100$$

Equação 4

Na qual:

ISA = índice de solubilidade em água (%);

PA = peso da amostra (g) (base seca);

PRE = peso do resíduo da evaporação (g).

4.2.6.3 Índice de absorção em óleo (IAO)

Para a determinação do índice de absorção em óleo (IAO) foi utilizada a metodologia descrita por Anderson et al. (1969), adaptada, com substituição da água pelo óleo. Uma alíquota de 2,5 g de amostra foi suspensa em 30 mL de óleo de soja, a 28 °C, em tubos de centrífuga de 50 mL, previamente pesados, com agitação intermitente, durante 30 min. Depois, a suspensão foi centrifugada em centrífuga, modelo 204 NR (FANEM, Brasil), a 3000 G, por 10 min. O líquido sobrenadante de cada amostra foi descartado, deixando-se os

tubos ligeiramente invertidos por 1 min. O índice de absorção em óleo foi obtido pela relação entre o peso do resíduo de centrifugação pelo peso da amostra em base seca (Equação 5).

$$IAO = \frac{PRC}{PA}$$

Equação 5

Na qual:

IAO = índice de absorção em óleo (g gel/g de matéria seca);

PRC = peso do resíduo da centrifugação (g);

PA = peso da amostra (g) (base seca).

4.2.6.4 Índice de absorção em leite (IAL)

Para as análises de índice de absorção em leite (IAL) e índice de solubilidade em leite (ISL) utilizou-se a metodologia descrita por Anderson et al. (1969), com modificações: 2,5 g de amostra foram pesados, suspensos e mantidos em leite integral a 10 °C, por 30 min, sob agitação intermitente. As suspensões foram centrifugadas em centrífuga, modelo 204 NR (FANEM, Brasil) a 3000 G por 10 min. Alíquotas de 10 mL do sobrenadante foram colocados em placa de Petri de peso conhecido e secos em estufa de ar circulante a 60 °C, até peso constante, para a determinação do resíduo de evaporação, e o precipitado da centrifugação foi pesado. Realizou-se um controle (em triplicata) para obtenção da quantidade de sólidos solúveis no leite e subtraí-lo nos cálculos de resíduo de evaporação para determinação do ISL. A Equação 6 foi utilizada para a determinação do IAL.

$$IAL = \frac{PRE}{PA - (PRE - PRC) \times 3}$$

Equação 6

Na qual:

IAL = índice de absorção em leite (g de gel/ g de matéria seca);

PRE = peso do resíduo da evaporação (g);

PA = peso da amostra (g) (base seca);

PRC = peso do resíduo de evaporação do controle (g).

4.2.6.5 Índice de solubilidade em leite (ISL)

O índice de solubilidade em leite (ISL) foi determinado pela metodologia descrita por Anderson et al. (1969) com modificações conforme descrito no item 4.2.5.4. Para a determinação da percentagem do ISL foi utilizada a Equação 7.

$$ISL = \frac{(PRE - PRC) \times 3}{PA} \times 100$$

Equação 7

Na qual:

ISL = índice de solubilidade em leite (%);

PRE = peso do resíduo da evaporação (g);

PRC = peso do resíduo de evaporação do controle (g);

PA = peso da amostra (g) (base seca).

4.2.6.6 Propriedades viscoamilográficas

As propriedades viscoamilográficas foram determinadas no equipamento *Rapid Visco Analyser* (RVA), série 4 *Newport Inc.*[®]. Obteve-se as curvas viscoamilográficas das farinhas de arroz cruas e extrusadas segundo método oficial para arroz nº 61-02 da AACCC (2000), em triplicata. As amostras foram, primeiramente, peneiradas em tamis de aço inox de 60 Tyler/mesh ou orifício com abertura de 0,250 mm, recolhendo-se as porções passantes, a fim de se obter tamanho de partículas apropriado para a análise.

Utilizaram-se 3,05 g de farinha em 25 mL de água destilada, corrigida para a base de 14% de umidade (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998). Utilizou-se a programação *Rapid Visco* do software *Thermocline for Windows* versão 2.2, a suspensão formada pelo amido e a água foi inicialmente cisalhada a 960 rpm durante 10 s. Esta suspensão foi mantida a 50 °C por 3 min e 45 s, para que se pudesse investigar a viscosidade do amido a baixa temperatura. Posteriormente, a mistura foi aquecida a 95 °C sob velocidade constante de 14 °C. min⁻¹, mantida neste temperatura por 3 min e 30 s, resfriada a 50 °C durante 4 min e 10 s sob a mesma velocidade, e mantida a 50 °C por mais 1 min e 25 s, totalizando 12 min e 30 s de análise. Foram avaliadas as seguintes características: pico de viscosidade (PV), viscosidade final, quebra de viscosidade ou *breakdown* e tendência à retrogradação ou *setback*, expressos na unidade do aparelho, *Rapid Visco Units* (RVU)

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados das análises das características físicas, químicas e tecnológicas das farinhas cruas e extrusadas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias (Tukey a 5%), com auxílio do aplicativo SAS for Windows, versão 8.1 (SAS, 2003).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS FARINHAS CRUAS E EXTRUSADAS

5.1.1 Composição centesimal

A composição centesimal das farinhas de arroz cruas e extrusadas das cvs. IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502 estão expressos na Tabela 2.

Tabela 2. Médias e desvios padrão da composição centesimal das farinhas de arroz cruas e extrusadas das cultivares IRGA 417 e BRS Primavera e da linhagem CNA 8502 (base seca)¹

Componente (%)	Tratamento	IRGA 417	BRS Primavera	CNA 8502
Umidade	Cru	12,27 ± 0,03 ^{Aa}	10,21 ± 0,08 ^{Ca}	10,54 ± 0,07 ^{Ba}
	Extrusado	9,39 ± 0,05 ^{Bb}	9,14 ± 0,05 ^{Cb}	9,50 ± 0,02 ^{Ab}
Cinzas	Cru	0,40 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,32 ± 0,01
	Extrusado	0,39 ± 0,01	0,31 ± 0,05	0,32 ± 0,01
	MG	0,39 ^A	0,30 ^B	0,32 ^B
Lipídios	Cru	0,34 ± 0,01 ^{Ba}	0,37 ± 0,01 ^{Ba}	0,45 ± 0,03 ^{Aa}
	Extrusado	0,24 ± 0,01 ^{Ab}	0,25 ± 0,02 ^{Ab}	0,20 ± 0,01 ^{Bb}
Proteína	Cru	8,52 ± 0,10 ^{Ca}	8,90 ± 0,16 ^{Bb}	10,23 ± 0,08 ^{Aa}
	Extrusado	8,64 ± 0,08 ^{Ca}	10,33 ± 0,10 ^{Aa}	10,12 ± 0,08 ^{Ba}

¹ Valores correspondem à média ± desvio-padrão; Letras diferentes, maiúsculas (mesma linha) e minúsculas (mesma coluna), diferem significativamente pelo teste de Tuckey ($P \leq 0,05$); MC = média do genótipo.

5.1.1.1 Umidade

Houve interação significativa ($P \leq 0,05$) no teor de umidade para efeito de genótipo e tratamento industrial (ANOVA, APÊNDICE B).

A umidade das farinhas de arroz cruas variou entre 10,21 a 12,27%, diferindo entre si ($P \leq 0,05$), sendo que a cv. IRGA 417 apresentou o maior conteúdo (12,27%), seguida pela linhagem CNA 8502 (10,54%) e pela cv. BRS Primavera (10,21%).

A diferença de umidade pode ser resultado da saída do produto pela matriz da extrusora, quando ocorre a passagem repentina de umidade interna do estado líquido para vapor devido à queda de pressão, causando expansão do produto. A perda de água na saída da matriz provoca um resfriamento substancial e rápido do produto (BARBOSA et al., 2006)